Mermaid

RAPPORT



THV Mermaid



Milieueffectenrapport windpark Mermaid

MER Mermaid

11 juli 2014 - versie 1.0

IMDC
International Marine & Dredging Consultants

Colofon

International Marine & Dredging Consultants

Adres: Coveliersstraat 15, 2600 Antwerp, Belgium

☎: + 32 3 270 92 95

🗐: + 32 3 235 67 11

Email: info@imdc.be

Website: www.imdc.be

Document Identificatie

Titel	MER Mermaid
Project	Milieueffectenrapport windpark Mermaid
Opdrachtgever	THV Mermaid
Documentref	I/RA/11441/13.320/CPA/
Documentnaam	K:\PROJECTS\11\11441 - MER Mermaid+NW2\10-Rap\RA13320_MER Mermaid\RA13320_MER_Mermaid_rapport_v1.0.docx

Revisies / Goedkeuring

Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
1.0	11/07/14	Finale versie	CPA/MIM	MIM/MSM/MBO	MSA

Verdeellijst

1	Analoog	Marc Huygens (THV Mermaid)
1	Pdf/Word	Marc Huygens (THV Mermaid)

Inhoudstafel

1. INLEIDING 10
1.1 DOELSTELLING VAN DIT RAPPORT 10
1.1.1 Mermaid 10
1.1.2 Northwester 2 11
1.1.3 Omhullende scenario's 11
1.2 INITIATIEFNEMERS 13
1.2.1 THV Mermaid 13
1.2.2 NV Northwester 2 14
1.3 MER-DESKUNDIGEN 15
2. BESCHRIJVING VAN HET PROJECT 17
2.1 DE INITIATIEFNEMERS 17
2.1.1 THV Mermaid 17
2.2 DOELSTELLING EN MOTIVERING VAN HET PROJECT 20
2.3 RUIMTELIJKE SITUERING VAN HET PROJECT 23
2.3.1 Motivatie van de locatiekeuze 23
2.3.2 Ruimtelijke situering t.o.v. andere gebruikers 24
2.3.3 Lay-out van het park 27
2.4 OMHULLENDE SCENARIO'S 27
2.4.1 Windturbines 27
2.4.2 WEC's 30
2.5 TERMIJN EN FASERING VAN HET PROJECT 34
2.6 BESCHRIJVING VAN DE TECHNOLOGIE 35
2.6.1 Windturbines 37
2.6.2 Funderingen 46
2.6.3 Erosiebescherming 55
2.6.4 Windmeetmast of meteomast 57
2.6.5 Offshore hoogspanningsstation (OHVS of transformator-platform) 58
2.6.6 Golfenergieconvertoren (WEC's) 59
2.6.7 Bekabeling 79
2.7 BESCHRIJVING VAN DE ACTIVITEITEN EN UIT-VOERINGSWIJZEN 85
2.7.1 Algemeen 85
2.7.2 De ontwikkelingsfase (2012-2017) 86
2.7.3 Constructiefase (2016-2018) 91
2.7.4 Exploitatiefase (2018-2038) 132
2.7.5 Ontmantelingsfase 136
3. JURIDISCHE EN BELEIDSMATIGE RANDVOORWAARDEN 138

3.1 JURIDISCHE RANDVOORWAARDEN 138
3.1.1 Algemeen 138
3.1.2 Wetgeving in België 139
3.1.3 Internationale wetgeving 144
3.2 BELEIDSMATIGE RANDVOORWAARDEN 153
3.2.1 Doelstellingen voor Europa 153
3.2.2 Doelstellingen voor België en Vlaanderen 155
3.2.3 Het aandeel van de geleverde energie door Mermaid en Northwester 2 in de federale verplichting inzake hernieuwbare energie en CO_2 uitstoot 157
4. BESCHRIJVING VAN DE ALTERNATIEVEN 159
4.1 CONFIGURATIEALTERNATIEVEN 159
4.1.1 Mermaid 159
4.1.2 Northwester 2 160
4.2 ALTERNATIEVEN VOOR WEC'S IN MERMAID 161
4.3 ALTERNATIEVE KABELTRACÉS EN SPANNINGSNIVEAU VAN DE KABELS 163
4.3.1 Belgian Offshore Grid van Elia 163
4.3.2 Kabeltracé scenario's 164
4.4 ALTERNATIEVEN NAAR UITVOERING 171
4.4.1 Type windturbine 171
4.4.2 Type fundering 172
4.4.3 Type WEC 177
4.4.4 Kruising van de kabels met pijpleidingen en telecomkabels 178
4.4.5 Het ingezette materieel 178
5. BESCHRIJVING EN BEOORDELING VAN MILIEUEFFECTEN PER DISCIPLINE 180
5.1 BODEM EN WATER 181
5.1.1 Methodologie 181
5.1.2 Referentiesituatie 181
5.1.3 Autonome ontwikkeling 211
5.1.4 Effecten 212
5.1.5 Leemten in de kennis 240
5.1.6 Milderende maatregelen 241
5.1.7 Monitoring 242
5.2 KLIMAAT EN ATMOSFEER 244
5.2.1 Methodologie 244
5.2.2 Referentiesituatie en autonome ontwikkeling 244
5.2.3 Effecten 256
5.2.4 Leemten in de kennis 277
5.2.5 Milderende maatregelen 277
5.2.6 Monitoring 277

5.3 GELUID EN TRILLINGEN 278
5.3.1 Methodologie 278
5.3.2 Referentiesituatie 279
5.3.3 Autonome ontwikkeling 284
5.3.4 Effecten 285
5.3.5 Trillingshinder 313
5.3.6 Leemten in de kennis 314
5.3.7 Milderende maatregelen 315
5.3.8 Monitoring 318
5.4 FAUNA, FLORA & BIODIVERSITEIT 319
5.4.1 Methodologie 319
5.4.2 Referentiesituatie en autonome ontwikkeling 326
5.4.3 Effecten 363
5.4.4 Leemten in de kennis 433
5.4.5 Milderende maatregelen 436
5.4.6 Monitoring 439
5.4.7 Passende beoordeling 441
5.5 ZEEZICHT EN CULTUREEL ERFGOED 443
5.5.1 Methodologie 443
5.5.2 Referentiesituatie en autonome ontwikkeling 443
5.5.3 Effecten 449
5.5.4 Leemten in de kennis 457
5.5.5 Milderende maatregelen 457
5.5.6 Monitoring 458
5.6 INTERACTIE MET ANDERE MENSELIJKE ACTIVITEITEN 459
5.6.1 Methodologie 459
5.6.2 Referentiesituatie en autonome ontwikkeling 460
5.6.3 Effecten 468
5.6.4 Leemten in de kennis 476
5.6.5 Milderende maatregelen 476
5.6.6 Monitoring 477
5.7 RISICO'S EN VEILIGHEID 478
5.7.1 Installaties 478
5.7.2 Scheepvaart 485
5.7.3 Luchtvaartverkeer 487
5.7.4 Radar en scheepscommunicatie 488
6. CUMULATIEVE EFFECTEN 489
6.1 INLEIDING 489

6.2 CUMULATIEVE EFFECTEN 491
6.3 BESCHRIJVING EN BEOORDELING VAN DE CUMULATIEVE EFFECTEN PER DISCIPLINE 492
6.3.1 Bodem 493
6.3.2 Water 497
6.3.3 Klimaat en atmosfeer 499
6.3.4 Geluid en trillingen 501
6.3.5 Fauna, flora & biodiversiteit 505
6.3.6 Zeezicht & cultureel erfgoed 520
6.3.7 Interactie met andere menselijke activiteiten 521
6.3.8 Risico's en veiligheid 524
6.4 LEEMTEN IN DE KENNIS 574
6.5 MILDERENDE MAATREGELEN 574
6.6 MONITORING 575
7. GRENSOVERSCHRIJDENDE EFFECTEN IN HET KADER VAN HET ESPOO-VERDRAG 576
7.1 INLEIDING 576
7.2 BODEM EN WATER 576
7.3 KLIMAAT EN ATMOSFEER 577
7.4 GELUID EN ZEEZICHT 578
7.5 FAUNA, FLORA & BIODIVERSITEIT 579
7.5.1 Nederland 579
7.5.2 Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk 583
7.6 RISICO'S EN VEILIGHEID 583
7.6.1 Scheepvaart 583
7.6.2 Radar en scheepscommunicatie 585
8. SYNTHESE EN CONCLUSIES 589
8.1 CONFIGURATIES WINDPARKEN 589
8.1.1 Mermaid 589
8.1.2 Northwester 2 590
8.2 INGREEP-EFFECTRELATIES 591
8.3 VERWACHTE EFFECTEN 592
8.3.1 Mermaid 592
8.3.2 Northwester 2 598
8.4 CUMULATIEVE EFFECTEN 603
8.5 CONCLUSIES 604
8.5.1 Constructiefase 604
8.5.2 Operationele fase 607
8.5.3 Ontmantelingsfase 608

8.5.4 WEC's 609
8.5.5 Bekabeling 611
8.5.6 Cumulatieve effecten 612
8.5.7 Grensoverschrijdende effecten 616
9. REFERENTIES 618

Lijst van tabellen

TABEL 1-1 MER-DESKUNDIGEN 15
TABEL 2-1 VOORZIENE BIJDRAGES HERNIEUWBARE ENERGIE TOT 2020 (CONCERE-ENOVER, 2010) 21
TABEL 2-2 OVERZICHT VAN GEÏNSTALLEERD VERMOGEN, UITGEWERKT VOOR HET TYPEVOORBEELD BIJ ELKE OMHULLENDE CONFIGURATIE 28
TABEL 2-3 BESPROKEN FUNDERINGSTYPES PER CONFIGURATIE 28
TABEL 2-4 WEERHOUDEN COMBINATIES VAN CONFIGURATIE EN TYPE FUNDERING 29
TABEL 2-5 THEORETISCH AANTAL UNITS EN BASISVELDEN NODIG PER TYPE WEC EN WTG CONFIGURATIE OM 20 MW EN 61 MW GEÏNSTALLEERD VERMOGEN TE BEREIKEN. RODE VELDEN DUIDEN OPTIES AAN DIE TECHNISCH GEZIEN NIET HAALBAAR ZIJN. 33
TABEL 2-6 OVERZICHT VAN BESCHIKBARE WINDTURBINES 37
TABEL 2-7 PROTOTYPES WINDTURBINES IN ONTWIKKELING 38
TABEL 2-8 OVERZICHT VAN DE KENMERKEN VAN DE 6 WEC-TYPEVOORBEELDEN 77
TABEL 2-9 OVERZICHT GERAAMD AANTAL TRANSPORTBEWEGINGEN VOORBEREIDING BOUWLOCATIE PER CONFIGURATIE 126
TABEL 2-10 OVERZICHT GERAAMD AANTAL TRANSPORTBEWEGINGEN VOOR DE AANVOER VAN FUNDERINGEN PER CONFIGURATIE 127
TABEL 2-11 OVERZICHT GERAAMD AANTAL TRANSPORTBEWEGINGEN VOOR DE AANVOER VAN TRANSITIESTUKKEN PER CONFIGURATIE 127
TABEL 2-12 OVERZICHT GERAAMD AANTAL TRANSPORTBEWEGINGEN VOOR DE AANVOER VAN EROSIEBESCHERMING PER CONFIGURATIE 128
TABEL 2-13 OVERZICHT GERAAMD AANTAL TRANSPORTBEWEGINGEN VOOR DE AANVOER VAN WINDTURBINES, DE OFFSHORE HOOGSPANNINGSSTATIONS EN DE METEOMAST PER CONFIGURATIE 129
TABEL 2-14 AANTAL TRANSPORTBEWEGINGEN VOOR INSTALLATIE VAN WEC'S 130
TABEL 4-1 WEERHOUDEN COMBINATIES VAN PARKCONFIGURATIE EN TYPE FUNDERING VOOR MERMAID (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING) 160
TABEL 4-2 WEERHOUDEN COMBINATIES VAN PARKCONFIGURATIE EN TYPE FUNDERING VOOR NORTHWESTER 2 (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING) ... 161
TABEL 4-3 THEORETISCH AANTAL UNITS EN BASISVELDEN NODIG PER TYPE WEC EN WTG CONFIGURATIE OM 20 MW EN 61 MW GEÏNSTALLEERD VERMOGEN TE BEREIKEN. RODE VELDEN DUIDEN OPTIES AAN DIE TECHNISCH GEZIEN NIET HAALBAAR ZIJN. 162
TABEL 4-4 ALTERNATIEVEN WINDTURBINES MER MERMAID EN NORTHWESTER 2 171
TABEL 4-5 DIAMETER BENODIGDE EROSIEBESCHERMING 176
TABEL 4-6 OVERZICHT VAN DE KENMERKEN VAN DE 6 WEC-TYPEVOORBEELDEN 177

TABEL 5-1 GEHANTEERDE DEFINITIES VOOR DE BESCHRIJVING EN BEOORDELING VAN DE MILIEUEFFECTEN. 180

TABEL 5-2 DEFINITIE DUINEN VOLGENS CLASSIFICATIE VAN ASHLEY, 1990 193

TABEL 5-3 OVERZICHT VAN DE WATERDIEPTES (M TAW) IN MERMAID EN NORTHWESTER 2 (G-TEC, 2013) 198

TABEL 5-4 GEBAGGERD VOLUME SEDIMENT EN VERSTOORDE BODEMOPPERVLAKTE BIJ ELKE TYPE FUNDERING TIJDENS DE CONSTRUCTIEFASE 213

TABEL 5-5 HET TOTALE GRONDVERZET EN DE VERSTOORDE OPPERVLAKTES VOOR DE BASISCONFIGURATIE EN DE OMHULLENDE CONFIGURATIES TIJDENS DE CONSTRUCTIEFASE VAN HET MERMAID WINDPARK 215

TABEL 5-6 HET TOTALE GRONDVERZET EN DE VERSTOORDE OPPERVLAKTES VOOR DE BASISCONFIGURATIE EN DE OMHULLENDE CONFIGURATIES TIJDENS DE CONSTRUCTIEFASE VAN HET NORTHWESTER 2 WINDPARK 215

TABEL 5-7 GEBAGGERD EN GESTOCKEERD VOLUME VOOR MAXIMAAL AANTAL KABELS PER OPTIE EN CONCESSIE 225

TABEL 5-8 VERSTOORD OPPERVLAK VOOR MAXIMAAL AANTAL KABELS PER OPTIE EN CONCESSIE 226

TABEL 5-9 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN OP BODEM VOOR HET MERMAID WINDPARK (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING). 229

TABEL 5-10 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN OP BODEM VOOR HET NORTHWESTER 2 WINDPARK (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING). 230

TABEL 5-11 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN OP WATER VOOR HET MERMAID WINDPARK (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING). 239

TABEL 5-12 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN OP WATER VOOR HET NORTHWESTER 2 WINDPARK (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING). 240

TABEL 5-13 WINDGEGEVENS MEETSTATIONS 'WANDELAAR' EN 'WESTHINDER' 247

TABEL 5-14 WINDSNELHEID OP OPEN ZEE (>10 KM VAN DE KUST) VOOR 5 STANDAARD HOOGTES (SÖKER ET AL., 2000) 248

TABEL 5-15 GEMIDDELDE, 50-PERCENTIEL EN 98-PERCENTIELWAARDE VOOR SO_2 IN DE NABIJHEID VAN DE KUST IN ZEEBRUGGE (2008) EN HOUTEM (2012) (UURWAARDEN IN µG/M³) (VMM, 2009, 2013) 249

TABEL 5-16 GEMIDDELDE, 50-PERCENTIEL EN 98- PERCENTIELWAARDE VOOR NO EN NO_2 IN DE NABIJHEID VAN DE KUST IN 2010 (UURWAARDEN IN µG/M³) (VMM, 2013) 249

TABEL 5-17 GEMIDDELDE, 50-PERCENTIEL EN 98-PERCENTIELWAARDE VOOR O_3 IN DE NABIJHEID VAN DE KUST IN 2012 (UURWAARDEN IN µG/M³) (VMM, 2013) 250

TABEL 5-18: GEMIDDELDE, 50-PERCENTIEL EN 98-PERCENTIELWAARDE VOOR STOF IN DE OMGEVING VAN DE KUST (DAGWAARDEN IN MG/M³) (VMM, 2013) 250

TABEL 5-19 CO2, SO2 EN NOX EMISSIE DOOR ZEESCHEEPVAART EN ZEEVISSERIJ IN 2010 EN 2011 (VMM, 2012) 252

TABEL 5-20 BEREKENDE WAARDEN VOOR HET LEGGEN VAN 1 KM KABEL GEBRUIK MAKENDE VAN TWEE VERSCHILLENDE TECHNIEKEN 262

TABEL 5-21 ENERGIECONSUMPTIE EN CO_2 UITSTOOT VOOR 1 KM KABEL 262

TABEL 5-22 VERWACHTE EMISSIES VOOR HET SCENARIO MET ALLE PARKEN GEREALISEERD (MARIN-IMDC, 2014) EN VERANDERDE EMISSIE OP HET BDNZ DOOR OMVAREN T.O.V. HET BASISSCENARIO 264

TABEL 5-23 EMISSIEFACTOREN VOOR ELEKTRICITEITSPRODUCTIE IN BELGIË IN 2011 (VMM, 2012) 265

TABEL 5-24 VERMEDEN EMISSIES (TON/JAAR) ALS GEVOLG VAN DE WERKING VAN HET WINDPARK MERMAID 265

TABEL 5-25 VERMEDEN EMISSIES (TON/JAAR) ALS GEVOLG VAN DE WERKING VAN HET WINDPARK NORTHWESTER 2 265

TABEL 5-26 ENERGIECONSUMPTIE V90-3,0 MW WINDTURBINE (VESTAS, 2006) 267

TABEL 5-27 ENERGIECONSUMPTIE 10 MW TURBINE RESPECTIEVELIJK OP JF EN OP GBF (IMDC, 2014C) 267

TABEL 5-28 UITSTOOT BROEIKASGASSEN PER GEPRODUCEERDE KWH 268

TABEL 5-29 GEPRODUCEERDE EN VERMEDEN EMISSIES PER JAAR ALS GEVOLG VAN DE WERKING VAN HET MERMAID PARK (BEREKEND MET TABEL 5-28) 269

TABEL 5-30 GEPRODUCEERDE EN VERMEDEN EMISSIES PER JAAR ALS GEVOLG VAN DE WERKING VAN HET NORTHWESTER 2 PARK (BEREKEND MET TABEL 5-28) 269

TABEL 5-31 TOTALE ENERGIECONSUMPTIE EN CO_2 PRODUCTIE VOOR 1 KM 66 KV PARKKABEL (JETTING) 270

TABEL 5-32 TOTALE ENERGIECONSUMPTIE EN CO_2 PRODUCTIE VOOR 1 KM 66 KV VERBINDINGSKABEL (BAGGEREN) 270

TABEL 5-33 TOTALE ENERGIECONSUMPTIE EN CO_2 PRODUCTIE VOOR 1 KM 220 KV EXPORTKABEL 270

TABEL 5-34 ENERGIEOPBRENGST EN CO_2 UITSTOOT VOOR DE WINDPARKEN MERMAID EN NORTHWESTER 2 WAARBIJ DE WINDTURBINES MET EEN JF RECHTSTREEKS AANGESLOTEN WORDEN OP ALPHA (OPTIE A) 271

TABEL 5-35 ENERGIEOPBRENGST EN CO_2 UITSTOOT VOOR DE WINDPARKEN MERMAID EN NORTHWESTER 2 WAARBIJ DE WINDTURBINES MET EEN GBF RECHTSTREEKS AANGESLOTEN WORDEN OP ALPHA (OPTIE A) 271

TABEL 5-36 ENERGIEOPBRENGST EN CO_2 UITSTOOT VOOR DE WINDPARKEN MERMAID EN NORTHWESTER 2 WAARBIJ DE WINDTURBINES MET EEN JF VIA EEN OHVS AANGESLOTEN WORDEN OP ALPHA (OPTIE B) 271

TABEL 5-37 ENERGIEOPBRENGST EN CO_2 UITSTOOT VOOR DE WINDPARKEN MERMAID EN NORTHWESTER 2 WAARBIJ DE WINDTURBINES MET EEN GBF VIA EEN OHVS AANGESLOTEN WORDEN OP ALPHA (OPTIE B) 271

TABEL 5-38 VERMEDEN CO_2 UITSTOOT IN VERGELIJKING MET DE TRADITIONELE ENERGIEMIX EN DE ENERGIEMIX REKENING HOUDEND MET EEN KERNUITSTAP 272

TABEL 5-39 TOTALE ENERGIECONSUMPTIE EN CO_2-UITSTOOT TIJDENS DE LEVENSCYCLUS VAN ÉÉN P60 MET KABEL 275

TABEL 5-40: ENERGIEPRODUCTIE EN ENERGIECONSUMPTIE VAN ÉÉN POSEIDON P60 EN 9 POSEIDON P60'S IN ÉÉN BASISVELD IN BASISCONFIGURATIE 275

TABEL 5-41: CO_2-UITSTOOT EN VERMEDEN CO_2-UITSTOOT BIJ DE INSTALLATIE VAN ÉÉN POSEIDON P60 EN 9 POSEIDON P60'S IN ÉÉN BASISVELD IN BASISCONFIGURATIE 275

TABEL 5-42 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN VAN HET MERMAID ENERGIEPARK OP HET KLIMAAT EN DE ATMOSFEER VOOR DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING). 276

TABEL 5-43 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN VAN HET NORTHWESTER 2 ENERGIEPARK OP HET KLIMAAT EN DE ATMOSFEER VOOR DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING) 276

TABEL 5-44 INDICATIEVE PAALDIAMETERS VOOR MONOPILE AND JACKETFUNDERINGEN VOOR WINDPARK MERMAID EN NORTHWESTER 2 293

TABEL 5-45 BEREKEND GELUIDSNIVEAU OP VERSCHILLENDE AFSTANDEN MET ATTENUATIEFORMULE VOOR VERSCHILLENDE LOCATIES VOLGENS NEDWELL ET AL. (2007) EN NORRO ET AL. (2010) (IN ARCADIS, 2011) 294

TABEL 5-46 VERWACHT SPECIFIEK GELUID VOOR EEN SLEEPHOPPERZUIGER (GERARDUS MERCATOR) IN FUNCTIE VAN DE AFSTAND TOT DE BRON 298

TABEL 5-47 OVERZICHT EFFECTEN OP GELUID TIJDENS CONSTRUCTIEFASE ENERGIEPARK MERMAID (EXCL. WEC'S) (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING) 299

TABEL 5-48 OVERZICHT EFFECTEN OP GELUID TIJDENS CONSTRUCTIEFASE WINDPARK NORTHWESTER 2 (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING) 300

TABEL 5-49 OVERZICHT EFFECTEN OP GELUID TIJDENS OPERATIONELE FASE ENERGIEPARK MERMAID (EXCL. WEC'S) 305

TABEL 5-50 OVERZICHT EFFECTEN OP GELUID TIJDENS OPERATIONELE FASE WINDPARK NORTHWESTER 2 305

TABEL 5-51 OVERZICHT EFFECTEN OP GELUID TIJDENS ONTMANTELINGSFASE WINDPARK MERMAID (EXCL. WEC'S) 306

TABEL 5-52 OVERZICHT EFFECTEN OP GELUID TIJDENS ONTMANTELINGSFASE WINDPARK NORTHWESTER 2 307

TABEL 5-53 OVERZICHT EFFECTEN OP GELUID IN WINDPARK MERMAID TIJDENS DE CONSTRUCTIEFASE 309

TABEL 5-54 OVERZICHT EFFECTEN OP GELUID TIJDENS BEKABELING WINDPARK MERMAID (INCL. WEC'S) 311

TABEL 5-55 OVERZICHT EFFECTEN OP GELUID TIJDENS BEKABELING WINDPARK NORTHWESTER 2 ... 311

TABEL 5-56 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN OP GELUID VOOR DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S VAN MERMAID (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING). 312

TABEL 5-57 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN OP GELUID VOOR DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S VAN NORTHWESTER 2 (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING). 312

TABEL 5-58 OVERZICHT VAN DE GEMIDDELDE DENSITEIT VAN HET EPIBENTHOS IN DE LENTE EN HERFST PER TAXONOMISCHE GROEP OP DE BLIGHBANK IN 2008 (VANDENDRIESSCHE ET AL., 2009) 337

TABEL 5-59 OVERZICHT VAN DE GEMIDDELDE BIOMASSA VAN HET EPIBENTHOS IN DE LENTE EN HERFST PER TAXONOMISCHE GROEP OP DE BLIGHBANK IN 2008 (VANDENDRIESSCHE ET AL., 2009) 337

TABEL 5-60 VERGELIJKING VAN DE SEIZOENALE VERDELING (AANTAL VOGELS/KM²) VAN ZEEVOGELS OP DE BLIGHBANK (BB) T.O.V. HET BDNZ IN DE WINTER, LENTE, ZOMER EN HERFST. *: BIJLAGE I SOORTEN VAN DE VOGELRICHTLIJN (VANERMEN & STIENEN, 2009) 344

TABEL 5-61 BIOTOOPVERSTORING BIJ DE CONSTRUCTIE VAN HET MERMAID WINDPARK (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITY BASED FUNDERING) 364

TABEL 5-62 BIOTOOPVERSTORING BIJ DE CONSTRUCTIE VAN HET NORTHWESTER 2 WINDPARK (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITY BASED FUNDERING) 365

TABEL 5-63 BIOMASSABEREKENINGEN VAN MACRO- EN EPIBENTHOS OP DE THORNTONBANK. (DE MAERSSCHALK ET AL., 2006) 366

TABEL 5-64 BIOMASSAVERLIES VOOR HET MERMAID WINDPARK (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITY BASED FUNDERING) 367

TABEL 5-65 BIOMASSAVERLIES VOOR HET NORTHWESTER 2 WINDPARK (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITY BASED FUNDERING) 367

TABEL 5-66 BIOTOOPVERSTORING EN BIOMASSAVERLIES DOOR DE INSTALLATIE VAN SEABASED WEC'S 373

TABEL 5-67 OVERZICHT VAN HET MAXIMAAL AANTAL KM EN HET MAXIMALE VERSTOORDE OPPERVLAK VOOR DE PARKKABELS (WTG'S + WEC'S), VERBINDINGSKABELS EN EXPORTKABELS VOOR MERMAID EN NORTHWESTER 2 375

TABEL 5-68 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN OP BENTHOS VOOR HET MERMAID WINDPARK (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING, ST: STATISCHE EROSIEBESCHERMING, DYN: DYNAMISCHE EROSIEBESCHERMING) 377

TABEL 5-69 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN OP BENTHOS VOOR HET NORTHWESTER 2 WINDPARK (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING, ST: STATISCHE EROSIEBESCHERMING, DYN: DYNAMISCHE EROSIEBESCHERMING) 378

TABEL 5-70 RANGES (90 dB_{HT}) WAARBIJ BEPAALDE ORGANISMEN VERMIJDINGSGEDRAG VERTONEN TENGEVOLGE VAN HEIACTIVITEITEN (NEDWELL ET AL., 2003) 383

TABEL 5-71 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN OP VISSEN VOOR HET MERMAID WINDPARK (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING, SB: SUCTION BUCKET) 392

TABEL 5-72 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN OP VISSEN VOOR HET NORTHWESTER 2 WINDPARK (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING, SB: SUCTION BUCKET) 393

TABEL 5-73 PROCENTUEEL AANTAL ZEEVOGELS DAT OP ROTORHOOGTE (30-150 M) VLIEGT TIJDENS DE VOGELMONITORING OP HET BDNZ. *: BIJLAGE I SOORT VAN DE VOGELRICHTLIJN (VANERMEN ET AL., 2013A) 396

TABEL 5-74 OVERZICHT VAN DE ROTORDRAAIHOOGTES VAN DE VERSCHILLENDE CONFIGURATIES VOOR HET MERMAID EN NORTHWESTER 2 WINDPARK 397

TABEL 5-75 VERWACHT AANTAL AANVARINGSSLACHTOFFERS IN HET WINDPARK OP DE THORNTONBANK (C-POWER) (VANERMEN & STIENEN, 2009) 398

TABEL 5-76 GESCHATTE AANTAL AANVARINGSSLACHTOFFERS GEBASEERD OP DE GEOBSERVEERDE DENSITEITEN VAN VLIEGENDE VOGELS IN HET BELWIND WINDPARK. ER WERD EEN MICRO-ONTWIJKING VAN 97,6% AANGENOMEN (VANERMEN ET AL., 2013A) 398

TABEL 5-77 JAARLIJKS GESCHAT AANTAL SLACHTOFFERS VAN MEEUWEN VOOR DE VERSCHILLENDE CONFIGURATIES VAN MERMAID EN NORTHWESTER 2 OP BASIS VAN GEGEVENS VAN DE BLIGHBANK (2,4 SLACHTOFFERS/TURBINE/JAAR) 399

TABEL 5-78 VOORLOPIGE EFFECTEN OP ZEEVOGELS DOOR DE AANWEZIGHEID VAN WINDPARKEN OP DE THORNTONBANK EN DE BLIGHBANK (VANERMEN ET AL., 2011, 2012, 2013A). VOOR DE OBSERVATIES MET EEN VRAAGTEKEN IS ER EEN TENDENS, MAAR NOG GEEN SIGNIFICANT EFFECT WAARGENOMEN 401

TABEL 5-79 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN OP VOGELS VOOR DE MERMAID WINDPARK (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING) 406

TABEL 5-80 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN OP VOGELS VOOR HET NORTHWESTER 2 WINDPARK (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING) 407

TABEL 5-81 INVLOEDSZONES VOOR BRUINVISSEN, BEPAALD AAN DE HAND VAN DE GESCHATTE DREMPELWAARDEN EN UITGEVOERDE GELUIDSMETINGEN BIJ DIVERSE HEIWERKZAAMHEDEN ... 410

TABEL 5-82 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN OP ZEEZOOGDIEREN VOOR HET MERMAID WINDPARK (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING, SB: SUCTION BUCKET) 420

TABEL 5-83 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN OP ZEEZOOGDIEREN VOOR HET NORTHWESTER 2 WINDPARK (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING, SB: SUCTION BUCKET) 421

TABEL 5-84 OPPERVLAKTE HARD SUBSTRAAT (HS) PER FUNDERINGSTYPE 423

TABEL 5-85 BESCHIKBAAR HARD SUBSTRAAT (HS) VOOR KOLONISATIE VOOR HET MERMAID WINDPARK 423

TABEL 5-86 BESCHIKBAAR HARD SUBSTRAAT (HS) VOOR KOLONISATIE VOOR HET NORTHWESTER 2 WINDPARK 424

TABEL 5-87 OVERZICHT VAN DE BEMONSTERDE INTERTIDALE SOORTEN IN HET C-POWER EN BELWIND PROJECTGEBIED VOLGENS DE SACFOR SCHAAL. S: SUPERABUNDANT, A: ABUNDANT, C: ALGEMEEN, F: FREQUENT, O: OCCASIONEEL, R: ZELDZAAM. NIET-INHEEMSE SOORTEN ZIJN VET GEDRUKT (DEGRAER ET AL., 2013B) 429

TABEL 5-88 OVERZICHT VAN DE OPPERVLAKTES AAN HARD SUBSTRAAT VAN DE SEABASED WEC IN VERSCHILLENDE FASES 431

TABEL 5-89 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN OP DE FAUNA VAN HARDE SUBSTRATEN VOOR HET MERMAID WINDPARK (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING) 432

TABEL 5-90 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN OP DE FAUNA VAN HARDE SUBSTRATEN VOOR HET NORTHWESTER 2 WINDPARK (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING) 433

TABEL 5-91 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN VAN HET MERMAID WINDPARK OP HET ZEEZICHT (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING) 452

TABEL 5-92 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN VAN HET NORTHWESTER 2 WINDPARK OP HET ZEEZICHT (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING) 453

TABEL 5-93 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN VAN HET MERMAID WINDPARK OP HET CULTUREEL ERFGOED (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING) 456

TABEL 5-94 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN VAN HET NORTHWESTER 2 WINDPARK OP HET CULTUREEL ERFGOED (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING) 456

TABEL 5-95 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN VAN HET MERMAID PARK OP DE MENS (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING) 474

TABEL 5-96 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN VAN HET NORTHWESTER 2 WINDPARK OP DE MENS (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING) 475

TABEL 5-97 SCENARIO'S EN FAALKANSEN VOOR RISICOANALYSES (SENTEROVEM, 2005 IN SGS, 2007) 479

TABEL 5-98 MAXIMALE WERPAFSTAND (IN M) VAN AFBREKENDE BLADEN BIJ DRIEBLADIGE WINDTURBINES TIJDENS EEN OVERTOEREN- SITUATIE (KUSTLOCATIE) 480

TABEL 5-99 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN OP DE VEILIGHEIDSASPECTEN VAN DE INSTALLATIES VOOR DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S VAN MERMAID (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING) 483

TABEL 5-100 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN OP DE VEILIGHEIDSASPECTEN VAN DE INSTALLATIES VOOR DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S VAN NORTHWESTER 2 (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING) 484

TABEL 6-1 OVERZICHT VAN DE STATUS EN DE SPECIFICATIES VAN DE WINDPARKEN OP HET BDNZ 489

TABEL 6-2 DE GEPLANDE CONSTRUCTIEFASES VAN DE 8 WINDPARKEN EN HET BOG 490

TABEL 6-3 OVERZICHT VAN DE CUMULATIEVE EFFECTEN OP DE BODEM 493

TABEL 6-4 OVERZICHT CUMULATIEVE STOCKAGEVOLUMES EN STOCKAGE-OPPERVLAKTES 494
TABEL 6-5 OVERZICHT VAN DE CUMULATIEVE EFFECTEN OP WATER..... 497
TABEL 6-6 OVERZICHT VAN DE CUMULATIEVE EFFECTEN OP WATER..... 498
TABEL 6-7 OVERZICHT VAN DE CUMULATIEVE EFFECTEN OP KLIMAAT EN ATMOSFEER 499
TABEL 6-8 DE ENERGIEBALANS VAN DE ACHT WINDPARKEN. AANGEZIEN DE UITEINDELIJKE NETTOPRODUCTIE NOG NIET IS GEKEND VOOR ELK PARK, ZIJN DE MINIMALE EN MAXIMALE WAARDEN WEERGEGEVEN 500
TABEL 6-9 VERWACHTE EMISSIES VOOR HET SCENARIO MET DE AANWEZIGHEID VAN ALLE PARKEN (MARIN-IMDC, 2014) EN BIJKOMENDE EMISSIE DOOR OMVAREN T.O.V. HET BASISSCENARIO ZONDER MERMAID EN NORTHWESTER 2 500
TABEL 6-10 OVERZICHT VAN DE CUMULATIEVE EFFECTEN VAN GELUID EN TRILLINGEN..... 501
TABEL 6-11 CUMULATIEF SPECIFIEK GELUID VAN SIMULTANE HEIWERKZAAMHEDEN IN A EN B, MET 1200 M TUSSENAFSTAND, VOOR EEN WAARNEMER OP TOENEMENDE AFSTAND TOT DE WERKEN 502
TABEL 6-12 OVERZICHT VAN DE CUMULATIEVE EFFECTEN OP BENTHOS 505
TABEL 6-13 MAXIMALE BIOTOOPVERSTORING PER WINDPARK. 506
TABEL 6-14 OVERZICHT VAN DE CUMULATIEVE EFFECTEN OP DE VISSEN..... 508
TABEL 6-15 OVERZICHT VAN DE CUMULATIEVE EFFECTEN OP DE VOGELS 510
TABEL 6-16 SCHATTING VAN DE BIJKOMENDE MORTALITEIT PER 10.000 OFFSHORE TURBINES EN EEN MICRO-ONTWIJKING VAN 97,6%, GEBASEERD OP EEN EXTRAPOLATIE VAN DE CRM RESULTATEN VOOR HET STUDIEGEBIED OP DE BLIGHBANK (DEGREAR ET AL., 2013B)..... 512
TABEL 6-17 OVERZICHT VAN DE CUMULATIEVE EFFECTEN OP DE ZEEZOOGDIEREN 516
TABEL 6-18 OVERZICHT VAN DE CUMULATIEVE EFFECTEN OP DE FAUNA VAN HARDE SUBSTRATEN ... 518
TABEL 6-19 CUMULATIEVE BIJDRAGE INTRODUCTIE HARD SUBSTRAAT 519
TABEL 6-20 OVERZICHT VAN DE CUMULATIEVE EFFECTEN OP ZEEZICHT EN CULTUREEL ERFGOED.... 520
TABEL 6-21 OVERZICHT VAN DE CUMULATIEVE EFFECTEN OP MENSELIJKE ACTIVITEITEN..... 521
TABEL 6-22 AANTAL VERONTREINIGINGEN TIJDENS BEPAALDE OPERATIES EN MOGELIJKE OORZAKEN VAN VERONTREINIGING DOOR TANKERS (1974-2012) (ITOPF, 2013) 530
TABEL 6-23 VERWACHTE AANVARINGEN/AANDRIJVINGEN VOOR ALLE WINDPARKEN EN CONFIGURATIES..... 538
TABEL 6-24 RELATIEF AANDEEL PER WINDPARK TOT HET TOTAAL AANTAL AANVARINGEN/AANDRIJVINGEN VOOR ALLE WINDPARKEN 538
TABEL 6-25 AANVAARKANSEN PER BASISVELD EN TOTAAL VOOR VIER BASISVELDEN VOOR DRIE ALTERNATIEVE REEKSEN (WEST, CENTRAAL, OOST) VOOR ZOWEL WAVESTAR EN SEABASED WEC'S, VOOR LOCATIE ZIE FIGUUR 6-12 540
TABEL 6-26 SCORETABEL VOOR DE EFFECTEN VAN WINDPARKEN MERMAID EN NORTHWESTER 2 TEN OPZICHTE VAN HET BASISSCENARIO VOOR DE SCHEEPVAART OP HET BDNZ..... 544
TABEL 6-27 SCORETABEL VOOR DE EFFECTEN VAN WINDPARKEN MERMAID EN NORTHWESTER 2 TEN OPZICHTE VAN HET BASISSCENARIO VOOR DE SCHEEPVAART IN DE TOTALE BEÏNVLOEDINGSZONE (UK, NL, FR, INCL. BDNZ)..... 545
TABEL 6-28 FREQUENTIE EN VOLUME UITSTROOM VAN BUNKEROLIE EN LADINGOLIE ALS GEVOLG VAN EEN AANDRIJVING VAN EEN WINDTURBINE..... 549
TABEL 6-29 FREQUENTIE VAN UITSTROOM VAN CHEMICALIËN ALS GEVOLG VAN EEN AANDRIJVING VAN EEN WINDTURBINE IN CONFIGURATIE 1 VAN MERMAID EN NORTHWESTER 2..... 550

TABEL 6-30 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN OP SCHEEPVAART BIJ HET CUMULATIEVE SCENARIO (MERMAID, NORTHWESTER 2, BELWIND, SEASTAR, NORTHWIND, RENTEL, C-POWER, NORTHER) T.O.V. EEN BASISSCENARIO (BELWIND, SEASTAR, NORTHWIND, RENTEL, C-POWER, NORTHER), SPECIFIEK VOOR MERMAID 557

TABEL 6-31 OVERZICHT VAN DE EFFECTEN OP SCHEEPVAART BIJ HET CUMULATIEVE SCENARIO (MERMAID, NORTHWESTER 2, BELWIND, SEASTAR, NORTHWIND, RENTEL, C-POWER, NORTHER) T.O.V. EEN BASISSCENARIO (BELWIND, SEASTAR, NORTHWIND, RENTEL, C-POWER, NORTHER), SPECIFIEK VOOR NORTHWESTER 2 557

TABEL 6-32 OVERZICHT VAN DE CUMULATIEVE EFFECTEN OP SCHEEPVAART (ALLE WINDPARKEN SAMEN) 558

TABEL 8-1 WEERHOUDEN COMBINATIES VAN CONFIGURATIE EN TYPE FUNDERING (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING) 589

TABEL 8-2 OVERZICHT VAN DE KENMERKEN VAN DE 6 WEC-TYPEVOORBEELDEN 590

TABEL 8-3 WEERHOUDEN COMBINATIES VAN CONFIGURATIE EN TYPE FUNDERING VOOR HET NORTHWESTER 2 WINDPARK (MP: MONOPILE, JF: JACKET FUNDERING, GBF: GRAVITAIRE FUNDERING) 591

TABEL 8-4 GEHANTEERDE DEFINITIES VOOR DE BESCHRIJVING EN BEOORDELING VAN DE MILIEUEFFECTEN 592

TABEL 8-5 OVERZICHT VAN DE INGREEP-EFFECTEN VOOR DE VERSCHILLENDE DISCIPLINES TIJDENS DE CONSTRUCTIEFASE 593

TABEL 8-6 OVERZICHT VAN DE INGREEP-EFFECTEN VOOR DE VERSCHILLENDE DISCIPLINES TIJDENS DE OPERATIONELE FASE 594

TABEL 8-7 OVERZICHT VAN DE INGREEP-EFFECTEN VOOR DE VERSCHILLENDE DISCIPLINES TIJDENS DE ONTMANTELINGSFASE 595

TABEL 8-8 OVERZICHT VAN DE INGREEP-EFFECTEN VOOR DE VERSCHILLENDE DISCIPLINES VOOR DE WEC'S 596

TABEL 8-9 OVERZICHT VAN DE INGREEP-EFFECTEN VOOR DE VERSCHILLENDE DISCIPLINES VOOR DE BEKABELING 597

TABEL 8-10 OVERZICHT VAN DE INGREEP-EFFECTEN VOOR DE VERSCHILLENDE DISCIPLINES TIJDENS DE CONSTRUCTIEFASE 599

TABEL 8-11 OVERZICHT VAN DE INGREEP-EFFECTEN VOOR DE VERSCHILLENDE DISCIPLINES TIJDENS DE OPERATIONELE FASE 600

TABEL 8-12 OVERZICHT VAN DE INGREEP-EFFECTEN VOOR DE VERSCHILLENDE DISCIPLINES TIJDENS DE ONTMANTELINGSFASE 601

TABEL 8-13 OVERZICHT VAN DE INGREEP-EFFECTEN VOOR DE VERSCHILLENDE DISCIPLINES VOOR DE BEKABELING 602

TABEL 8-14 OVERZICHT VAN DE CUMULATIEVE INGREEP-EFFECTEN VOOR DE VERSCHILLENDE DISCIPLINES 603

Lijst van figuren

FIGUUR 2-1 ENERGIEVERDELING VAN DE BELGISCHE RES ELEKTRICITEITSPRODUCTIE IN 2020 (REPAP-STUDY 2010) 20

FIGUUR 2-2 LIGGING MERMAID (BLAUW) T.O.V. ANDERE GEBRUIKERS VAN HET BELGISCH DEEL VAN DE NOORDZEE 25

FIGUUR 2-3 SITUERING VAN HET MERMAID PROJECTGEBIED (BLAUW) T.O.V. OMLIGGENDE CONCESSIEZONES, KABELS EN PIJPLEIDINGEN (A3 FORMAAT IN BIJLAGE B.2). 26

FIGUUR 2-4 BASISVELD VOOR DE WEC'S, INGEPLANT TUSSEN 4 WINDTURBINES IN DE BASISCONFIGURATIE MET 38 WTG'S 30
FIGUUR 2-5 ENKELE VOORBEELDEN VAN POTENTIËLE INPLANTINGEN VOOR DE 4 WEC-VELDEN (20 MW) 31
FIGUUR 2-6 ENKELE VOORBEELDEN VAN POTENTIËLE INPLANTINGEN VOOR 12 WEC-VELDEN (60 MW) 32
FIGUUR 2-7 ILLUSTRATIE MONOPILE FUNDERING (BRON: TECHNUM-IMDC) 48
FIGUUR 2-8 ILLUSTRATIE JACKET FUNDERING (BRON: TECHNUM-IMDC) 50
FIGUUR 2-9 ILLUSTRATIE GRAVITAIRE FUNDERING (BRON: TECHNUM-IMDC) 51
FIGUUR 2-10 DWARSDOORSNEDE DOORHEEN EEN KAREHAMN GRAVITAIRE FUNDERING 52
FIGUUR 2-11 VOORBEELD VAN EEN SUCTION BUCKET FUNDERING (BRON: LE BLANC BAKMAR, 2009) 53
FIGUUR 2-12 HET PRINCIPE VAN DE 'SUCTION BUCKET' FUNDERING (BRON: HTTP://WWW.LORC.DK/KNOWLEDGE/WIND/SUPPORT-STRUCTURES/THE-SUCTION-BUCKET-MONOTOWER) 54
FIGUUR 2-13 ILLUSTRATIE STATISCHE EROSIEBESCHERMING (IMDC, 2010C) 56
FIGUUR 2-14 ILLUSTRATIE DYNAMISCHE EROSIEBESCHERMING (BIJ DEZE ILLUSTRATIE ZONDER FILTERLAAG) (HANSEN AND GISLASON, 2002 IN: TECHNUM-IMDC, 2009). 56
FIGUUR 2-15 DE VERSCHILLENDE STAPPEN IN DE ONTWIKKELING VAN EEN NIEUWE TECHNOLOGIE IN NASA'S TECHNOLOGY READINESS LEVELS 60
FIGUUR 2-16 PRINCIPE VAN EEN SINGLE POINT ABSORBER (BRON: HTTP://EN.OPENEI.ORG/WIKI/MARINE_AND_HYDROKINETIC_TECHNOLOGY_DATABASE) 61
FIGUUR 2-17 PRINCIPE VAN EEN ATTENUATOR (BRON: HTTP://EN.OPENEI.ORG/WIKI/MARINE_AND_HYDROKINETIC_TECHNOLOGY_DATABASE) 61
FIGUUR 2-18 PRINCIPE VAN EEN OSCILLERENDE WATERKOLOM 62
FIGUUR 2-19 PRINCIPE VAN EEN OVERTOPPINGSYSTEEM 62
FIGUUR 2-20 EEN ONTWERP VAN DE WAVESTAR. LINKS IN STORMCONDITIES MET DE VLOTTERS OPGETROKKEN ALS BEVEILIGING, RECHTS ONDER NORMALE OMSTANDIGHEDEN (BRON: WAVESTARENERGY.COM) 63
FIGUUR 2-21 VOORBEELD VAN WAVESTAR UNITS IN EEN WINDPARK (BRON: WAVESTARENERGY.COM) 64
FIGUUR 2-22 INPLANTING EN DE BEKABELING (GROEN) IN HET BASISVELD (750 M X 450 M, MINIMALE BUFFER 75 M) VOOR DE WAVESTAR 64
FIGUUR 2-23 TESTFASE VAN DE POSEIDON (BRON: WWW.FLOATINGPOWERPLANT.COM) 65
FIGUUR 2-24 TESTFASE VAN DE POSEIDON (BRON: WWW.FLOATINGPOWERPLANT.COM) 66
FIGUUR 2-25 EEN ONTWERP VAN DE P80, DE EERSTE COMMERCIËLE WEC VAN FLOATING POWER PLANT (BRON: WWW.FLOATINGPOWERPLANT.COM) 66
FIGUUR 2-26 INPLANTING EN DE BEKABELING IN HET BASISVELD (750 M X 450 M, MINIMALE BUFFER 75 M) VOOR DE POSEIDON P60 67
FIGUUR 2-27 ONTWERP VAN DE WEPTOS (BRON: WWW.WEPTOS.COM) 67
FIGUUR 2-28 HET WERKINGSMECHANISME VAN DE VLOTTERS VAN DE WEPTOS (BRON: WWW.WEPTOS.COM) 68
FIGUUR 2-29 DE WEPTOS KAN AANGEPAST WORDEN AAN DE WEERSOMSTANDIGHEDEN, ZOWEL IN DE BREEDTE (LINKS) ALS AAN DE RICHTING VAN DE GOLVEN (RECHTS) (BRON: WWW.WEPTOS.COM) 68

FIGUUR 2-30 INPLANTING EN DE BEKABELING (GROEN) IN HET BASISVELD (750 M X 450 M, MINIMALE BUFFER 75 M) VOOR DE WEPTOS 69
FIGUUR 2-31 CONCEPT VAN DE WEC ONTWIKKELD DOOR FLANSEA (BRON: WWW.FLANSEA.EU) 70
FIGUUR 2-32 TESTAPPARAAT VAN FLANSEA OP SCHAAL 1:2 (BRON: WWW.FLANSEA.EU) 70
FIGUUR 2-33 DE GRAVITAIRE VERANKERING VAN HET TESTAPPARAAT VAN FLANSEA (BRON: WWW.FLANSEA.EU) 71
FIGUUR 2-34 INPLANTING EN DE BEKABELING (GROEN) IN HET BASISVELD (750 M X 450 M, MINIMALE BUFFER 75 M) VOOR DE FLANSEA 72
FIGUUR 2-35 ONTWERP VAN DE SEABASED WEC'S (BRON: WWW.SEABASED.COM) 72
FIGUUR 2-36 DOORSNEDE VAN EEN SEABASED (BRON: WWW.SEABASED.COM) 73
FIGUUR 2-37 INSTALLATIE VAN DE SEABASED IN ZWEDEN (BRON: WWW.SEABASED.COM) 74
FIGUUR 2-38 INPLANTING EN DE BEKABELING (GROEN) HET BASISVELD (750 M X 450 M, MINIMALE BUFFER 75 M) VOOR DE SEABASED 74
FIGUUR 2-39 TESTONTWERP VAN DE LIFESAVER MET 3 PTO'S (BRON: WWW.BOLTWAVEPOWER.COM) 75
FIGUUR 2-40 TESTFASE VAN DE LIFESAVER (BRON: WWW.BOLTWAVEPOWER.COM) 76
FIGUUR 2-41 INPLANTING EN DE BEKABELING (GROEN) IN HET BASISVELD (750 M X 450 M, MINIMALE BUFFER 75 M) VOOR DE LIFESAVER 76
FIGUUR 2-42 EEN ONTWERP VAN DE P80, DE EERSTE COMMERCIËLE WEC VAN POSEIDON (BRON: WWW.FLOATINGPOWERPLANT.COM) 78
FIGUUR 2-43 DE W2POWER COMBINEERT GOLF- EN WINDENERGIE (BRON: HTTP://WWW.PELAGICPOWER.NO) 78
FIGUUR 2-44 MARINE SOLAR CELLS COMBINEREN GOLF- EN ZONNEËNERGIE (BRON: HTTP://WWW.PHILPAULEY.COM/CONCEPT_DESIGN/SUSTAINABILITY/MARINE-SOLAR-CELLS/) 79
FIGUUR 2-45 VERBINDING TURBINES RECHTSTREEKS OP ALPHA (OPTIE A) 80
FIGUUR 2-46 AANSLUITING TURBINES OP OHVS WAARNA VERBINDING MET ALPHA (OPTIE B) 80
FIGUUR 2-47 AANSLUITING TURBINES OP OHVS WAARNA VERBINDING NAAR LAND (OPTIE C) 81
FIGUUR 2-48 VOORBEELDEN VAN EEN XLPE ONDERWATER KABELSYSTEEM (BRON: ABB USER'S GUIDE) 82
FIGUUR 2-49 MONTAGE EN LADEN VAN TURBINE ONDERDELEN MET MOBIELE KRANEN AAN WAL (BRON: DEME) 91
FIGUUR 2-50 ILLUSTRATIE VAN EEN INSTALLATIEVAARTUIG (RAMBIZ) (BRON: DEME) 92
FIGUUR 2-51 ILLUSTRATIES VAN JACK-UP PONTONS (GOLIATH EN VAGANT) (BRON: DEME) 93
FIGUUR 2-52 ILLUSTRATIE TRANSPORTPONTON VOORTGETROKKEN DOOR EEN SLEEPBOOT (BRON: DEME) 94
FIGUUR 2-53 ILLUSTRATIE VAN EEN SLEEPHOPPERZUIGER (BRON: DEME) 95
FIGUUR 2-54 ILLUSTRATIE VAN EEN STEENSTORTSCHIP, TYPE ZIJSTORTEN (BRON: DEME) 95
FIGUUR 2-55 ILLUSTRATIE VAN EEN STEENSTORTSCHIP 'ROLLINGSTONE', TYPE VALPIJPSTORTEN (BRON: DEME) 96
FIGUUR 2-56 ILLUSTRATIES VAN KABELLEGGERS (BRON: DEME) 97
FIGUUR 2-57 ILLUSTRATIE VAN EEN NIET-GRONDVERPLAATSENDE KABELPLOEG SEA STALLION IV (BRON: VSMC) 98

FIGUUR 2-58 ILLUSTRATIE VAN DE SLEEPHOPPERZUIGER NILE RIVER (BAGGERWERKEN DECLOEDT & ZN) (BRON: WWW.DEME.BE)..... 98

FIGUUR 2-59 ILLUSTRATIE VAN HET DOORTREKKEN VAN DE EXPORTKABEL ONDER DE DUINEN (BRON: IMDC I.O.V. C-POWER, APRIL 2012)..... 99

FIGUUR 2-60 ILLUSTRATIE VAN TRANSITIESTUK MET CONCENTRISCHE CONNECTIE MET SHEAR KEYS..... 100

FIGUUR 2-61 ILLUSTRATIE VAN TRANSITIESTUK MET CONISCHE VORM VAN ZOWEL MONOPILE ALS TRANSITIESTUK ZONDER SHEAR KEYS (BRON: DNV, 2011)..... 101

FIGUUR 2-62 ILLUSTRATIE VAN JACKET CONSTRUCTIES OP LAND EN RECHTS: DE INSTALLATIE DOOR MIDDEL VAN PRE-PILING OP ZEE: PLAATSING MAL, INHEIEN PALEN IN MAL, VERWIJDEREN MAL, PLAATSING JACKET OP DE PALEN..... 104

FIGUUR 2-63 ILLUSTRATIE VAN HET AANBRENGEN VAN DE BACKFILL EN EROSIEBESCHERMING BIJ EEN GRAVITAIRE FUNDERING (BRON: DEME, 2008)..... 107

FIGUUR 2-64 TRANSPORT VAN EEN SUCTION BUCKET VIA HET WATER (BRON: LE BLANC BAKMAR 2009)..... 109

FIGUUR 2-65 SUCTION BUCKET FUNDERING VOOR OHVS GLOBAL TECH 1 (KEPPEL VEROLME ROTTERDAM)..... 110

FIGUUR 2-66 ILLUSTRATIES BIJ HET SUCTION BUCKET PRINCIPE (BRON: LE BLANC BAKMAR 2009)..... 111

FIGUUR 2-67 ILLUSTRATIES BIJ HET SUCTION BUCKET PRINCIPE: POMPINSTALLATIE (BRON: LE BLANC BAKMAR 2009)..... 111

FIGUUR 2-68 ILLUSTRATIES VAN DE INSTALLATIE VAN WTG EN ROTOR (BRON: DEME, C-POWER FASE 2)..... 114

FIGUUR 2-69 TRANSPORT VAN EEN WAVESTAR MODEL TIJDENS DE INSTALLATIE IN 2009 (BRON: WAVESTARENERGY.COM)..... 114

FIGUUR 2-70 SCHEMATISCH OVERZICHT VAN EEN TURRET MOORING..... 115

FIGUUR 2-71 VERVOER VAN DE POSEIDON (BRON: WWW.FLOATINGPOWERPLANT.COM)..... 115

FIGUUR 2-72 VERVOER VAN DE WEPTOS (BRON: WWW.WEPTOS.COM)..... 116

FIGUUR 2-73 TRANSPORT VAN DE FLANSEA (BRON: DENNIS RENSON, UGENT)..... 117

FIGUUR 2-74 TRANSPORT VAN DE LIFESAVER (BRON: WWW.BOLTWAVEPOWER.COM)..... 118

FIGUUR 2-75 ILLUSTRATIE VAN DE INSTALLATIE VAN EEN OHVS..... 119

FIGUUR 2-76 VOORBEELD VAN EEN BESCHERMINGSMAT..... 125

FIGUUR 4-1 OPTIE A: RECHTSTREEKSE AANSLUITING VAN MERMAID EN NORTHWESTER 2 OP ALPHA VIA MEERDERE (PARALLELLE) VERBINDINGSKABELS (A3 FORMAAT IN BIJLAGE D.1)..... 166

FIGUUR 4-2 OPTIE B: RECHTSTREEKSE AANSLUITING VAN OHVS IN MERMAID EN NORTHWESTER 2 OP ALPHA VIA 1 OF 2 VERBINDINGSKABEL(S) (A3 FORMAAT IN BIJLAGE D.2)..... 167

FIGUUR 4-3 OPTIE C: DIRECTE AANSLUITING VAN MERMAID EN NORTHWESTER 2 OHVS OP STEVIN STATION IN ZEEBRUGGE (A3 FORMAAT IN BIJLAGE D.3)..... 169

FIGUUR 5-1 DE BATHYMETRIE VAN HET BDNZ (IN METER ONDER GLLWS) (DATA VAN AWZ-WWK ZEEBRUGGE, AANGEVULD MET DATA VAN DE NEDERLANDSE EN ENGELSE HYDROGRAFISCHE DIENSTEN, COMPILATIE DOOR VAN LANCKER ET AL., 2007). HET BELGISCH DEEL VAN DE NOORDZEE IS RIJK AAN ZANDBANKEN. DEZE WORDEN INGEDEELD IN VIER GROEPEN: 1) DE KUSTBANKEN; 2) DE VLAAMSE BANKEN; 3) DE ZEELANDBANKEN; EN 4) DE HINDERBANKEN. DE MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) CONCESSIEZONES ZIJN AANGEDUID MET EEN ROOD FRAME. 182

FIGUUR 5-2 KORRELGROOTTEVERDELING OP HET BDNZ (NAAR VERFAILLIE ET AL., 2006). DE MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) CONCESSIEZONES ZIJN AANGEDUID MET EEN ZWART FRAME..... 183

FIGUUR 5-3 DE TERTIAIRE AFZETTINGEN DIE VOORKOMEN ONDER DE NIET-GECONSOLIDEERDE QUARTAIRE AFZETTINGEN (NAAR LE BOT ET AL., 2003. MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) CONCESSIEZONES ZIJN AANGEDUID MET EEN ROOD FRAME. 184

FIGUUR 5-4 SITUERING VAN MERMAID EN NORTHWESTER 2 (ROOD FRAME) TEN OPZICHTE VAN EEN PALEOVALLEIENSYSTEEM (NAAR MATHYS, 2010). MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) CONCESSIEZONES ZIJN AANGEDUID MET EEN ROOD FRAME. 185

FIGUUR 5-5 DIKTEKAART VAN DE QUARTAIRE AFZETTINGEN, MET DE AANDUIDING VAN DE MORFOLOGISCHE STRUCTUREN IN HET TOP-PALEOGEEN (FIJNE ZWARTE LIJN) (NAAR MATHYS 2009). MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) CONCESSIEZONES ZIJN AANGEDUID MET EEN ROOD FRAME. 186

FIGUUR 5-6 INTERPRETATIE SEISMISCHE PROFIELEN OPGENOMEN IN DE MERMAID EN NORTHWESTER 2 CONCESSIEZONES (G-TEC, 2013). 187

FIGUUR 5-7 SITUERING VAN VIER SEISMISCHE PROFIELEN IN DE MERMAID EN NORTHWESTER 2 PROJECTGEBIEDEN 189

FIGUUR 5-8 SEISMISCH PROFIEL L3, DIEPTE IN MS TWT ONDER HET WATEROPPERVLAK, GROENE LIJN = ZEEBODEM; DONKERBLAUWE LIJN = BASIS QUARTAIR (DATA G-TEC, 2013, INTERPRETATIE BASIS QUARTAIR IMDC) 189

FIGUUR 5-9 SEISMISCH PROFIEL L7, DIEPTE IN MS TWT ONDER HET WATEROPPERVLAK, GROENE LIJN = ZEEBODEM; DONKERBLAUWE LIJN = BASIS QUARTAIR (DATA G-TEC, 2013, INTERPRETATIE BASIS QUARTAIR IMDC) 190

FIGUUR 5-10 SEISMISCH PROFIEL C2, DIEPTE IN MS TWT ONDER HET WATEROPPERVLAK, GROENE LIJN = ZEEBODEM; DONKERBLAUWE LIJN = BASIS QUARTAIR (DATA G-TEC, 2013, INTERPRETATIE BASIS QUARTAIR IMDC) 190

FIGUUR 5-11 SEISMISCH PROFIEL C9, DIEPTE IN MS TWT ONDER HET WATEROPPERVLAK, GROENE LIJN = ZEEBODEM; DONKERBLAUWE LIJN = BASIS QUARTAIR (DATA G-TEC, 2013, INTERPRETATIE BASIS QUARTAIR IMDC) 191

FIGUUR 5-12 SCHEMATISCHE VISUALISATIE VAN DE RICHTINGEN VAN DE MAXIMALE GETIJSTROOMSNELHEID (ZWARTE PIJLEN) EN HET TOTALE SEDIMENTTRANSPORT (RODE PIJLEN) (UIT MATHYS 2009, DATA UIT LANCKNEUS ET AL. 2001). MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) CONCESSIEZONES ZIJN AANGEDUID MET EEN ZWART GEARCEERD FRAME..... 192

FIGUUR 5-13 BATHYMETRISCHE KAART VAN DE MERMAID EN NORTHWESTER 2 CONCESSIEGEBIEDEN OP BASIS VAN MULTIBEAM DATA (DIEPTE IN M TAW), MET AANDUIDING VAN LOCATIE BODEMPROFIELEN..... 194

FIGUUR 5-14 VERTICAAL BODEMPROFIEL A (ZW TOT NO). LOCATIE ZIE FIGUUR 5-13..... 195

FIGUUR 5-15 VERTICAAL BODEMPROFIEL B (ZW TOT NO). LOCATIE ZIE FIGUUR 5-13..... 195

FIGUUR 5-16 VERTICAAL BODEMPROFIEL C (ZW TOT NO). LOCATIE ZIE FIGUUR 5-13. 195

FIGUUR 5-17 VERTICAAL BODEMPROFIEL D (ZW TOT NO). LOCATIE ZIE FIGUUR 5-13. 196

FIGUUR 5-18 VOORKOMEN VAN ZANDDUINEN IN CONCESSIEGEBIEDEN MERMAID EN NORTHWESTER 2 (NAAR VAN LANCKER ET AL, 2007)..... 196

FIGUUR 5-19 KORRELGROOTTEVERDELING EN VOORKOMEN VAN GRIND OP HET BDNZ, INGEZOOMD OP HET GEBIED ROND MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) (BLAUW FRAME) (NAAR VERFAILLIE ET AL., 2006 EN VAN LANCKER ET AL., 2007) 197

FIGUUR 5-20 GEMIDDELDE SIGNIFICANTE GOLFHOOGTE OVER EEN SPRINGTIJ-DOODTIJ CYCLUS IN WINTERCONDITIES..... 199

FIGUUR 5-21 MAXIMALE SIGNIFICANTE GOLFHOOGTE OVER EEN SPRINGTIJ-DOODTIJ CYCLUS IN WINTERCONDITIES 199

FIGUUR 5-22 MAXIMALE STROOMSNELHEDEN (M/S) OVER HET BDNZ. GEGEVENS UIT HET BMM MU-BCZ MODEL (UIT: LANCKNEUS ET AL., 2001). DE GEKLEURDE VECTOREN GROEPEREN DE STROOMRICHTINGEN PER KWADRANT. 200

FIGUUR 5-23 GEMIDDELDE STROOMSNELHEDEN OVER EEN DOODTIJ-SPRINGTIJ CYCLUS TIJDENS ZOMERCONDITIES (LINKS) EN WINTERCONDITIES (RECHTS) 201

FIGUUR 5-24 MAXIMALE STROOMSNELHEDEN OVER EEN DOODTIJ-SPRINGTIJ CYCLUS TIJDENS ZOMERCONDITIES (LINKS) EN WINTERCONDITIES (RECHTS) 202

FIGUUR 5-25 GEMIDDELDE STROOMSNELHEIDSELLIPSEN TIJDENS ZOMERCONDITIES (LINKS) EN TIJDENS WINTERCONDITIES (RECHTS) (OVER DOODTIJ-SPRINGTIJCYCLUS), BATHYMETRIE ALS ACHTERGROND 202

FIGUUR 5-26 RESIDUEEL WATERTRANSPORT TIJDENS ZOMERCONDITIES (LINKS) EN TIJDENS WINTERCONDITIES (RECHTS) (OVER DOODTIJ-SPRINGTIJCYCLUS) 203

FIGUUR 5-27 SEDIMENT TRANSPORT VECTOREN VERKREGEN UIT EEN 2D TRANSPORT MODEL (TOTALE BODEMTRANSPORT) (UIT LANCKNEUS ET AL., 2001). DE GEKLEURDE VECTOREN GROEPEREN DE TRANSPORTRICHTING PER KWADRANT) 204

FIGUUR 5-28 SEDIMENTTRANSPORTRICHTINGEN IN DE REGIO VAN DE HINDERBANKEN (DELEU, 2001) 205

FIGUUR 5-29 RESIDUEEL SEDIMENTTRANSPORT OVER EEN DOODTIJ-SPRINGTIJ CYCLUS VOOR ZOMERCONDITIES 206

FIGUUR 5-30 RESIDUEEL SEDIMENTTRANSPORT OVER EEN DOODTIJ-SPRINGTIJ CYCLUS VOOR WINTERCONDITIES 207

FIGUUR 5-31 EROSIE-SEDIMENTATIEPATRONEN OVER EEN DOODTIJ-SPRINGTIJ CYCLUS VOOR ZOMERCONDITIES 208

FIGUUR 5-32 EROSIE-SEDIMENTATIEPATRONEN OVER EEN DOODTIJ-SPRINGTIJ CYCLUS VOOR WINTERCONDITIES 208

FIGUUR 5-33 MAANDELIJKS EN JAARLIJKS GEMIDDELD ZWEVEND STOFGEHALTE AAN HET WATEROPPERVLAK OP DE BLIGHBANK OP BASIS VAN DE MODIS SENSOR (VAN DEN EYNDE ET AL., 2013) 210

FIGUUR 5-34 JAARLIJKSE EN DIEPTE-GEMIDDELDE SPM CONCENTRATIE (SUSPENDED PARTICULATE MATTER) (MG/L) (NAAR FETTWEIS ET AL., 2010) 211

FIGUUR 5-35 BAGGER- EN DUMPLOCATIES VOOR DE 4 SCENARIO'S VOOR HET UITGRAVEN VAN EEN FUNDERINGSPUT VOOR GBF 233

FIGUUR 5-36 MAANDELIJKS GEMIDDELDE LUCHTTEMPERATUUR IN UKKEL (C°). NORMALEN EN ABSOLUTE UITERSTEN VANAF 1833 TOT 2013 (KMI, 2013) 245

FIGUUR 5-37 MAANDELIJKSE TOTALEN VAN NEERSLAG IN UKKEL (MM). NORMALEN EN ABSOLUTE UITERSTEN VANAF 1833 TOT 2013. (KMI, 2013) 245

FIGUUR 5-38 WIND ENERGIE ROOS (COMBINATIE FREQUENTIE EN WINDSNELHEID) TER HOOGTE VAN TURBINE B05 IN HET BELWIND WINDPARK (BRON: BELWIND, 2012) 246

FIGUUR 5-39 FREQUENTIEDISTRIBUTIE VAN DE WINDSNELHEID VOOR MOW 7 WESTHINDER (3E, 2001) 247

FIGUUR 5-40 EVOLUTIE VAN DE UITSTOOT VAN BROEIKASGASSEN IN BELGIË (IN MT CO_2-EQ) (WWW.KLIMAAT.BE) 251

FIGUUR 5-41 TOTALE CO-, NO_x-, SO_2- EN TSP-EMISSIES (TOTAAL ZWEVEND STOF IN TON) PER SCHEEPSTYPE DOOR DE ZEESCHEEPVAART IN VLAANDEREN (2011) (VMM, 2012) 251

FIGUUR 5-42 GEMODELLEERDE OFFSHORE NO_X EMISSIES (IN KT/JAAR) IN 2009 (BINCS ET AL., 2012) 253

FIGUUR 5-43 NOX UITSTOOT VAN INTERNATIONAAL SCHEEPVAARTVERKEER IN KT NOX PER JAAR IN 1990-2007, GEBASEERD OP EMEP EMISSIE DATA (OSPAR, 2010) 253

FIGUUR 5-44 EMISSIES VERZURENDE EN OVERIGE STOFFEN NAAR DE LUCHT DOOR ZEESCHEEPVAART IN NEDERLAND (1990-2012) (CBS, PBL, WAGENINGEN UR, 2013) 254

FIGUUR 5-45 GEMODELLEERDE NOX CONCENTRATIE IN DE ZOMER VAN 2011. LINKS: CONCENTRATIE NO_X IN µG/M³, RECHTS: AANDEEL IN % DOOR SCHEEPVAART (CNSS, 2014) ... 255

FIGUUR 5-46 CONTOUREN VAN DE WINDSNELHEDEN (IN M/S) BIJ EEN GEMIDDELDE V_{IN}=10 M/S OP ROTORHOOGTE (WUßOW ET AL., 2007) 257

FIGUUR 5-47 CUMULATIEF EFFECT VAN VERSCHILLENDE WINDTURBINES OP ÉÉN RIJ ACHTER ELKAAR (MET EEN WINDRICHTING PARALLEL AAN DE WINDTURBINES) (SANDERHOFF, 1993)..... 258

FIGUUR 5-48 GEMIDDELD GELUIDSSPECTRUM ONDER WATER T.H.V. DE THORNTONBANK (NAJAAR 2005) – BLAUWE CURVE: HYDROFOON OP 2 M DIEPTE, GROENE CURVE: HYDROFOON OP 16,5 M DIEPTE (RCMG, 2006)..... 282

FIGUUR 5-49 VERSPREIDING VAN HET GELUID VRIJGEKOMEN BIJ HET HEIEN DOORHEEN DE WATERKOLOM (BRON: GERASCH, 2007)..... 288

FIGUUR 5-50 ONDERWATERGELUID ALS FUNCTIE VAN DE ENERGIE VAN EEN HAMERSLAG VAN EEN VALHAMER (MENCK MHF10-20) OP 2,2 M PAALDIAMETER OP 500 M AFSTAND. VIER PROEVEN WERDEN UITGEVOERD MET E=37 KJ (MINIMALE ENERGIE VOOR DEZE PAAL), 50 KJ, 100 KJ EN 200 KJ (BRON: SCHULTZ-VON GLAHN ET. AL. 2006)..... 288

FIGUUR 5-51 GELUIDSVERLOOP BIJ ÉÉN HEISLAG 289

FIGUUR 5-52 GELUIDSSPECTRUM BIJ ÉÉN HEISLAG OP 770 M VAN DE STALEN MONOPILE (B10) VAN HET WINDPARK BELWIND. (NAAR NORRO ET AL., 2011) 291

FIGUUR 5-53 MAX SEL EN PIEKNIVEAU AAN HET HORNS REV II (HR2), IN VERGELIJKING TOT ANDERE OFF-SHORE HEIWERKZAAMHEDEN (FINO 1(2003), ALPHA VENTUS (2008), UTGRUNDEN (2000), SKY (2002), FINO 2 (2006), AMRUMBANK WEST (2005), NORTH HOYLE (2003), Q7 (2007), BARROW (2005), FINO 3 (2008)).- (KLAUS BETKE, 2008 - MEASUREMENT OF WIND TURBINE CONSTRUCTION NOISE AT HORNS REV II) 295

FIGUUR 5-54 1/3^E OCTAAFBANDSPECTRA VOOR HET ONDERWATERGELUIDSNIVEAU VOOR SNIJKOPZUIGER AQUARIUS (LENGTE: 107 M – VERMOGEN: 12889 KW) EN SLEEPHOPPERZUIGER BEAVER MACKENZIE, IN DB (RE 1µ PA) (RICHARDSON ET AL., 1995) 296

FIGUUR 5-55 DE ATTENUATIE ALS FUNCTIE VAN DE FREQUENTIE: (A)= ZOETWATER (B)=ZEEWATER 297

FIGUUR 5-56 TRANSMISSIEVERLIES BEREKEND MET 3 VERSCHILLENDE FORMULES: VOLGENS THIELE (2002), VOLGENS EEN CILINDRISCHE UITBREIDING EN VOLGENS EEN SFERISCHE UITBREIDING 298

FIGUUR 5-57 OVERDRACHT VAN GELUID VAN EEN WINDTURBINE NAAR HET WATER..... 302

FIGUUR 5-581/3 OCTAAF SPECTRA VAN ONDERWATER ACHTERGRONDGELUID OP DE BLIGHBANK (ZWART) EN GELUIDSEMISSIE TIJDENS DE CONSTRUCTIE EN OPERATIONELE FASE VAN OFFSHORE WINDPARKEN. OPERATIONELE 6,15 MW TURBINE OP JACKET (BLAUW) EN OPERATIONELE 3 MW TURBINE OP MONOPILE (PAARS) 304

FIGUUR 5-59 BELLENGORDIJN MET MEERDERE INJECTIEDIEPTES - 'VERPLAATSING VAN HET BELLENGORDIJN IN EEN STROMING VAN 1 KNOOP' (CHRISTOPHERSON AND WILSON, 2002) 316

FIGUUR 5-60 'FOAM-COATED' PILE SLEEVE 317

FIGUUR 5-61 LOCATIES VAN DE STAALNAMECAMPAGNE IN 2008 WANNEER DE BASELINE STUDIE OP DE BLIGHBANK IS UITGEVOERD (REUBENS ET AL., 2009A)..... 320

FIGUUR 5-62 STAALNAME PUNTEN VOOR DE CONSTRUCTIE VAN DE WINDPARKEN (T0) (VANDENDRIESSCHE ET AL., 2013C) 322

FIGUUR 5-63 STAALNAME PUNTEN NA DE CONSTRUCTIE VAN C-POWER EN BELWIND (2012) (VANDENDRIESSCHE ET AL., 2013C) 322

FIGUUR 5-64 MONITORINGSTRAJECT GEVOLGD IN DE PERIODE 2012, MET DE LOCATIE VAN C-POWER (THORNTONBANK) EN BELWIND (BLIGHBANK) (VANERMEN ET AL., 2013A). DE PROJECTGEBIEDEN VAN MERMAID EN NORTHWESTER 2 ZIJN GEEL OMLIJND..... 324

FIGUUR 5-65 GEOGRAFISCHE VERDELING VAN DE VERSCHILLENDE BIOTOPEN IN HET BDNZ MET DE LOCATIES VAN MERMAID (NOORD) EN NORTHWESTER 2 (ZUID) ZWART OMLIJND (ROOD: MACOMA BALTHICA, BLAUW: ABRA ALBA, GROEN: NEPHTYS CIRROSA EN PAARS: OPHELIA LIMACINA BIOTOOP; WIT: ONVOORSPELD GEBIED, NIET GEANALYSEERD) (DEGRAER ET AL., 2009) 327

FIGUUR 5-66 HABITATGESCHIKTHEIDSKAARTEN VOOR DE VIER IN BELGISCHE WATEREN VOORKOMENDE MACROBENTHOS GEMEENSCHAPPEN, ZOALS VOORSPELD DOOR DEGRAER ET AL. (2008). A: MACOMA BALTHICA GEMEENSCHAP; B: ABRA ALBA GEMEENSCHAP; C: NEPHTYS CIRROSA GEMEENSCHAP; D: OPHELIA LIMACINA GEMEENSCHAP. LICHT GRIJS: 0% GESCHIKT → ZWART: MAXIMUM GESCHIKTHEID. DE LOCATIES VAN MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) ZIJN ROOD OMLIJND. 329

FIGUUR 5-67 KORRELGROOTTEVERDELING OP HET BDNZ (NAAR VERFAILLIE ET AL., 2006). DE LOCATIES VAN MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) ZIJN BLAUW OMLIJND. 330

FIGUUR 5-68 BIOLOGISCHE WAARDERINGSKAART VOOR HET MACROBENTHOS (DEROUS ET AL., 2007). DE LOCATIES VAN MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) ZIJN ZWART OMLIJND. 331

FIGUUR 5-69 HABITATGESCHIKTHEIDSKAART VOOR LANICE CONCHILEGA AGGREGATIES MET EEN DICHTHEID > 500 IND./M². HOOGSTWAARSCHIJNLIJK AFWEZIG: BLAUW (0); HOOGSTWAARSCHIJNLIJK AANWEZIG: ROOD (1) (DEGRAER ET AL., 2009). DE LOCATIES VAN MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) ZIJN ROOD OMLIJND..... 332

FIGUUR 5-70 HABITATTYPE 1170 GRINDBEDDEN (DEGRAER ET AL., 2009). DE LOCATIES VAN MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) ZIJN ROOD OMLIJND..... 333

FIGUUR 5-71 RUIMTELIJKE VERSPREIDING VAN DE GEMIDDELDE DENSITEIT (LINKS) EN SOORTENRIJKDOM (RECHTS) IN 2005 VOOR HET EPIBENTHOS (BLAUW: CONCESSIEGEBIEDEN, GROEN: RANDZONES, GEEL: REFERENTIEGEBIEDEN, ROOD: ANDERE GEBIEDEN). DE GROOTTE VAN DE BOLLEN VARIEERT TUSSEN 2 EN 1.600 IND./1.000M² VOOR DE DENSITEIT EN TUSSEN 8 EN 22 SOORTEN PER VISSLEEP VOOR DE SOORTENRIJKDOM (DE MAERSSCHALCK ET AL., 2006). 334

FIGUUR 5-72 BIOLOGISCHE WAARDERINGSKAART VOOR HET EPIBENTHOS (DEROUS ET AL., 2007). DE LOCATIES VAN MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) ZIJN ROOD OMLIJND. 335

FIGUUR 5-73 DENSITEITEN VAN HET EPIBENTHOS PER TAXONOMISCHE GROEP VOOR DE BLIGHBANK EN ZIJN REFERENTIEGEBIEDEN, LENTE (BOVEN) EN HERFST (ONDER) IN 2008 (VANDENDRIESSCHE ET AL., 2009) 336

FIGUUR 5-74 RUIMTELIJKE VERSPREIDING VAN DE GEMIDDELDE DENSITEIT (LINKS) EN DE GEMIDDELDE SOORTENRIJKDOM (RECHTS) IN 2005 VOOR DE DEMERSALE VISFAUNA (BLAUW: CONCESSIEGEBIEDEN, GROEN: RANDZONES, GEEL: REFERENTIEGEBIEDEN, ROOD: ANDERE GEBIEDEN). DE GROOTTE VAN DE BOLLEN VARIEERT TUSSEN 4 EN 184 IND/1.000 M² VOOR DE DENSITEIT EN TUSSEN DE 9 EN 24 SOORTEN PER VISSLEEP VOOR DE SOORTENRIJKDOM. (DE MAERSSCHALCK ET AL., 2006). 339

FIGUUR 5-75 BIOLOGISCHE WAARDERINGSKAART VOOR DE DEMERSALE VISFAUNA (DEROUS ET AL., 2007). DE LOCATIES VAN MERMAID EN NORTHWESTER 2 ZIJN ROOD OMLIJND. 340

FIGUUR 5-76 DENSITEITEN VAN DEMERSALE VISSEN PER TAXONOMISCHE GROEP OP DE BLIGHBANK EN OP DE REFERENTIEZONES, TIJDENS DE LENTE (BOVEN) EN HERFST (ONDER) VAN 2008 (VANDENDRIESSCHE ET AL.,2009) 341

FIGUUR 5-77 VOGELDENSITEITEN (N/KM²) OP DE BLIGHBANK (BB) IN VERGELIJK MET HET BDNZ IJDENS DE WINTER, LENTE, ZOMER EN HERFST (VANERMEN & STIENEN, 2009)..... 343

FIGUUR 5-78 BIOLOGISCHE WAARDERINGSKAART VOOR DE VOGELS (DEROUS ET AL., 2007.) DE LOCATIES VAN MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) ZIJN BLAUW OMLIJND. 345

FIGUUR 5-79 OVERZICHT VAN O.A. DE 3 SPECIALE BESCHERMINGSZONES VOOR VOGELS (SBZ-V) IN HET BDNZ 346

FIGUUR 5-80 WINTER DISTRIBUTIE VAN DE DWERGMEEUW OP HET BDNZ (AANTAL PER KM²) (WFA TTB: WIND FARM AREA THORNTONBANK, WFA BB: WIND FARM AREA BLIGHBANK) (VANERMEN & STIENEN, 2009). DE PROJECTGEBIEDEN VAN MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) ZIJN GEEL OMLIJND. 347

FIGUUR 5-81 LENTE DISTRIBUTIE VAN DE DWERGMEEUW OP HET BDNZ (AANTAL PER KM²) (WFA TTB: WIND FARM AREA THORNTONBANK, WFA BB: WIND FARM AREA BLIGHBANK) (VANERMEN & STIENEN, 2009). DE PROJECTGEBIEDEN VAN MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) ZIJN GEEL OMLIJND. 348

FIGUUR 5-82 HERFST DISTRIBUTIE VAN DE DWERGMEEUW OP HET BDNZ (AANTAL PER KM²) (WFA TTB: WIND FARM AREA THORNTONBANK, WFA BB: WIND FARM AREA BLIGHBANK) (VANERMEN & STIENEN, 2009). DE PROJECTGEBIEDEN VAN MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) ZIJN GEEL OMLIJND. 349

FIGUUR 5-83 LENTE DISTRIBUTIE VAN DE GROTE STERN OP HET BDNZ (AANTAL PER KM²) (WFA TTB: WIND FARM AREA THORNTONBANK, WFA BB: WIND FARM AREA BLIGHBANK) (VANERMEN & STIENEN, 2009). DE PROJECTGEBIEDEN VAN MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) ZIJN GEEL OMLIJND. 350

FIGUUR 5-84 DISTRIBUTIE VAN DE GROTE STERN OP HET BDNZ TIJDENS HET BROEDSEIZOEN (AANTAL PER KM²) (WFA TTB: WIND FARM AREA THORNTONBANK, WFA BB: WIND FARM AREA BLIGHBANK) (VANERMEN & STIENEN, 2009). DE PROJECTGEBIEDEN VAN MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) ZIJN GEEL OMLIJND..... 350

FIGUUR 5-85 ZOMER DISTRIBUTIE VAN DE GROTE STERN OP HET BDNZ (AANTAL PER KM²) (WFA TTB: WIND FARM AREA THORNTONBANK, WFA BB: WIND FARM AREA BLIGHBANK) (VANERMEN & STIENEN, 2009). DE PROJECTGEBIEDEN VAN MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) ZIJN GEEL OMLIJND. 351

FIGUUR 5-86 LENTE DISTRIBUTIE VAN DE VISDIEF OP HET BDNZ (AANTAL PER KM²) (WFA TTB: WIND FARM AREA THORNTONBANK, WFA BB: WIND FARM AREA BLIGHBANK) (VANERMEN & STIENEN, 2009). DE PROJECTGEBIEDEN VAN MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) ZIJN GEEL OMLIJND. 352

FIGUUR 5-87 DISTRIBUTIE VAN DE VISDIEF OP HET BDNZ TIJDENS HET BROEDSEIZOEN (AANTAL PER KM²) (WFA TTB: WIND FARM AREA THORNTONBANK, WFA BB: WIND FARM AREA BLIGHBANK) (VANERMEN & STIENEN, 2009). DE PROJECTGEBIEDEN VAN MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) ZIJN GEEL OMLIJND. 352

FIGUUR 5-88 ZOMER DISTRIBUTIE VAN DE VISDIEF OP HET BDNZ (AANTAL PER KM²) (WFA TTB: WIND FARM AREA THORNTONBANK, WFA BB: WIND FARM AREA BLIGHBANK) (VANERMEN & STIENEN, 2009). DE PROJECTGEBIEDEN VAN MERMAID (N) EN NORTHWESTER 2 (Z) ZIJN GEEL OMLIJND. 353

FIGUUR 5-89 EEN VERGELIJKING TUSSEN DE ZOMERVERSPREIDINGSGEBIEDEN VAN DE BRUINVIS ZOALS VASTGESTELD IN 1994 (BOVEN) EN 2005 (ONDER) TOONT DUIDELIJK AAN DAT ER EEN VERANDERING OPGETREDEN IS IN HET VERSPREIDINGSGEBIED. DE KLEURSCHAAL RECHTS VAN DE KAART GEEFT DE VASTGESTELDE DENSITEIT WEER IN AANTAL DIEREN/KM² (SCANS II, 2008). 355

FIGUUR 5-90 GESCHATTE DICHTHEDEN AAN BRUINVISSEN (IN EEN GEBIED ONGEVEER EQUIVALENT MET DE BELGISCHE WATEREN) ZOALS VASTGESTELD TIJDENS LUCHTSURVEYS UITGEVOERD TUSSEN 2008 EN 2013 (HAELTERS ET AL., 2013A)..... 356

FIGUUR 5-91 SEIZOENALE PATRONEN IN HET VOORKOMEN VAN BRUINVIS IN HET BDNZ GEBASEERD OP SCHEEPSTELLINGEN VAN HET INBO (DEGRAER ET AL., 2009) 356

FIGUUR 5-92 EEN SELECTIE VAN VERSPREIDINGSKAARTEN VAN BRUINVISSEN IN BELGISCHE WATEREN OP BASIS VAN DE DICHTHEID PER 10 X 10 KM BLOK (WAARNEMINGEN TIJDENS LUCHTSURVEYS; HAELTERS ET AL., 2013A)..... 357

FIGUUR 5-93 GEMIDDELD AANTAL GESTRANDE BRUINVISSEN PER MAAND VAN 2001 TOT 2013. DATA 2013 T.E.M. SEPTEMBER (BMM, 2013) 358

FIGUUR 5-94 SOORTENRIJKDOM EN DIVERSITEIT VAN DE EPIFAUNA VAN DE INTERTIDALE, TRANSITIE EN SUBTIDALE ZONE (KERCKHOF ET AL., 2009) 362

FIGUUR 5-95 DE HYPOTHETISCHE SCHAALVERGROTING VAN LOKALE EFFECTEN DIE ONTSTAAN RONDOM EEN TURBINE. MET DE TIJD BREIDEN DEZE EFFECTEN UIT LANGS VERSCHILLENDE GRADIËNTEN (COATES ET AL., 2013A)..... 370

FIGUUR 5-96 BIOMASSA TIJDENS DE HERFST VAN HET EPIBENTHOS IN DE PERIODE 2008-2012 OP DE BLIGHBANK (BLAUW: REFERENTIEZONE – TOP ZANDBANK, PAARS: IMPACTZONE – TOP ZANDBANK) (VANDENDRIESSCHE ET AL., 2013C) 371

FIGUUR 5-97 AUDIOGRAM VAN ZALM, KABELJAUW, HARING EN SCHAR (THOMSEN ET AL., 2006)..... 382

FIGUUR 5-98 OPERATIONEEL GELUID WINDPARK, OMGEVINGSGELUID EN AUDIOGRAM VAN ZALM, KABELJAUW, HARING EN SCHAR (THOMSEN ET AL., 2006) 386

FIGUUR 5-99 DE EVOLUTIE VAN HET MAGNETISCH VELD VOOR EEN DRIEFASIGE KABEL TEN OPZICHTE VAN DE HOOGTE BOVEN DE ZEEBODEM BIJ VERSCHILLENDE KABELDIEPTES (Y) BIJ EEN STROOMSTERKTE VAN 712 A (LOPEZ ET AL., 2011) 391

FIGUUR 5-100 OBSERVATIES VAN JAN-VAN-GENT, ZEEKOET, KLEINE MANTELMEEUW EN ZILVERMEEUW TIJDENS DE VOGELMONITORING NA DE CONSTRUCTIE VAN BELWIND IN 2012 (NAAR VANERMEN ET AL., 2013A)..... 402

FIGUUR 5-101 NOORDSE STERNEN DIE RUSTEN OP EEN PELAMIS WEC IN SCHOTLAND (JACKSON, 2014) 405

FIGUUR 5-102 INVLOEDSZONES ROND EEN GELUIDSBRON VOOR ZEEZOOGDIEREN (VERBOOM & KASTELEIN, 2005). ZONE OF AUDIBILITY: ZONE WAARBINNEN HET GELUID HOORBAAR IS VOOR ZEEZOOGDIEREN; ZONE OF RESPONSIVENESS: ZONE WAARBINNEN ZEEZOOGDIEREN GEDRAGSVERANDERINGEN VERTONEN; DISCOMFORT THRESHOLD: OVERSCHRIJDING VAN DEZE GELUIDSDREMPEL VEROORZAAKT VERMIJDINGS- EN AFSCHRIKREACTIES; ZONE OF SEVERE DISTURBANCE: ZONE WAARBINNEN ERNSTIGE VERSTORING (STERKE VERMIJDINGSREACTIES) VAN ZEEZOOGDIEREN OPTREEDT; ZONE OF HEARING INJURY: ZONE WAARBINNEN GEHOORSCHADE OPTREEDT..... 409

FIGUUR 5-103 LUCHTWAARNEMINGEN VAN BRUINVISDENSITEITEN TIJDENS SURVEYS OP 24-25 MAART (LINKS BOVEN), 29 MAART (RECHTS BOVEN), 14 APRIL (LINKS BENENDEN) EN 16 APRIL 2011 (RECHTS BENEDEN). DE STER DUIDT DE LOCATIE VAN DE HEIACTIVITEITEN AAN DIE AANVINGEN OP 7 APRIL (HAELTERS ET AL., 2012A). 413

FIGUUR 5-104 VOORLOPIGE (NIET GEVERIFIEERDE) RESULTATEN VAN PASSIEVE AKOESTISCHE MONITORING MET C-PODS OP DE THORNTONBANK EN DE OOSTDYCK W (DETECTIES UITGEDRUKT ALS % DETECTIE POSITIEVE BLOKKEN VAN 10 MINUTEN PER DAG). DE HEIACTIVITEITEN WORDEN WEERGEGEVEN MET DRIEHOEKEN OP DE X-AS (BMM, 2011B) 414

FIGUUR 5-105 VERGELIJKING VAN DE GEVOELIGHEID VAN HARINGEN (GROENE LIJN) EN BRUINVISSEN (ZWARTE LIJN) TEN OPZICHTE VAN ANTROPOGENE GELUIDEN (THOMSEN ET AL., 2009) 415

FIGUUR 5-106 BENTHISCHE SOORTENRIJKDOM VOOR EN NA DE CONSTRUCTIE VAN DE WINDPARKEN. BLAUW: SOORTEN GEASSOCIEERD MET ZANDIGE SEDIMENTEN, ROOD: SOORTEN GEASSOCIEERD MET HARDE SUBSTRATEN (RUMES ET AL., 2013) 425

FIGUUR 5-107 BIOMASSA VOOR 1 GBF FOOTPRINT IN DE HERFST VOOR (2005) EN NA (2012) DE CONSTRUCTIE VAN C-POWER (RUMES ET AL., 2013) 426

FIGUUR 5-108 DE SOORTENRIJKDOM VAN VISSEN EN PIJLINKTVISSEN VOOR (LINKS) EN NA (RECHTS) DE CONSTRUCTIE VAN DE WINDPARKEN (RUMES ET AL., 2013) 427

FIGUUR 5-109 SITUERING VAN MERMAID EN NORTHWESTER 2 (ROOD FRAME) TEN OPZICHTE VAN EEN PALEOVALLEIENSYSTEEM (NAAR MATHYS, 2010) 446

FIGUUR 5-110 SITUERING VAN MIDDELEEUWSE EILANDEN WULPEN, KOEZAND EN WATERDUNEN (NAAR MATHYS, 2010) 447

FIGUUR 5-111 SIMULATIE VAN DE DRIE GEKENDE VERGUNDE WINDTURBINEPROJECTEN (C-POWER, NORTHWIND EN BELWIND), STANDPUNT OP DE ZEEDIJK IN BLANKENBERGE (GRONTMIJ, 2010) (UITVERGROOT IN BIJLAGE G) 448

FIGUUR 5-112 ILLUSTRATIES VAN DE AANLEG VAN EEN EXPORTKABEL OP HET STRAND (BRON: IMDC I.O.V. C-POWER, APRIL 2012) 450

FIGUUR 5-113 SIMULATIE VAN DE VOLLEDIGE INNAME VAN DE JURIDISCH AFGEBAKENDE ZONE VOOR WINDTURBINES OP ZEE ('WORST CASE'), ZICHT VAN OP ZEE, STANDPUNT OP CA 2 KM VAN DICHTSTE WINDTURBINE, KIJKRICHTING NOORDWESTEN (GRONTMIJ, 2010) (UITVERGROOT IN BIJLAGE G-2). 451

FIGUUR 5-114 LIGGING WRAKKEN T.O.V. MERMAID EN NORTHWESTER 2 EN HET KABELTRACÉ TOT AAN DE KUST (ZIE GROTE KAART IN BIJLAGE C) 454

FIGUUR 5-115: TOP 10 VAN AANGELANDE SOORTEN DOOR DE BELGISCHE VLOOT IN 2011 EN 2012 (TESSENS & VELGHE, 2013) 461

FIGUUR 5-116 EVOLUTIE JAARLIJKSE OMZET IN DE BELGISCHE VISSERIJ (TESSENS & VELGHE, 2013) 462

FIGUUR 5-117 WEERGAVE VAN HET AANTAL VMS REGISTRATIES PER GRID CEL (3 KM²) IN 2010-2011 VOOR SCHEPEN VAREND ONDER DE BELGISCHE, NEDERLANDSE EN BRITSE VLAG. DE GELE CIRKELS GEVEN GEBIEDEN WEER MET EEN TOENAME OF DALING IN HET AANTAL VMS REGISTRATIES (VANDENDRIESSCHE ET AL., 2013A) 463

FIGUUR 5-118 MILITAIRE ACTIVITEITEN OP HET BELGISCH DEEL VAN DE NOORDZEE (BMM, 03/12/2012) 465

FIGUUR 5-119 OBSERVATIES VAN TRAMMELNET VISACTIVITEITEN EN RECREATIEVE VISSERIJ VOOR DE JAREN 2006-2007, 2008-2009 EN 2010-2011 GEBASEERD OP SCHIPOBSERVATIES TIJDENS DE VOGEL MONITORING. DE RODE GRID CELLEN (3 KM²) GEVEN DE INTENSITEIT VAN DE MONITORING WEER. 470

FIGUUR 5-120 NAVIGATIEKAART MET SCHEIDINGSLIJNEN VAN HET BEHEER VOOR DE LUCHTVAART (VERTREK) 487

FIGUUR 5-121 NAVIGATIEKAART MET SCHEIDINGSLIJNEN VAN HET BEHEER VOOR DE LUCHTVAART (AANKOMST) 487

FIGUUR 6-1 OVERZICHT VAN DE DOMEINCONCESSIES VOOR OFFSHORE WINDPARKEN IN HET BELGISCH DEEL VAN DE NOORDZEE (ZIE KAART BIJLAGE C.1) 490

FIGUUR 6-2 OVERZICHT VAN DE CONCESSIEZONES VOOR WINDENERGIE IN DE NOORDZEE (GROEN: OPERATIONEEL, GEEL: IN CONSTRUCTIEFASE, ROOD: IN PLANNINGSFASE, ROZE: IN VERGUNNINGSFASE) (HTTP://WWW.4COFFSHORE.COM) 514

FIGUUR 6-3 OVERZICHT VAN DE CONCESSIEZONES VOOR WINDENERGIE IN DE NOORDZEE IN DE NABIJHEID VAN DE BELGISCHE CONCESSIEZONE (GROEN: OPERATIONEEL, GEEL: IN CONSTRUCTIEFASE, ROOD: IN PLANNINGSFASE, ROZE: IN VERGUNNINGSFASE) (HTTP://WWW.4COFFSHORE.COM) 515

FIGUUR 6-4 DE MATE WAARIN DE ONDERVRAAGDEN AKKOORD GAAN MET STELLINGEN OVER WINDPARKEN OP ZEE TIJDENS EEN ENQUÊTE IN 2009 (IN %)(GEBASEERD OP GRONTMIJ, 2010) 521

FIGUUR 6-5 SCHEEPVAARTVERKEER IN 2012 (BRON AIS-DATA: BEHEER- EN EXPLOITATIE TEAM SCHELDERADARKETEN, J. RAES, HOOFDBEHEERDER BET-SRK (VL), A. DESCAMPS, AFDELINGSHOOFD SCHEEPVAARTBEGELEIDING)..... 527

FIGUUR 6-6 EVOLUTIE VAN HET SCHEEPVAARTVERKEER RONDOM EN TUSSEN DE WINDPARKEN TUSSEN 2008 EN 2011 (BRON AIS-DATA: BEHEER- EN EXPLOITATIE TEAM SCHELDERADARKETEN, J. RAES, HOOFDBEHEERDER BET-SRK (VL), A. DESCAMPS, AFDELINGSHOOFD SCHEEPVAARTBEGELEIDING)..... 528

FIGUUR 6-7 AANTAL OLIEVERONTREINIGINGEN TUSSEN 7-700 TON EN GROTER DAN 700 TON (ITOPF, 2013)..... 530

FIGUUR 6-8 WEERGAVE VAN ROUTES LANGS DE WINDPARKEN IN JANUARI 2012 (ROUTEGEBONDEN VERKEER)..... 532

FIGUUR 6-9 VERKEERSBEELD IN DE SITUATIE 2012 (VOLLEDIG JAAR 2012), BIJ AANWEZIGHEID VAN WINDPARKEN BELWIND EN C-POWER..... 534

FIGUUR 6-10 VERKEERSBEELD IN HET BASISSCENARIO BIJ AANWEZIGHEID VAN WINDPARKEN BELWIND, SEASTAR, NORTHWIND, RENTEL, C-POWER EN NORTHER..... 535

FIGUUR 6-11 VERKEERSBEELD IN HET DOORGEREKENDE CUMULATIEVE SCENARIO BIJ AANWEZIGHEID VAN WINDPARKEN MERMAID, NORTHWESTER 2, BELWIND, SEASTAR, NORTHWIND, RENTEL, C-POWER EN NORTHER..... 536

FIGUUR 6-12 GRAFISCHE VOORSTELLING VAN DE AANVARINGSKANS PER TURBINE EN PER WEC. GROOT VIERKANT = OHVS, TWEE DUBBELE VIERKANTEN = WAVESTAR WEC GEKLEURDE FRAMES = DRIE ALTERNATIEVEN VOOR LIGGING VIER BASISVELDEN..... 541

FIGUUR 6-13 GRAFISCHE VOORSTELLING VAN DE AANVARINGSKANS PER TURBINE EN PER WEC. GROOT VIERKANT = OHVS, TWEE DUBBELE VIERKANTEN = SEABASED WEC, GEKLEURDE FRAMES = DRIE ALTERNATIEVEN VOOR LIGGING VIER BASISVELDEN..... 542

FIGUUR 6-14 LOCALISATIE VAN DE IN 2012 WAARGENOMEN ZEEVERONTREINIGINGEN (NOOT: 1 OLIEVLEK WERD WAARGENOMEN IETS VERDER TEN ZW IN HET KANAAL VOOR DE ZUID-BRITSE KUST EN VALT BUITEN HET KADER VAN DEZE FIGUUR); DE LOCATIE VAN HET ZANDEXTRACTIEGEBIED OP DE BLIGHBANK IS ROOD OMLIJND (BMM, 2012B)..... 548

FIGUUR 6-15 SRK WERKINGSGEBIED EN BELGISCHE CONCESSIEGEBIED VOOR OFFSHORE WINDPARKEN (BLAUW: MERMAID, GROEN: NORTHWESTER 2)..... 560

FIGUUR 6-16 VOORBEELD VOOR DE SRK RADAR VAN ZEEBRUGGE OMTRENT BEPERKING VAN DE REIKWIJDTE IN FUNCTIE LOS EN RCS..... 561

FIGUUR 6-17 TYPISCH RADAR-SCREENSHOT VAN HET SCHEEPVAARTVERKEER (MOMENTOPNAME). COURTESY VAN "AFDELING SCHEEPVAARTBEGELEIDING"..... 562

FIGUUR 6-18 BEREIK VAN DE SRK RADARS BIJ EEN LOS VAN 3 M (VLAAMSE EN NEDERLANDSE RADARSINSTALLATIES)..... 563

FIGUUR 6-19 SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN HET OMLEGGEN VAN DE SECUNDAIRE SCHEEPVAARTROUTES (SITUATIE OP BASIS VAN AIS 2012) BIJ INVULLING VAN HET CONCESSIEGEBIED, TEGENOVER HET SRK WERKINGSGEBIED EN HET BEREIK VAN DE ACTUELE SRK RADARSTATIONS BIJ EEN LOS HOOGTE VAN 3 M..... 564

FIGUUR 6-20 SCHEMATISCHE VOORSTELLING (DETAIL) VAN HET OMLEGGEN VAN DE SECUNDAIRE SCHEEPVAARTROUTES (ROOD: SITUATIE OP BASIS VAN AIS 2012, ZWART: OMVAREN) BIJ INVULLING VAN DE CONCESSIEGEBIEDEN..... 564

FIGUUR 6-21 SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN DE RICHTINGEN WAARIN SCHADUWZONES OPTREDEN VOOR DE VERSCHILLENDE SRK RADARSTATIONS DOOR DE VOORLIGGENDE PARKEN, EN WAARDOOR DE PROJECTEN MERMAID EN NORTHWESTER 2 VOLLEDIG VERDOKEN LIGGEN ACHTER DE OFFSHORE WINDPARKEN VAN BELWIND, SEASTAR, NORTHWIND, RENTEL, C-POWER EN NORTHER VOOR ZEEBRUGGE EN CADZAND (ORANJE EN GELE PIJLEN), OF TOCH NOG GEDEELTELIJK ZICHTBAAR BLIJVEN VOOR OOSTENDE (RODE

PIJL), OF MERMAID TOCH NOG GEDEELTELIJK ZICHTBAAR BLIJFT VANUIT WESTKAPELLE (BLAUWE PIJL) 566

FIGUUR 6-22 LIGGING VAN DE HOOFDNAVIGATIEROUTES TEN OPZICHTE VAN DE CONCESSIEGEBIEDEN 568

FIGUUR 6-23 UITBREIDING VAN HET AIS BEREIK NA INSTALLATIE VAN HET BIJKOMEND RELAISSTATION "BELWIND" 572

FIGUUR 7-1 OVERZICHT VAN DE NEDERLANDSE BESCHERMDE NATUURGEBIEDEN BINNEN DE MOGELIJKE BEÏNVLOEDINGSZONE VAN DE 8 PARKEN (ZIE BIJLAGE E VOOR GROOT FORMAAT) 579

FIGUUR 7-2 SCHADUWEFFECTEN VOOR DE RADAR VAN OOSTENDE (LOS ZONE 20 M HOOGTE) DOOR TOTAAL CONCESSIEGEBIED 586

FIGUUR 7-3 SCHADUWEFFECTEN VOOR DE RADAR VAN WESTKAPELLE (LOS ZONE 20 M HOOGTE) DOOR TOTAAL CONCESSIEGEBIED 586

FIGUUR 7-4 SCHADUWEFFECTEN OP NORTHWESTER 2 VOOR DE RADAR VAN OOSTENDE (LOS ZONE 20 M HOOGTE) DOOR VOORLIGGENDE PARKEN (ORANJE), MET HET BIJKOMEND EFFECT DOOR NORTHWESTER 2 OP MERMAID (GRIJZE ZONE) 587

Voorwoord

Voor de bouw en exploitatie van een energiepark is volgens de Belgische wetgeving een vergunning vereist. Als noodzakelijk onderdeel van een vergunningsaanvraag of –verlenging moet er een milieueffectenrapport (MER) van de voorziene activiteiten uitgevoerd worden.

Dit rapport vormt het MER dat zowel THV Mermaid als NV Northwester 2 als onderdeel van hun lopende of toekomstige vergunningsaanvraag zullen gebruiken. Dit MER zal voor beide windparken zowel de milieueffecten tijdens de bouw, de exploitatie en de ontmanteling van het windpark behandelen als de milieueffecten gerelateerd aan de kabellegging, exploitatie en eventuele verwijdering van de kabel. Voor het Mermaid windpark worden bovendien de bouw, exploitatie en ontmanteling van wave energy converters (WEC's) besproken. Mermaid is het enige park in de Belgische concessiezone dat WEC's zal installeren voor het opwekken van energie uit golven.

Hoewel de effecten van de twee windparken samen worden besproken, zal de beoordeling gebeuren per park. Per discipline wordt een aparte samenvattende tabel met de beoordeling van de effecten weergegeven voor zowel Mermaid als Northwester 2. De inhoud van het MER zal dus identiek zijn voor de 2 parken, behalve de projectbeschrijving (hoofdstuk 2). Dit hoofdstuk behandelt voor de vergunningsaanvraag van Mermaid enkel de projectbeschrijving van Mermaid en idem dito voor Northwester 2, om verwarring te vermijden.

Dit MER bestaat uit twee delen: een niet-technische samenvatting (in het Nederlands, Frans en Engels) en een uitvoerige beschrijving van het voorgestelde project met de mogelijke effecten. De bijlagen zijn achteraan het rapport terug te vinden.

De niet-technische samenvatting kan als alleenstaand onderdeel gelezen worden door de geïnteresseerde lezer die minder boodschap heeft aan alle technische gegevens en beschrijvingen zoals deze uitgebreid in de volgende hoofdstukken en bijlagen van het MER beschreven staan.

In de uitgebreide beschrijving worden volgende aspecten behandeld:

Hoofdstuk 1:

- Geeft de toetsing aan de MER-plicht, de initiatiefnemers van de projecten, de coördinator van het MER en de samenstelling van het team van deskundigen.

Hoofdstuk 2:

- Geeft een technische beschrijving van de technologie. De verschillende projectingrepen worden per fase van het betreffende project (constructie, exploitatie, ontmanteling) beschreven.

Hoofdstuk 3:

- Geeft de juridische en beleidsmatige randvoorwaarden.

Hoofdstuk 4:

- Geeft een bespreking van de configuratie- en uitvoeringsalternatieven van beide parken

Hoofdstuk 5:

- Geeft per discipline een beschrijving van de gehanteerde methodiek, de beschrijving van de referentiesituatie en autonome ontwikkeling, de beschrijving en beoordeling van de milieueffecten tijdens elke fase per park, de leemten in de kennis, een beschrijving van de mogelijke milderende maatregelen en een beschrijving van de monitoring die er kan worden voorzien, voor het opvolgen van de mogelijke effecten.

Hoofdstuk 6:

- Geeft de mogelijke cumulatieve effecten weer bij de aanwezigheid van de reeds vergunde parken (C-Power, Belwind, Northwind, Norther, Rentel, SeaStar) in combinatie met de Mermaid en Northwester 2 parken. Hierbij wordt ook de aanwezigheid van het Belgian Offshore Grid van Elia meegerekend.

Hoofdstuk 7:

- Geeft een beschrijving van de te verwachten grensoverschrijdende effecten in het kader van het Espoo-verdrag.

Hoofdstuk 8:

- Geeft een eindsynthese van de milieueffecten en voorgestelde milderende maatregelen per discipline en per fase.

Hoofdstuk 9:

- Geeft de lijst van geraadpleegde literatuur

Bijlagen achteraan dit rapport:

- Bijlage A: De milieuvergunningsprocedure
- Bijlage B: De coördinaten van de verkregen domeinconcessies
- Bijlage C: De situering en lay-out van de (uitgebreide) concessiezones
- Bijlage D: Situering van de alternatieve kabeltrajecten en toelichtingen bij de projecten Stevin en het hoogspanningsnet van Elia
- Bijlage E: Situering van beschermde mariene gebieden
- Bijlage F: Brochures van de verschillende typevoorbeelden windturbines
- Bijlage G: Uitvergrotingen van foto's uit het onderdeel Zeezicht en Cultureel erfgoed

Tenslotte zijn er een aantal deelstudies uitgevoerd in het kader van dit MER die als afzonderlijke bijlagen toegevoegd zijn (externe bijlagen). In deze deelstudies wordt dieper ingegaan op bepaalde deelaspecten van het MER, de belangrijkste besluiten ervan zijn steeds verwerkt in voorliggend MER.

Externe bijlagen:

- IMDC (2014a). Environmental Impact Assessment wind farms Mermaid and Northwester 2. Numeric modelling of sediment transport. I/RA/11441/14.012/MIM.
- IMDC (2014b). Environmental Impact Assessment wind farms Mermaid and Northwester 2. Numeric modelling of dredging plume dispersion. /RA/11441/14.013/MIM.
- IMDC (2014c). Milieueffectenrapport windparken Mermaid en Northwester 2. Life cycle analysis: windpark en bekabeling. I/RA/11441/14.014/MIM
- IMDC (2014d). Milieueffectenrapport windparken Mermaid en Northwester 2. Life cycle analysis: golfenergieconvertoren in windpark Mermaid. I/RA/11441/14.105/MGO
- Flemtek-IMDC (2014). Studie omtrent de mogelijke invloed van een energiepark Mermaid en windpark Northwester 2 met betrekking tot: de SRK-radarinstallaties, de scheepsradar en de marifone communicatie. In samenwerking met IMDC.
- MARIN-IMDC (2014). Safety assessment study for offshore wind farms Mermaid and Northwester 2. Report no. 26819-1-MSCN-rev.4. I/RA/11441/14.178/MIM/.

Lijst met afkortingen en definities

AFDW	Ash Free Dry Weight, NL: asvrij drooggewicht
AIS	Automatic identification system
Alpha	Net als Beta, offshore connectiepunt van Elia dat met het onshore connectiepunt “Stevin” van Elia te Zeebrugge is verbonden. Op Alpha en Beta kunnen windparken aansluiten. Beta zal worden uitgevoerd als stalen platform, Alpha als kunstmatig eiland op de Lodewijkbank.
ASBL	Actual Seabed Level
ATF	Atmosferische transmissie factor
BBT	Best Beschikbare Technieken
BDNZ	Belgisch Deel van de Noordzee
Beta	Net als Alpha, offshore connectiepunt van Elia dat met het onshore connectiepunt “Stevin” van Elia te Zeebrugge is verbonden. Op Alpha en Beta kunnen windparken aansluiten. Beta zal worden uitgevoerd als stalen platform, Alpha als kunstmatig eiland op de Lodewijkbank.
BMM	Beheerseenheid Mathematisch Model van de Noordzee en het Schelde-estuarium
BREF	Referentiedocument voor Best Beschikbare Technieken
B-veld	Magnetisch veld, natuurkundig verschijnsel gerelateerd aan de sterkte van elektrische stroom in een geleider
ca.	Circa
conf.	Configuratie
CMS	Condition Monitoring System, NL: vibratiemonitoringssysteem
CPT	Cone Penetration Test
dB	Decibel, logaritmische aanduiding van geluidsdruk of geluidssterkte
dB(A)	De A-gewogen decibelwaarde dB(A) is de meest gangbare eenheid voor geluidbelasting. De A-weging houdt rekening met de gevoeligheid van het menselijk oor voor de toonhoogte van het geluid.
dB_{ht}	Eenheid van sterkte geluid, perceptieniveau van een diersoort

DGPS	Systeem van positiebepaling met behulp van lage frequenties
Dn50	Nominale steendiameter met een massa gelijk aan de M50 (massa van de steen die door 50% van de steen wordt overschreden)
DP2	Dynamic positioning type 2 (classificatie voor installatievoertuigen)
EEZ	Exclusieve economische zone
EG	Europese Gemeenschap
E_i	Geïnduceerd elektrisch veld
EIA	Environmental Impact Assessment
EM	Elektromagnetisch (veld)
ETS	Emission Trading System
E-veld	Elektrisch veld, natuurkundig verschijnsel gerelateerd aan de sterkte van elektrische spanning van een elektrische geleider
exportkabel	(ENG: export cable) Kabel tussen OVHS binnen de respectievelijke concessiezones en het hoogspanningsstation Stevin aan land (optie C fallback scenario)
FOD	Federale Overheid Dienst
GBF	Gravity Based Foundation, NL: gravitaire fundering
GKVP	Geïntegreerd Kust Veiligheids Plan
GMT	Goede Milieutoestand
GPS	Global Positioning System
GNA	Gemeenschappelijke Nautische Autoriteit
GNB	Gemeenschappelijk Nautisch Beheer
GVB	Gemeenschappelijk Visserij Beleid
GVS	Groot Vlootsegment
GW	Gigawatt, eenheid van (elektrisch) vermogen
GWh	Gigawattuur, eenheid van (elektrisch) verbruik- of productievolume

HAT	Highest Astronomical Tide
Hz	Hertz, eenheid van frequentie (1/seconde)
IALA	International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities
ICES	International Council for the Exploration of the Sea
ILVO	Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek
IMO	International Maritime Organisation
INBO	Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
JF	Jacket fundering
KB	Koninklijk Besluit
KMI	Koninklijk Meteorologisch Instituut van België
KRMS	Europese Kaderrichtlijn Mariene Strategie
kHz	Kilohertz, eenheid van frequentie
kJ	Kilojoule, eenheid van energie
kV	Kilovolt, eenheid van elektische spanning
KVS	Klein Vlootsegment
kW	Kilowatt, eenheid van (elektrisch) vermogen
kWh	Kilowattuur, eenheid van (elektrisch) verbruik- of productievolume
LAT	Lowest Astronomical Tide
LCA	Levenscyclusanalyse
LCOE	Levelised Cost of Energy
Lidar	(***LI**ght **D**etection **A**nd **R**anging* of ***L**aser **I**maging **D**etection **A**nd **R**anging*) is een technologie die de afstand tot een object of oppervlak bepaalt door middel van het gebruik van laserpulsen.
LNG	Liquified Natural Gas of vloeibaar aardgas

LoS	Line of Sight
L_{sp}	Specifiek geluid
L_{wa}	Geluidsvermogenniveau van de bron
MB	Ministerieel Besluit
MEB	Milieueffectenbeoordeling
MER	Milieueffectenrapport
Mermaid	THV Mermaid handelend voor rekening van NV Mermaid in oprichting/ Windpark Mermaid
MP	Monopile fundering
MSL	Mean Sea Level, NL: gemiddeld zeeniveau
MVA	Megavolt ampère, eenheid van elektrisch (schijnbaar) vermogen
MW	Megawatt, eenheid van (elektrisch) vermogen
MWh	Megawattuur, eenheid van (elektrisch) verbruik- of productievolume
NAVO	Noord-Atlantische Verdragsorganisatie
NCP	Nederlands Continentaal Plat
NEC	National Emission Ceilings
NM	Nautical miles, NL: zeemijl
NV	Naamloze Vennootschap
Northwester 2	Northwester 2 NV
NW2	Windpark Northwester2
n.v.t.	Niet van toepassing
OHVS	Offshore high voltage station(s), NL: het (de) hoogspanningsstation(s) in zee
OWEZ	Offshore Windpark Egmond aan Zee
parkkabel	(ENG: infield cable) elektrische kabel tussen WTG's onderling of tussen eind van de WTG-string en OHVS binnen de concessiezone

PC	Permanente Commissie
POD	Porpoise Detectors
re 1 µPa	Referentie voor geluidsdruk onder water
re 1 µPa²s	Eenheid voor SEL (sound exposure level)
RCS	Radar Cross Section
RD	Rotordiameter, diameter van de cirkel beschreven door de spanwijdte van de wieken van een windturbine
RDF	Radio Direction Finder
roro	Roll-on/roll-off schip ontworpen voor het transporteren van voertuigen. Bvb. ferries en cargo schepen.
ROV	Remote Operated Vehicle, NL: op afstand bediend vaartuig met camera
RSBL	Reference Seabed Level
SB	Suction bucket fundering
SBZ	Speciale Beschermingszone
SBZ-H	Speciale Beschermingszone (Habitatrichtlijn)
SBZ-V	Speciale Beschermingszone (Vogelrichtlijn)
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition, een systeem nodig voor de afstandsbesturing en -controle van een windpark
SEA	Strategic Environmental Assessment
SEL	Sound Exposure Level
spp.	Soorten
SPL	Sound Pressure Level
SPS	Significant Peripherical Structure
SRK	Schelde Radar Keten
TAW	Tweede Algemene Waterpassing
THV	Tijdelijke handelsvennootschap

TRL	Technology Readiness Levels
TSHD	Trailing Suction Hopper Dredger, NL: sleephopperzuiger
verbindingskabel	(ENG: connection cable) Elektrische kabel tussen einde van de WTG-string en de offshore Alpha-installatie of tussen OHVS binnen de concessiezone en de Alpha-installatie.
VHF	Very High Frequency
VIOE	Vlaams Instituut voor Onroerend Erfgoed
VK	Verenigd Koninkrijk
VLIZ	Vlaams Instituut voor de Zee
VMM	Vlaamse Milieu Maatschappij
WTG	Wind turbine generator, NL: windturbine
WW	Wet Weight
XLPE	Cross-linked polyethyleen kabel (typevoorbeeld elektrische kabel)
µg	Microgram
µm	Micrometer
µPa	Micropascal
µT	Microtesla
µV	Microvolt

1. INLEIDING

1.1 DOELSTELLING VAN DIT RAPPORT

Voor de bouw en exploitatie van een windpark is volgens de Belgische wetgeving een vergunning vereist. Als noodzakelijk onderdeel van een vergunningsaanvraag of –verlenging moet er een milieueffectenrapport (MER) van de voorziene activiteiten opgemaakt worden, volgens het KB van 7 september 2003 (publicatie 17/09/2003, wijziging 26/12/2013) betreffende de procedure tot vergunning en machtiging van bepaalde activiteiten in de zeegebieden onder de rechtsbevoegdheid van België (Di Marcantonio, 2014 in Bijlage A).

Analoog volgt uit de Wet Mariene Milieu en het Koninklijk Besluit van 12 maart 2002 (publicatie 09/05/2002) met betrekking tot de voorschriften voor het leggen van elektriciteitskabels in de territoriale zee en de exploitatie van niet-levende rijkdommen dat voor het leggen en exploiteren van zeekabels een milieueffectenrapport bij de vergunningsaanvraag dient gevoegd te worden.

Dit rapport vormt het MER dat zowel door Mermaid als Northwester 2 (de initiatiefnemers) als onderdeel van hun lopende of toekomstige milieuvergunningsaanvraag zal gebruikt worden. Dit MER zal in één document voor beide parken zowel de milieueffecten tijdens de bouw, de exploitatie en de ontmanteling behandelen als de milieueffecten gerelateerd aan de kabellegging en eventuele verwijdering van de kabel. Bovendien worden ook de geplande geofysische en geotechnische site surveys expliciet beschreven, als een onderdeel van de activiteiten bij de ontwikkelingsfase van het project (cf. § 2.7.2).

Voor de beschrijving van de milieueffecten wordt geopteerd om de effecten van diverse technische haalbare alternatieven te beschrijven, naast het basisproject met turbines van 6 MW. Op die manier kan de range aan milieugevolgen van de turbines binnen de volledige technische range van vermogens, aantal turbines, rotordiameters, etc. in beeld gebracht worden (zie beschrijving van de alternatieve scenario's in hoofdstuk 4).

1.1.1 Mermaid

Op 20 juli 2012 werd door de Federale Overheidsdienst Economie, K.M.O., Middenstand en Energie, een domeinconcessie toegekend aan de THV Mermaid voor de bouw en exploitatie van installaties voor de productie van elektriciteit uit water, stromen of winden in de zeegebieden boven de Blighbank (MB 20/07/2012 (EB-2011-0019-A) "toekenning domeinconcessie aan THV Mermaid", gepubliceerd in het Belgisch Staatsblad op 3 augustus 2012).

De oorspronkelijke domeinconcessie van Mermaid (MB 20/07/2012) wordt gedeeltelijk (i.e. het zuidelijk deel) overgedragen aan Northwester 2. De overdracht omhelst het gedeelte zuidelijk van de TAT 14 telecom kabel plus één locatie noordelijk van de TAT 14 telecom kabel zoals weergegeven op kaart in Bijlage B.2. Als dusdanig wordt de overdracht van alle rechten en plichten als concessionaris geregeld en nemen beide partijen deze rechten en plichten op voor hun respectievelijke deel.

De locatie ligt op ca. 50 km afstand van de kust en de gemiddelde waterdiepte bedraagt hier 33 m. De ligging en inplanting van het project (Figuur 2-2 en Figuur 2-3) is afgebakend door de coördinaten vermeld in Bijlage B.1 (totale oppervlakte van het gebied = 16,7 km^2).

Het Mermaid energiepark is gelegen ten noordwesten van de Blighbank en beslaat grotendeels het noordelijk deel van de oorspronkelijke domeinconcessie, ten noorden van de TAT-14 telecomkabel. Mermaid is het verst in zee gelegen park in de Belgische concessiezone voor het opwekken van energie uit wind, golven en stromingen, zoals vastgelegd in KB van 3 februari 2011.

Gerelateerd aan de snelheid waarmee netwerkbeheerder Elia de aansluiting op het Belgisch hoogspanningsnet verzekert, voorziet Mermaid een gefaseerde uitvoering vanaf 2017. Realisatie en operationele aansluiting op het net staat nu gepland in 2018.

1.1.2 Northwester 2

De oorspronkelijke domeinconcessie van THV Mermaid (MB 20/07/2012) wordt gedeeltelijk (i.e. het zuidelijk deel) overgedragen aan NV Northwester 2. De overdracht omhelst het gedeelte zuidelijk van de TAT 14 telecom kabel plus één locatie noordelijk van de TAT 14 telecom kabel zoals weergegeven op in Bijlage B.2. Als dusdanig wordt de overdracht van alle rechten en plichten als concessionaris geregeld en nemen beide partijen deze rechten en plichten op voor hun respectievelijke deel.

De locatie ligt op ca. 46 km afstand van de kust en de gemiddelde waterdiepte bedraagt hier 34 m. De ligging en inplanting van het project (Figuur 2-2 en Figuur 2-3) is afgebakend door de coördinaten vermeld in Bijlage B.1 (totale oppervlakte van het gebied = 11,72 km^2). Een potentiële uitbreiding van de concessiezone tot 15,16 km² zal worden meegenomen in de verdere analyse.

Gerelateerd aan de snelheid waarmee netwerkbeheerder Elia de aansluiting op het Belgisch hoogspanningsnet verzekert, wordt het Northwester 2 offshore energiepark gefaseerd uitgevoerd vanaf eind 2016/begin 2017. Realisatie en operationele aansluiting op het elektriciteitsnet staat nu ook ingepland tegen 2018. In het MER wordt er dus van uitgegaan dat beide parken, Mermaid en Northwester 2 tegelijk gebouwd zullen worden en tegelijk operationeel zullen zijn.

1.1.3 Omhullende scenario's

Wegens de steeds evoluerende markt in de windturbinetechnologie worden verschillende uitvoeringsalternatieven besproken in het MER. Het MER behandelt 4 alternatieve scenario's nl. met minimum aantal WTG's, met maximum aantal WTG's, met minimum geïnstalleerd vermogen en met maximum geïnstalleerd vermogen. Bij elk van de scenario's hoort een vermogen range gekoppeld aan een passend aantal turbines. Binnen de vier alternatieve scenario's, i.e. 'omhullende alternatieven' zijn verschillende uitvoeringsmogelijkheden en combinaties mogelijk. Per scenario wordt telkens een typevoorbeeld gedefinieerd dat in het MER besproken zal worden.

De totale omhullende scenario's voor Mermaid en Northwester 2 samen, met typevoorbeelden (de opsplitsing per park is uitgewerk in hoofdstuk 2) zijn:

0. Basisscenario: 110-62 WTG's met rotordiameter 120-155 m – resp. individueel vermogen 4-7 MW

   Typevoorbeeld minimaal geïnstalleerd vermogen:

   73 x 6 MW Alstom Haliade = **438 MW**

   150 m RD

1. Scenario 1: 150-120 WTG's met rotordiameter 110-130 m – resp. individueel vermogen 3-5 MW

   Typevoorbeeld maximum aantal WTG's:

   150 x 3,3 MW Vestas V112 = 495 MW

   112 m RD

2. Scenario 2: 120-75 WTG's met rotordiameter 150-180 m – resp. individueel vermogen 5-8 MW

   Typevoorbeeld maximaal geïnstalleerd vermogen:

   75 x 8 MW Vestas V164 = **600 MW**

   164 m RD

3. Scenario 3: 56-46 WTG's met rotordiameter 165-190 m – resp. individueel vermogen 8-10 MW

   Typevoorbeeld minimaal aantal WTG's:

   46 x 10 MW SeaTitan = 460 MW

   190 m RD

Het gezamenlijk totaal geïnstalleerd vermogen voor Mermaid en Northwester 2 samen varieert tussen 434 MW en een maximaal potentieel van 600 MW.

Het geïnstalleerd vermogen voor Mermaid alleen varieert tussen 224 MW en een maximaal potentieel van 305 MW. Preliminaire opbrengstberekeningen tonen een jaarlijks gegenereerd ($P_{50, gross}$) elektriciteitsvolume van ca. 900 GWh tot 1.200 GWh (afhankelijk van het scenario).

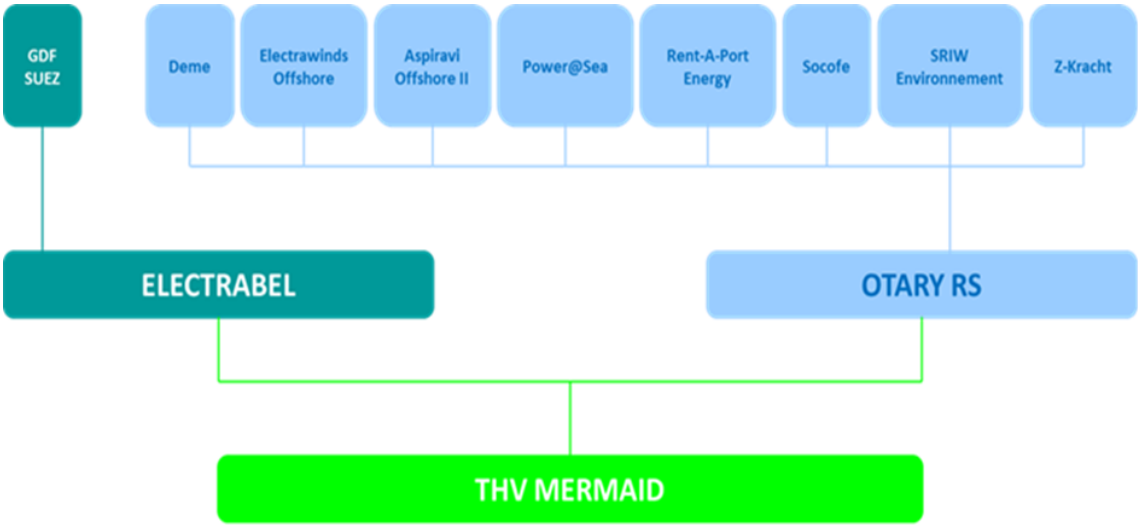
In overeenstemming met de voorwaarden uit de domeinconcessie worden er naast windturbines, in de Mermaid concessiezone eveneens WEC's (wave energy converters) geïnstalleerd waarmee energie uit golven kan worden gegenereerd. Mermaid is het eerste Belgische park waarin WEC's worden voorzien en vervult als dusdanig ook een pioniersfunctie. Het totaal geïnstalleerd vermogen in de domeinconessie varieert tussen 20 en 61 MW.

Het geïnstalleerd vermogen voor Northwester 2 alleen varieert tussen 210 MW en een maximaal potentieel van 296 MW. Preliminaire opbrengstberekeningen tonen een jaarlijks gegenereerd elektriciteitsvolume tussen ca. 850 GWh en 1100 GWh, wat overeen komt met het gemiddeld jaarverbruik van 243.000 tot 314.000 doorsnee gezinnen.

1.2 INITIATIEFNEMERS

1.2.1 THV Mermaid

THV Mermaid is initieel opgevat als een Tijdelijke Handelsvennootschap met als specifiek doel de voorbereiding en realisatie van onderhavig project, nl. de bouw en exploitatie van een offshore energiepark in de Belgische territoriale zee. Meer concreet vormt de THV Mermaid een combinatie tussen enerzijds een nutsbedrijf (“utility player ”) in de gedaante van Electrabel NV, de leider op de Belgische markt voor elektrische voorziening, en anderzijds een groep van ondernemingen in de gedaante van OTARY RS NV, een Belgisch consortium bestaande uit de prominente ontwikkelaars in de Belgische offshore windsector die in staat zijn in alle facetten van de toeleveringsketen (“supply chain”) te voorzien en die de nodige ervaring en kennis hebben in het ontwikkelen en realiseren van hernieuwbare energieprojecten. OTARY RS wil samen met Electrabel in de laatste nog beschikbare zone die het grootste energiepotentieel heeft, doch het verst in zee gelegen is, een energieproject ontwikkelen en realiseren waarbij de kennis en ervaring die aanwezig is binnen beide groepen nuttig en noodzakelijk zal zijn om deze uitdaging tot een goed resultaat te brengen. THV Mermaid bestaat voor 65% uit Otary RS en voor 35% uit Electrabel.



De Mermaid concessie wordt ondergebracht in een projectvennootschap onder de vorm van een Naamloze Vennootschap, “NV Mermaid”. Naast de overname van de domeinconcessie zal NV Mermaid voor zoveel als nodig alle bestaande engagementen van THV verderzetten en overnemen.

Gemandateerd vertegenwoordiger voor THV Mermaid handelend voor rekening van NV Mermaid in oprichting:

Mathias Verkest, Projectdirecteur
Tel. +32 3 210 66 00
Mob. +32 499 55 80

Geert Magerman, Adjunct Projectdirecteur
Tel. +32 2 382 27 25
Mob. +32 477 86 12 13

Contactpersoon en technisch aanspreekpunt voor het MER:

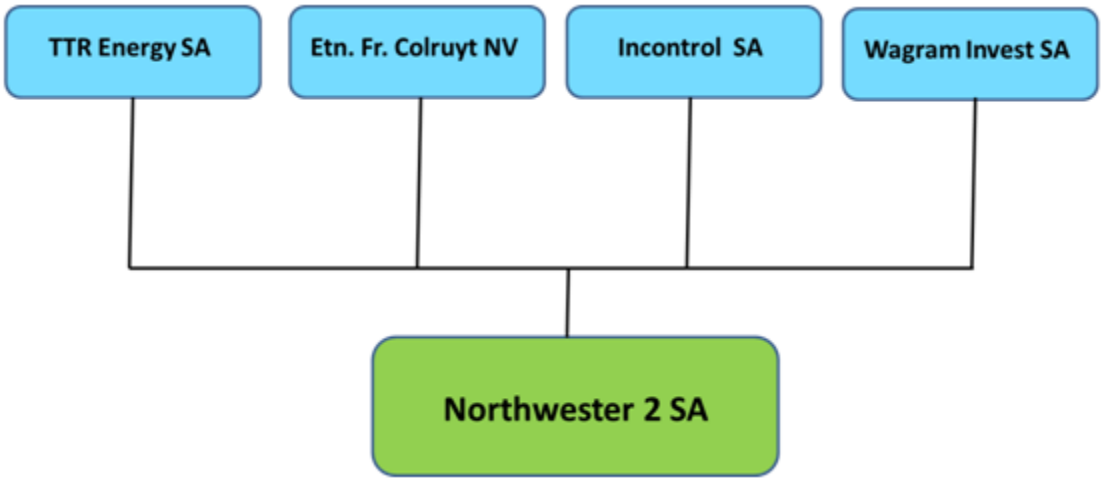
Marc Huygens
Haven 1025 - Scheldedijk 30
2070 Zwijndrecht
Tel. +32 3 210 68 37
Fax +32 3 250 56 50
Mob. +32 470 89 12 52

Wouter Vandekerkhove
Simon Bolivarlaan 34
1000 Brussel
Mob. +32478905211

1.2.2 NV Northwester 2

NV Northwester 2 is opgericht door vier toonaangevende Belgische bedrijven, die het maatschappelijk verantwoord ondernemen hoog in het vaandel dragen. Deze bedrijven zijn TTR energy SA, Etn. Fr. Colruyt NV, InControl SA en Wagram Invest SA.

Northwester 2 heeft door haar interne expertise een degelijk inzicht in de technische, financiële, administratieve, economisch en ecologische aspecten en risico's van het bouwen van grootschalige windturbineparken in zee.



NV Northwester 2

Maatschappelijke zetel:
Rue de l'expansion 3
4400 Flémalle

Correspondentieadres:
Vital Decosterstraat 44
3000 Leuven

Gemandateerde vertegenwoordigers voor NV Northwester 2:

Frank Coenen
f.coenen@incontrol.lu
Tel. +32 16 24 07 90

Michel Helbig de Balzac
michel@helbigdebalzac.net
Tel. +32 475 25 33 33

Contactpersoon en technisch aanspreekpunt voor het MER:

Ann Lemmens
Vital Decosterstraat 44
3000 Leuven
ann.lemmens@parkwind.eu
Tel. +32 16 24 07 90
Mob +32 473 44 84 78

1.3 MER-DESKUNDIGEN

Het team van deskundigen voor de opmaak van het milieueffectenrapport is samengesteld uit:

Tabel 1-1 MER-deskundigen

Onderdeel van het MER	Deskundige
Coördinatie	Dr.lic. Mieke Mathys, ir. Marc Sas
Inleiding, projectbeschrijving, juridische en beleidsmatige randvoorwaarden, beschrijving van de alternatieven	Dr. lic. Mieke Mathys, Lic. Cleo Pandelaers
Bodem & water	Dr.lic. Mieke Mathys, Lic. Michiel Goossens
Fauna, flora & biodiversiteit	Lic. Cleo Pandelaers, Dr. Lic. Sarah Vanden Eede
Klimaat & atmosfeer, Zeezicht en Cultureel erfgoed, Interactie met andere menselijke activiteiten	Lic. Cleo Pandelaers, Lic. Michiel Goossens
Geluid & trillingen	Ing. Chris Neuteleers, Dr.lic. Mieke Mathys, Lic. Michiel Smits
Risico's & veiligheid	Dr.lic. Mieke Mathys

Voor specifieke expertises werden extra deskundigen ingeschakeld:

- G-tec voor de uitvoering van bathymetrisch en seismisch onderzoek (verkennend geofysisch onderzoek in het concessiegebied).
- Flemtek (prof. Dr. Ir. Johan Catrysse) voor de herinterpretatie van de bestaande studie uitgevoerd in het kader van MER SeaStar inzake effecten op radar- en scheepscommunicatie, geassisteerd door IMDC.
- IMDC voor het modelleren van het natuurlijk sediment transport in het gebied en het modelleren van pluimdispersie bij het baggeren van een funderingsput.
- IMDC voor het uitvoeren van een Life Cycle Analysis voor bekabeling en WEC's
- MARIN voor het uitvoeren van een nautische veiligheidsstudie.

In deze deelstudies wordt dieper ingegaan op bepaalde deelaspecten van het MER, de belangrijkste besluiten ervan zijn steeds verwerkt in voorliggend MER. Onderstaande rapporten worden integraal, als afzonderlijke bijlagen toegevoegd aan het milieuvergunningsaanvraagdossier.

Externe bijlagen:

- IMDC (2014a). Environmental Impact Assessment wind farms Mermaid and Northwester 2. Numeric modelling of sediment transport. I/RA/11441/14.012/MIM.
- IMDC (2014b). Environmental Impact Assessment wind farms Mermaid and Northwester 2. Numeric modelling of dredging plume dispersion. /RA/11441/14.013/MIM.
- IMDC (2014c). Milieueffectenrapport windparken Mermaid en Northwester 2. Life cycle analysis: windpark en bekabeling. I/RA/11441/14.014/MIM
- IMDC (2014d). Milieueffectenrapport windparken Mermaid en Northwester 2. Life cycle analysis: golfenergieconvertoren in windpark Mermaid. I/RA/11441/14.105/MGO
- Flemtek-IMDC (2014). Studie omtrent de mogelijke invloed van een energiepark Mermaid en windpark Northwester 2 met betrekking tot: de SRK-radarinstallaties, de scheepsradar en de marifone communicatie. In samenwerking met IMDC.
- MARIN-IMDC (2014). Safety assessment study for offshore wind farms Mermaid and Northwester 2. Report no. 26819-1-MSCN-rev.4. I/RA/11441/14.178/MIM/.

2. BESCHRIJVING VAN HET PROJECT

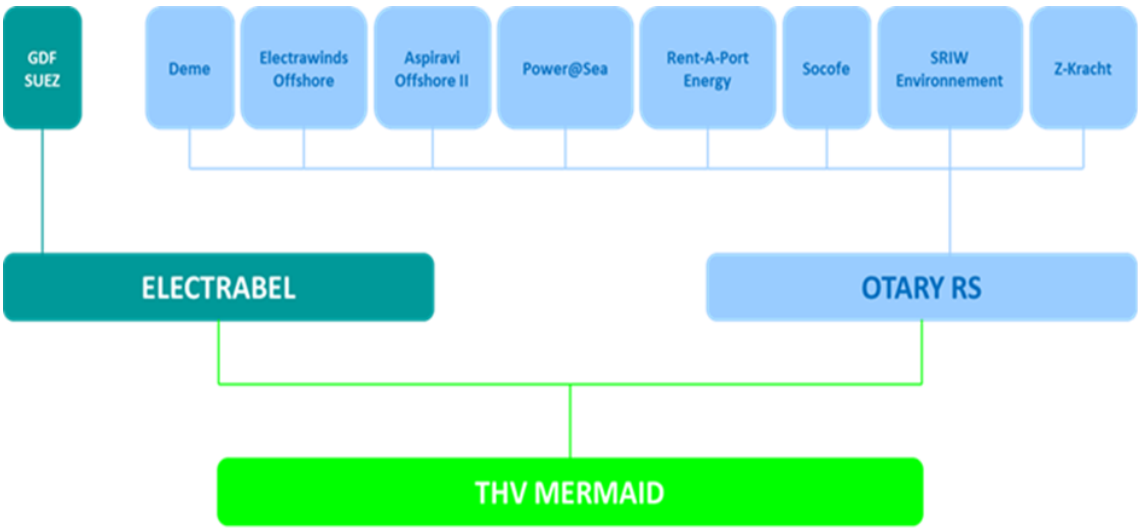
2.1 DE INITIATIEFNEMERS

Voor de voorbereiding en realisatie van onderhavig project ('Bouw en exploitatie van een offshore energiepark in de Belgische territoriale Zee') werd de THV Mermaid opgericht. Het Ministerieel Besluit van 20 juli 2012 dat op 3 augustus 2012 is gepubliceerd in het Belgisch Staatsblad (ref. EB-2011-0019-A) kent aan deze THV Mermaid een domeinconcessie toe voor de bouw en exploitatie van installaties voor de productie van elektriciteit uit water, stromen of winden in de zeegebieden gelegen ten noordwesten van de Blighbank.

De oorspronkelijke domeinconcessie van THV Mermaid (MB 20/07/2012) wordt gedeeltelijk (i.e. het zuidelijk deel) overgedragen aan NV Northwester 2. De overdracht behelst het gedeelte ten zuiden van de TAT14 telecomkabel, plus één locatie noordelijk van deze kabel zoals weergegeven in kaart (Bijlage B.2). Als dusdanig wordt de overdracht van alle rechten en plichten als concessionaris geregeld en nemen beide partijen deze rechten en plichten op voor hun respectievelijke deel. Het Mermaid energiepark is gelegen ten noordwesten van de Blighbank en beslaat grotendeels het noordelijk deel van de oorspronkelijke domeinconcessie, ten noorden van de TAT-14 telecomkabel.

2.1.1 THV Mermaid

De THV Mermaid is een combinatie tussen enerzijds een nutsbedrijf ("utility player") in de gedaante van Electrabel NV, de leider op de Belgische markt voor elektrische voorziening, en anderzijds een groep van ondernemingen in de gedaante van Otary RS NV, een Belgisch consortium bestaande uit de prominente ontwikkelaars in de Belgische offshore windsector die in staat zijn in alle facetten van de toeleveringsketen ("supply chain") te voorzien en die de nodige ervaring en kennis hebben in het ontwikkelen en realiseren van hernieuwbare energieprojecten. THV Mermaid bestaat voor 65% uit Otary RS en voor 35% uit Electrabel.



De Mermaid concessie wordt ondergebracht in een projectvennootschap onder de vorm van een Naamloze Vennootschap, “NV Mermaid”. Naast de overname van de domeinconcessie zal NV Mermaid voor zoveel als nodig alle bestaande engagementen van THV verderzetten en overnemen.

2.1.1.1 Otary RS

Acht Belgische spelers in offshore wind bundelen hun ervaring en knowhow in een nieuw kenniscentrum voor windenergie op zee. Deze vennootschap is actief in de bouw en exploitatie van offshore windparken in België en mogelijk ook in het buitenland als de gelegenheid zich voordoet. Het samenwerkingsverband Otary (via de nv Otary RS) verenigt de groenestroomproducenten Electrawinds en Aspiravi, de investerings- en ontwikkelingsvennootschappen Rent-A-Port en Power@Sea, de baggergroep en waterbouwspecialist DEME, de Waalse milieuholding SRIW Environnement en de Vlaamse en Waalse energie- en nutsparticipatiemaatschappijen Nuhma en Socofe. Het zijn partners die allen al betrokken zijn bij de ontwikkeling van offshore wind via participaties in één of meerdere projecten op de Noordzee. Otary legt zich in een eerste fase toe op de ontwikkeling en bouw van offshore windparken in België. De partners binnen Otary zijn:

2.1.1.1.1 Electrawinds (via de nv Electrawinds Offshore)

Electrawinds is actief op de Belgische markt van hernieuwbare energie met als belangrijkste doelstellingen de productie, de verkoop en de promotie van hernieuwbare energie. Onderzoek naar en ontwikkeling van nieuwe technieken behoort eveneens tot de activiteiten van Electrawinds. Op het terrein van de windenergie is het bedrijf zowel onshore als offshore actief, in binnen- en buitenland.

Electrawinds Offshore is een volle dochteronderneming van Electrawinds waarin al de offshore activiteiten van Electrawinds geconcentreerd zijn.

2.1.1.1.2 Aspiravi (via de Aspiravi Offshore II NV)

Aspiravi is een Belgische producent van hernieuwbare energie uit wind, water, biogas en biomassa. Het totale productiepark heeft een geïnstalleerd vermogen van 120 MW en stelt 60 mensen te werk. De maatschappelijke zetel is gevestigd in Harelbeke.

Aspiravi Offshore II NV is een 100% dochter van Aspiravi Holding NV waarin alle offshore activiteiten zijn gebundeld.

2.1.1.1.3 Rent A Port (via de NV Rent A Port Energy)

Rent A Port en Rent A Port Energy zijn twee vennootschappen die opgericht werden door Ackermans & van Haaren en CFE om maritieme infrastructuurconcessies te onderhandelen en te financieren. Rent A Port is actief in Europa, Vietnam, Oman en West Afrika. Rent A Port Energy is de investeringsmaatschappij van de aandeelhouders CFE en Ackermans & van Haaren dat gericht is op investeringen en het bundelen van kennis in energieprojecten en een ruime technische kennis in mariene bouwwerken; gecombineerd met de technische en financiële slagkracht van zijn aandeelhouders om mariene en energieprojecten te ontwikkelen.

2.1.1.1.4 Power@Sea

Power@Sea is een specifieke investerings- en ontwikkelingsmaatschappij die zich toelegt op de uitvoering van engineering opdrachten in verband met milieuvriendelijke energieopwekking en -distributie, de exploitatie van windenergieprojecten op zee alsook het organiseren van onderhoudswerkzaamheden zowel in België als in het buitenland. Thans is het uitgegroeid tot het instrument bij uitstek om hernieuwbare energieprojecten op zee en/of binnen de maritieme estuaria te ontwikkelen.

2.1.1.1.5 DEME

DEME is een Belgische bagger-, milieu- en waterbouwkundige groep die gespecialiseerd is in baggerwerken en landwinning, waterbouw en milieudiensten en actief is in de mariene bouwsector op alle continenten. Het bedrijf heeft belangrijke referenties opgebouwd o.a. inzake de bouw en installatie van verschillende offshore windparken verspreid over Europese zeeën.

2.1.1.1.6 SRIW Environnement

SRIW Environnement is een filiaal van de Gewestelijke Investeringsmaatschappij van Wallonië dat zich inzet voor het milieu en actief is in de sector van hernieuwbare energie.

2.1.1.1.7 Socofe

Socofe is een Belgische nutsmaatschappij die investeert in bedrijven die diensten verlenen aan lokale overheden. Socofe bezit participaties in verschillende ondernemingen die actief zijn op het gebied van energie, afvalbeheer, waterzuivering en informatietechnologie.

2.1.1.1.8 Nuhma (via de NV Z-kracht)

Nuhma werkt namens de Limburgse gemeenten aan duurzaamheid, energie en innovatie via gerichte participaties. Leidraad is de maatschappelijke meerwaarde voor de gemeenschap in het algemeen en Limburg in het bijzonder. Z-kracht is een dochter van Nuhma, die hoofdzakelijk gericht is op offshore windenergie.

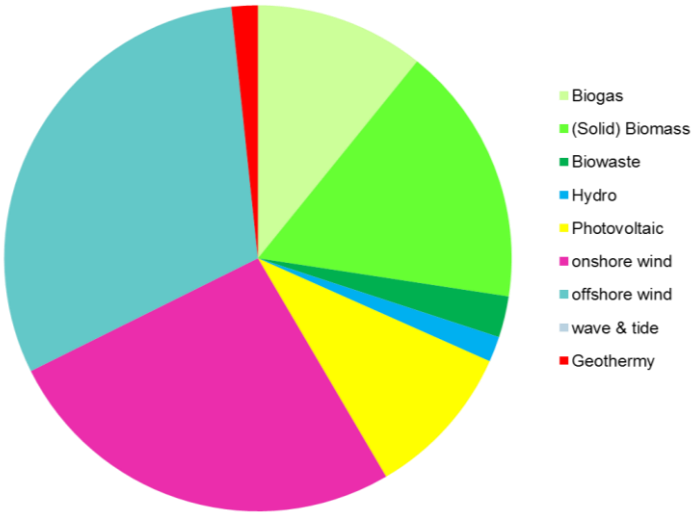
2.1.1.2 ELECTRABEL

Electrabel is een Belgische energiemaatschappij die marktleider is in de Benelux op het gebied van de levering van elektriciteit (inclusief productie), aardgas en energiediensten. Electrabel maakt deel uit van de Franse GDF SUEZ Groep, een wereldleider voor energie, die verantwoorde groei integreert in de kern van zijn vakgebieden om de grote uitdagingen op energie- en milieugebied aan te gaan: voldoen aan de vraag naar energie, instaan voor de bevoorradingszekerheid, bestrijden van de klimaatverandering en optimaliseren van het gebruik van natuurlijke rijkdommen. Naast de eigen ervaring die Electrabel gedurende meer dan een eeuw in de energiesector opbouwde, kan de onderneming beroep doen op de belangrijke en gediversifieerde kennis aanwezig binnen de ganse GDF SUEZ Groep.

2.2 DOELSTELLING EN MOTIVERING VAN HET PROJECT

Het doel van aanvrager Mermaid is het realiseren van een offshore energiepark dat een maximale bijdrage kan leveren tot het behalen van de Belgische doelstellingen op het vlak van hernieuwbare energie binnen het gegeven gebied, daarbij handelend als een verantwoord en innovatief bedrijf door gebruik te maken van gedifferentieerde productiemiddelen en met toepassing van de BBT rekening houdend met de laatste technologische vernieuwingen. Het uitgangspunt daarbij is een zo intensief mogelijk gebruik van de beschikbare ruimte, door middel van een geoptimaliseerde lay-out van de installaties rekening houdend met technische en economische beperkingen.

De bijdrage tot de RES-doelstellingen voor België (Belgian National Renewable Energy Plan pursuant the Directive 2009/28/EG) wordt kort hieronder weergegeven. Op basis van interne berekeningen gaat de aanvrager ervan uit dat de plaatsing van één offshore windturbine de hoeveelheid CO_2 emissies van elektriciteitsproductie vermindert met 188 tot 740 g CO_2 eq/kWh afhankelijk van het moment van productie. Gemiddelde CO_2-emissie reducties voor elektriciteitsproductie op het Belgisch net zijn 256 g CO_2 eq/kWh (volgens www.co2logic.com).



Figuur 2-1 Energieverdeling van de Belgische RES elektriciteitsproductie in 2020 (REPAP-study 2010)

Voor de basisopstelling van het Mermaid offshore energiepark zoals voorgesteld wordt een gemiddelde energieproductie van ongeveer 900 GWh/jaar verwacht door de windturbines. Het netto-equivalent van deze energieproductie resulteert in een jaarlijkse reductie van de CO_2 emissie van 265.000 ton/jaar.

De Europese richtlijn 2009/28/EG betreffende hernieuwbare energie legt de lidstaten van de Europese Unie een globale doelstelling op van 20% primair verbruik van hernieuwbare energie tegen 2020. De doelstelling voor België bedraagt 13% (totale energieverbruik voor verwarming, elektriciteit en transport).

Het nationaal streefcijfer voor 2020 voor het aandeel energie in elektriciteit uit hernieuwbare bronnen (naast verwarming en koeling, en vervoer) is 20,9%, wat overeenstemt met een elektriciteitsproductie van 23 TWh op basis van de verbruiksvoorspellingen voor België voor 2020. De onderstaande tabel geeft – uitgedrukt in geïnstalleerde MW en geproduceerde GWh – het traject tot 2020 weer van de bijdrage van elk productiemiddel voor elektriciteit, zoals voorzien in het Belgische actieplan voor hernieuwbare energie.

Tabel 2-1 Voorziene bijdrages hernieuwbare energie tot 2020 (CONCERE-ENOVER, 2010)

	2010		2015		2020	
	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
Waterkracht	112,3	362,2	122,5	390,7	140,0	440,0
Geothermische energie	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	29,1
Zonne-energie	350,0	304,0	713,1	610,2	1.340,0	1.139,0
Windenergie	733,2	990,5	2.048,6	6.084,1	4.320,0	10.474,0
Biomassa	617,6	3.006,9	1.290,2	5.952,4	2.451,5	11.038,5
Totaal	1.813,2	4.663,6	4.174,3	13.037,4	8.255,0	23.120,6

Het geplande park zal – in zijn basisconfiguratie - bestaan uit 38 windturbines van 6 MW, die jaarlijks ca. 900 – 1.200 GWh zullen produceren. De doelstelling van de bijdrage van windenergie aan de totale hernieuwbare doelstelling voor België in het jaar 2020 is een 10,5 TWh/jaar. Het Mermaid energiepark zal dus voor minstens 8,6% bijdragen aan de Belgische windenergiedoelstelling voor het jaar 2020.

Zeker voor wat windenergie betreft is de hoge urbanisatiegraad van Vlaanderen een obstakel voor het realiseren van (grootschalige) windparken op land en het behalen van de algemene doelstellingen inzake hernieuwbare energie. Bijgevolg wordt naar alternatieve inplantingsplaatsen uitgezien zoals offshore gebieden gesitueerd op het Belgisch Deel van de Noordzee (BDNZ). De investerings- en exploitatiekosten zijn voor offshore windenergie significant hoger dan bij onshore projecten. Offshore windenergieprojecten zijn dan ook enkel haalbaar door hun schaalgrootte en door het hogere windaanbod op zee. De initiatiefnemer heeft dan ook als doelstellingen:

- Het energetisch optimaal benutten van de oppervlakte binnen het toegekende concessiegebied op het BDNZ;
- Het minimaliseren van de milieu-impact van het project;
- De veiligheidsrisico's voor bouw –en onderhoudspersoneel zo laag mogelijk houden;
- Realisatie van het energiepark in de periode 2017-2018;
- Het op een verantwoorde en kostenefficiënte wijze bouwen en exploiteren van een offshore energiepark.

Naast windenergie is in de concessie ook voorzien om WEC's te installeren. Deze golfenergie-technologie is relatief nieuw en werd nog niet eerder uitgetest op grote schaal in de zuidelijke Noordzee.

Dit pilootproject levert een grote bijdrage aan de kennis en haalbaarheid van de bouw, installatie en exploitatie van golfenergie op de Noordzee en in het bijzonder op het BDNZ.

De BBT zullen maximaal worden aangewend om zowel technisch als economisch een kwalitatief hoogstaand project uit te bouwen. De initiatiefnemer heeft zich immers als doel gesteld een zo intensief mogelijk gebruik van de toegekende domeinconcessie binnen de bij KB vastgestelde zone voor de bouw en exploitatie van installaties voor de productie van elektriciteit uit water, stromen of winden te realiseren en dit op basis van volgende basisprincipes:

- Een combinatie van een maximaal geïnstalleerd vermogen met een maximale energieproductie per jaar ten einde maximaal bij te dragen tot de doelstellingen van de overheid inzake productie van hernieuwbare energie.
- Het aanwenden van de BBT rekening houdende met de laatste technologische vernieuwingen inzake windturbines, golfenergie, elektrische infrastructuur, funderingen,….

Zeker bij de WEC-systemen is de technologische invulling vandaag nog voortdurend in beweging en bevinden talrijke installaties zich nog in verschillende fazen van ontwikkeling (TRL = Technology Readiness Level varieert tussen 2 en 9). Hierbij wordt technische haalbaarheid in een voortdurende wisselwerking afgewogen tegenover operationele werking, energierendementen en financieel-economische evaluaties.

Mermaid beschikt via haar onderliggende partijen over de adequate ervaring, de nodige middelen, het goed opgeleid personeel en de relevante expertise om de realisatie, optimale instandhouding en uitbating van het offshore energiepark gedurende de volledige looptijd van de domeinconcessie te garanderen. De partners en achterliggende partijen van Mermaid zijn lid van nationale en internationale organisaties en onderzoekscentra waardoor ze aan de bron zitten van de nieuwste evoluties in hernieuwbare technologieën. Zodoende beschikt de initiatiefnemer over de nodige flexibiliteit om gepast te kunnen inspelen op evoluties in de energiesector, in het bijzonder bij de applicatie, installatie.en exploitatie van de voorziene WEC-systemen.

De definitieve selectie van de installaties op basis van de BBT is in de huidige planning voorzien voor 2016-2017 en de initiatiefnemer houdt zich het recht voor om ten tijde van de selectie en aanbesteding andere types te kiezen dan de in dit MER als voorbeeldtype gebruikte turbines of WEC's (weliswaar binnen de range van de in dit MER onderzochte scenario's) als blijkt dat bijvoorbeeld:

- Het voorkeurstype voor WEC, windturbine of funderingsvorm op de gewenste tijdstippen niet leverbaar is;
- De energieopbrengst kan geoptimaliseerd worden, mits aangepaste configuratie of inplanting;
- Het algemene juridische en/of administratieve kader verandert;
- Er geen consensus over de juridische en commerciële condities bereikt wordt tussen de projectleiding en de leverancier.

De term BBT (Beste Beschikbare Technieken) wordt gebruikt in het kader van de milieuregulering (hoofdzakelijk milieuvergunningen) en heeft tot doel bedrijven aan te zetten om zo milieuvriendelijk mogelijk te werken. Navraag bij het BBT-Kenniscentrum van de VITO wees uit dat er momenteel geen BREF- of BBT-studies in verband met windenergie bestaan.

Het begrip ‘beste beschikbare techniek’ wordt in titel I van het VLAREM (art. 1, 29°) als volgt gedefinieerd:

“Het meest doeltreffende en geavanceerde ontwikkelingsstadium van de activiteiten en exploitatiemethoden, waarbij de praktische bruikbaarheid van speciale technieken om in beginsel het uitgangspunt voor de emissiegrenswaarden te vormen is aangetoond, met het doel emissies en effecten op het milieu in zijn geheel te voorkomen, of wanneer dat niet mogelijk blijkt algemeen te beperken”

- *"technieken": zowel de toegepaste technieken als de wijze waarop de installatie wordt ontworpen, gebouwd, onderhouden, geëxploiteerd en ontmanteld;*
- *"beschikbare": op zodanige schaal ontwikkeld dat de technieken, kosten en baten in aanmerking genomen, economisch en technisch haalbaar in de industriële context kunnen worden toegepast, onafhankelijk van de vraag of die technieken al dan niet op het grondgebied worden toegepast of geproduceerd, mits ze voor de exploitant op redelijke voorwaarden toegankelijk zijn;*
- *"beste": het meest doeltreffend voor het bereiken van een hoog algemeen niveau van bescherming van het milieu in zijn geheel.*

Met andere woorden: BBT zijn technieken die, in vergelijking met alle gelijkaardige technieken, het best scoren op milieugebied én betaalbaar zijn én technisch uitvoerbaar zijn.

2.3 RUIMTELIJKE SITUERING VAN HET PROJECT

Het offshore windpark Mermaid is gelegen in de Belgische Exclusieve Economische Zone (EEZ) op het Belgisch Deel van de Noordzee. Het park bevindt zich ten noordwesten van de Blighbank, naast de concessiezone van Northwester 2 en als laatste en meest noordelijke park in de Belgische concessiezone. De site ligt op ca. 50 km van de kust, er heerst een gemiddelde waterdiepte van ongeveer 34 m (cf. G-tec, 2014, Verkennende geofysische terreinmetingen in het concessiegebied).

2.3.1 Motivatie van de locatiekeuze

De keuze voor de inplantingsplaats voor het Mermaid windenergieproject (Figuur 2-2) is, binnen de voorbereidende studies van de concessieaanvraag, gebaseerd op de volgende elementen:

- Het Koninklijk Besluit van 20 december 2000, gewijzigd door het Koninklijk Besluit van 17 mei 2004, 28 september 2008 en 3 februari 2011: dit Koninklijk Besluit en zijn wijzigingsbesluiten bepalen de voorwaarden en de procedure voor de toekenning van domeinconcessies voor de bouw en de exploitatie van installaties voor de productie van elektriciteit uit water, stromen of winden, in de zeegebieden waarin België rechtsmacht kan uitoefenen overeenkomstig het internationaal zeerecht. In het KB van 17 mei 2004 werd een preferentiële zone voor de ontwikkeling van offshore windparken bij wet afgebakend, aangepast door het KB van 3 februari 2011. Het projectgebied van Mermaid ligt volledig binnen de afgebakende zone;
- Uit een globale analyse van de mogelijke impact van de installatie op alle toegestane activiteiten in de betreffende zeegebieden werd geconcludeerd dat de locatie slechts een geringe impact op de toegestane activiteiten in de zeegebieden heeft;

- Preliminaire technisch-economische haalbaarheidstudies illustreren duidelijk de potenties van de ontwikkeling van offshore windparken in de aangeduide zone op het BDNZ;
- Het concessieaanvraagdossier toont een specifiek uitgewerkt businessplan, rekening houdend met conservatieve premissen en met voldoende veiligheden en reserves om flexibel in te spelen op veranderende randcondities, zodat het Mermaid-project een stevige financiële basis heeft.

De coördinaten van de hoekpunten van de door Mermaid verkregen domeinconcessie zijn gegeven in Bijlage B.1.

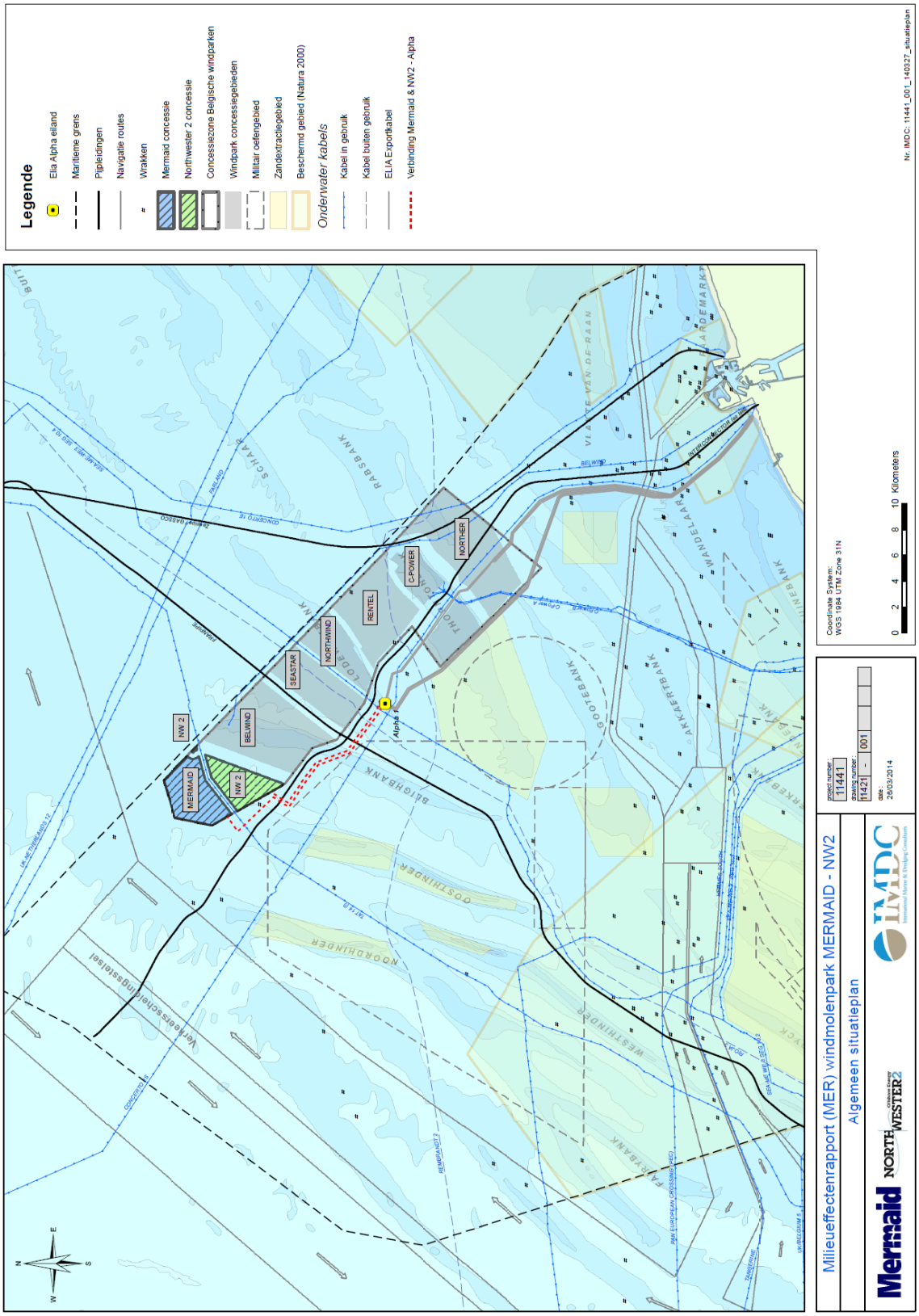
2.3.2 Ruimtelijke situering t.o.v. andere gebruikers

Bijgevoegd is het algemene situeringsplan van de Mermaid concessiezone, conform het KB van 20 december 2000 en KB van 3 februari 2011 is aangegeven (Figuur 2-2 en Bijlage C.1):

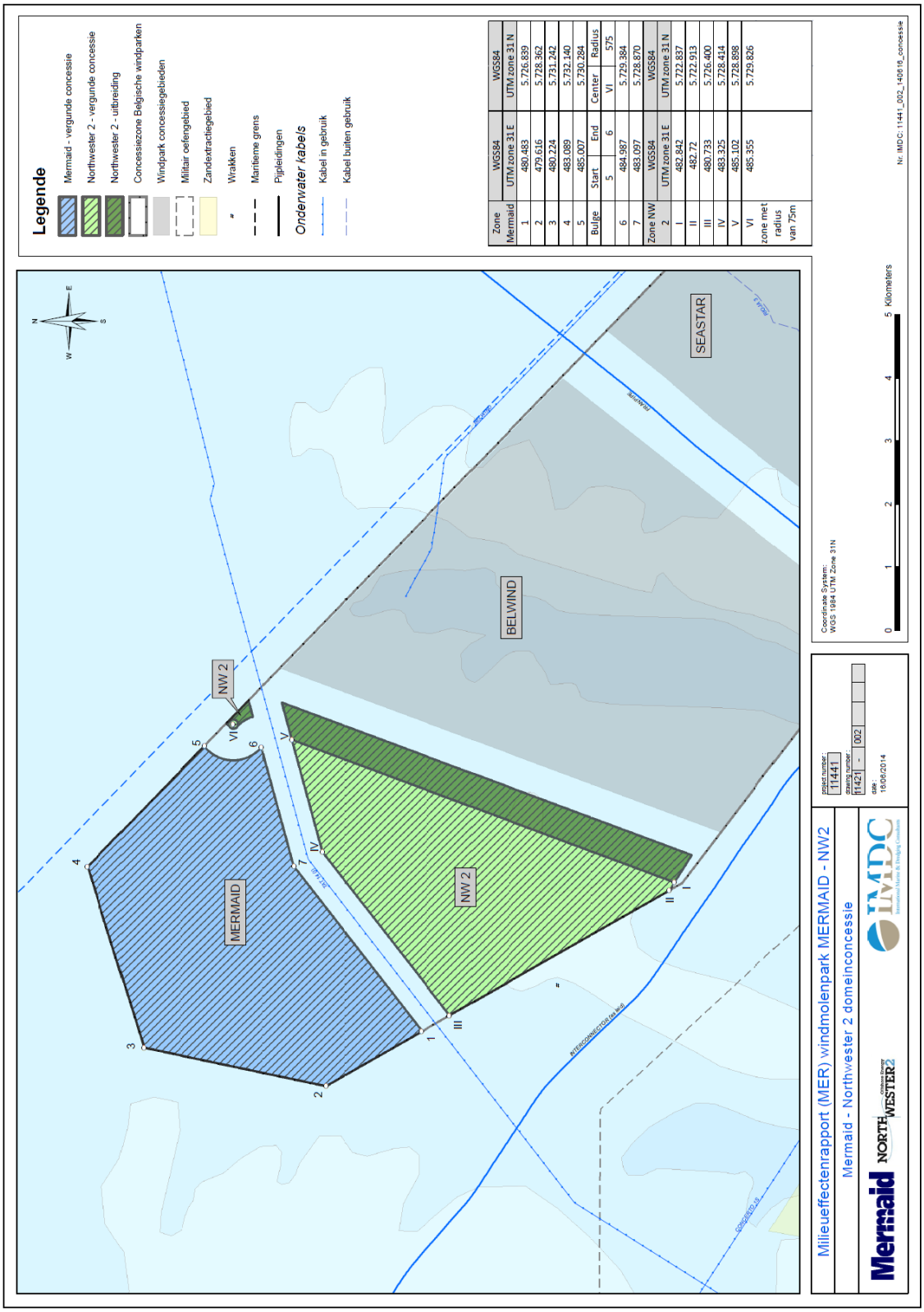
- De afbakening van de domeinconcessie waarvoor de aanvraag wordt ingediend, met verduidelijking van de lokalisering van de installatie in verhouding tot de maritieme activiteiten die er worden verricht;
- De aanduiding van de grenzen van de naburige zones waarvoor reeds een concessie werd toegekend;
- De potentiële locatie van de Alpha-installatie als onderdeel van het BOG-project
- De ligging van de exportkabels in hetzelfde BOG-project tussen de Alpha-installatie en de aanlanding aan de Belgische kust
- Het geplande tracé voor de kabels van de door de installaties geproduceerde elektriciteit tot aan de voor de aansluiting op het net geplande vertakking: ofwel de offshore Alpha-installatie als onderdeel van het BOG-project ofwel op het Stevin-station in Zeebrugge, indien de Alpha-installatie niet het aansluitpunt wordt.

Het Mermaid concessiegebied wordt omringd door volgende actuele activiteiten (Figuur 2-3):

- De Northwester 2 concessie in het zuiden;
- De TAT 14 (I) telecommunicatiekabel in het zuiden;
- De gasleiding Interconnector in het zuidwesten. Deze gasleiding bevindt zich op minstens 2 km van de Mermaid concessie;
- Het verkeersscheidingsstelsel Noordhinder Zuid in het noordwesten. Dit verkeersscheidingsstelsel maakt deel uit van een groot verkeersscheidingsstelsel door de Straat van Dover en wordt gebruikt door de scheepvaart tussen het zuidelijk deel van de Noordzee en het noordelijke deel of de Baltische zee. Het is één van de meest druk bevaren scheepvaartgebieden ter wereld. Aansluitend bevindt zich het voorzorgsgebied Noordhinder dat verder loopt op Nederlands grondgebied.
- De Belgisch-Nederlandse maritieme grens aan de noordoostelijke rand van de concessiezone (maritieme grens in Figuur 2-3).



Figuur 2-2 Ligging Mermaid (blauw) t.o.v. andere gebruikers van het Belgisch Deel van de Noordzee



Figuur 2-3 Situering van het Mermaid projectgebied (blauw) t.o.v. omliggende concessiezones, kabels en pijpleidingen (A3 formaat in Bijlage B.2).

2.3.3 Lay-out van het park

Bij de lay-out van het Mermaid park is rekening gehouden met de aanwezigheid van de TAT 14(I) telecomkabel die zich bevindt tussen het Mermaid en Northwester 2 park. De inplanting van de windturbines, WEC's en het transformatorplatform gebeurt op minimaal 250 m van deze TAT 14(I) telecom kabel. Deze 250 m is de wettelijk voorziene bufferzone rond een actieve telecomkabel. Voor het bepalen van de positie van de kabel is er uitgegaan van de exacte coördinaten zoals bepaald in de recente geofysische site survey.

De windturbines, de WEC's en het eventuele OHVS liggen volledig binnen het aangevraagde concessiedomein. Er wordt een bufferzone voorzien van 500 m die volledig gelegen is op het Belgisch Deel van de Noordzee.

De totale oppervlakte van het noordelijke deel van het initiële concessiegebied bedraagt zo'n 16,65 km^2. De oppervlakte min de ene locatie van Northwester 2 in het noordelijk deel is 16,26 km^2 (blauw gearceerde zone in Figuur 2-3).

2.4 OMHULLENDE SCENARIO'S

Wegens de steeds evoluerende markt in de windturbinetechnologie worden verschillende uitvoeringsalternatieven besproken in het MER. Het MER behandelt 4 alternatieve scenario's met verschillend aantal windturbines en geïnstalleerd vermogen (§ 2.4.1). Daarnaast wordt in de Mermaid concessie ook voorzien om WEC's te installeren. In dit MER zullen naast een algemene beschrijving van WEC systemen, ook 6 basistypes beschreven worden geselecteerd als meest haalbaar op het BDNZ (§ 2.6.6) met hun inplantingsmogelijkheden binnen de windturbine configuraties (§ 2.4.2). Voor de effectbespreking zal per discipline het type WEC met het worst-case effect besproken worden.

2.4.1 Windturbines

Wegens de steeds evoluerende markt in de windturbinetechnologie worden verschillende uitvoeringsalternatieven besproken in het MER. Het MER behandelt 4 alternatieve scenario's, nl. met minimum aantal WTG's, met maximum aantal WTG's, met minimum geïnstalleerd vermogen en met maximum geïnstalleerd vermogen. Bij elk van de scenario's hoort een vermogen range gekoppeld aan een passend aantal turbines. Op deze manier passen alle mogelijke toekomstige configuraties (zowel qua aantal turbines, rotordiameter en vermogen per turbine) in de hoger vermelde scenario's die als 'omhullende scenario's' verder zullen beschreven worden.

Per scenario wordt telkens een typevoorbeeld gedefinieerd met een bepaalde inplantingsconfiguratie die in het MER besproken zal worden.

0. Basisconfiguratie: 57-32 WTG's in het initiële concessiegebied, met rotordiameter (RD) 120-155 m - individueel vermogen 4-7 MW. Als typevoorbeeld geldt de Alstom Haliade (38 WTG's, 6 MW, 150 m RD).
1. Configuratie 1: 80-64 WTG's in het uitgebreide concessiegebied, met rotordiameter 110-130 m - individueel vermogen 3-5 MW. Als typevoorbeeld geldt de Vestas V112 (80 WTG's, 3,3 MW, 112 m RD).

2. Configuratie 2: 61-38 WTG's in het uitgebreide concessiegebied met rotordiameter 150-180 m - individueel vermogen 5-8 MW. Een typevoorbeeld is de Vestas V164 (38 WTG's, 8 MW, 164 m RD).
3. Configuratie 3: 29-24 WTG's in het uitgebreide concessiegebied met rotordiameter 165-190 m - individueel vermogen 8-10 MW. Als typevoorbeeld geldt de SeaTitan (24 WTG's, 10 MW, 190 m RD).

Op die manier wordt de optie met het minimaal geïnstalleerd vermogen besproken (basisconfiguratie), de optie met maximaal aantal mogelijke WTG's (configuratie 1), de optie met maximaal geïnstalleerd totaal vermogen (configuratie 2) en de optie met minimaal aantal mogelijke WTG's met maximale rotordiameter (configuratie 3).

Samenvattend wordt voor de park lay-out rekening gehouden met een vermogensspreiding van 3 MW tot 10 MW per turbine (met een totaal geïnstalleerd vermogen tussen 224 en 320 MW, waarbij de Vestas V112 (3,3 MW), de Alstom Haliade (6 MW), de Vestas V164 (8 MW) en de SeaTitan (10 MW) als typevoorbeelden (met gebruik van hun beschikbare technische gegevens) worden uitgewerkt in het MER (Tabel 2-2).

Tabel 2-2 Overzicht van geïnstalleerd vermogen, uitgewerkt voor het typevoorbeeld bij elke omhullende configuratie

	WTG capaciteit (MW)	# WTG's	Rotor Diam. (m)	Geïnstalleerd Vermogen (MW)	Capaciteit densiteit (MW/km^2)
Basisconfiguratie	6	38	150	228	13,65
Configuratie 1	3,3	80	112	264	15,81
Configuratie 2	8	38	164	304	18,20
Configuratie 3	10	24	190	240	14,37

Voor de basisconfiguratie zal de impact besproken worden van vier funderingsmogelijkheden: gravitaire fundering (GBF), monopile (MP), jacket (JF) en 'suction bucket' principe (SB) (Tabel 2-3). Bij configuratie 1 worden enkel monopile, jacket en suction bucket beschreven en voor configuratie 2 en 3 zijn GBF, jacket en suction bucket als funderingstype vooropgesteld. Het suction bucket principe wordt gezien als een alternatief voor het inheien bij monopile en jacket funderingen.

Tabel 2-3 Besproken funderingstypes per configuratie

	Configuratie		Funderingstype			
	Capaciteit	# WTG's	GBF	MP	JF	Suction bucket
Basisconfiguratie	6 MW	38	x	x	x	X
Configuratie 1	3,3 MW	80		x	x	X
Configuratie 2	8 MW	38	x		x	X
Configuratie 3	10 MW	24	x		x	X

Bij configuraties 2 en 3 is een uitvoering met MP fundering technisch niet langer mogelijk. Een te groot bovengewicht van de windturbine-machine (8 en 10 MW) in combinatie met de lokale waterdieptes en de bodemgesteldheid, leiden immers tot onhandelbaar (bij fabricage, transport en/of installatie) grote dimensies en niet langer economisch rendabele dimensies van de funderingspaal. Bij turbines met een vermogen van 8 – 10 MW en rotordiameter van 164 - 190 m verschillen de dimensies van de GBF en jacket funderingen voldoende van deze in configuraties 1 en 2 zodat deze funderingstypes in aparte omhullende configuraties beschreven worden.

De vier typevoorbeeld configuraties beschrijven een specifiek aantal windturbines van een bepaald vermogen. De milieu-impact van een type fundering zal besproken worden voor de situatie waarbij alle turbines binnen de configuratie met dezelfde fundering worden uitgevoerd. In werkelijkheid is – in functie van lokale bodemgesteldheid, windpotentieel of inpassing binnen de elektrische kabelinfrastructuur – ook een combinatie van verschillende funderingstechnieken mogelijk binnen het windpark.

Mermaid zal in de loop van het project zijn uiteindelijke keuze maken voor een windturbine met een vermogen in de range van 3 – 10 MW en op basis van die keuze de uiteindelijke park- configuratie definiëren. De afmetingen van de uiteindelijk gekozen turbine en funderingstypes, zullen dan ook equivalent of inferieur gekozen worden aan de binnen het MER beschreven types.

Bij de vier configuraties gaat het telkens om het maximum aantal windturbines mogelijk in de aangevraagde concessiezone, er wordt geen uitbreiding van de concessiezone voorzien. Dit is telkens het ‘worst-case’ scenario, het dekt ook de situatie met een kleiner aantal turbines en dus kleinere milieu-impact (Tabel 2-2).

Tabel 2-4 Weerhouden combinaties van configuratie en type fundering

Omhullend scenario met typevoorbeeld configuratie	Aantal turbines	Rotordiameter	Individueel vermogen	Totaal geïnstalleerd vermogen	Funderingstype	Erosiebescherming
Basisconfiguratie	57-32 38	120-155 m 150 m	4-7 MW 6 MW	228-224 MW 228 MW	Monopile	Ja: Statisch/dynamisch
					Jacket	dynamisch
					GBF	ja
					Suction bucket	Idem MP en JF
Configuratie 1	80-64 80	110-130 m 112 m	3-5MW 3,3 MW	240-320 MW 264 MW	Monopile	Ja: Statisch/dynamisch
					Jacket	dynamisch
					Suction bucket	Idem MP en JF
Configuratie 2	61-38 38	150-180 m 164 m	5-8 MW 8 MW	305-304 MW 304 MW	Jacket	dynamisch
					GBF	ja
					Suction bucket	Idem MP en JF
Configuratie 3	29-24 24	165-190 m 190 m	8-10 MW 10 MW	232-240 MW 240 MW	Jacket	dynamisch
					GBF	ja
					Suction bucket	Idem MP en JF

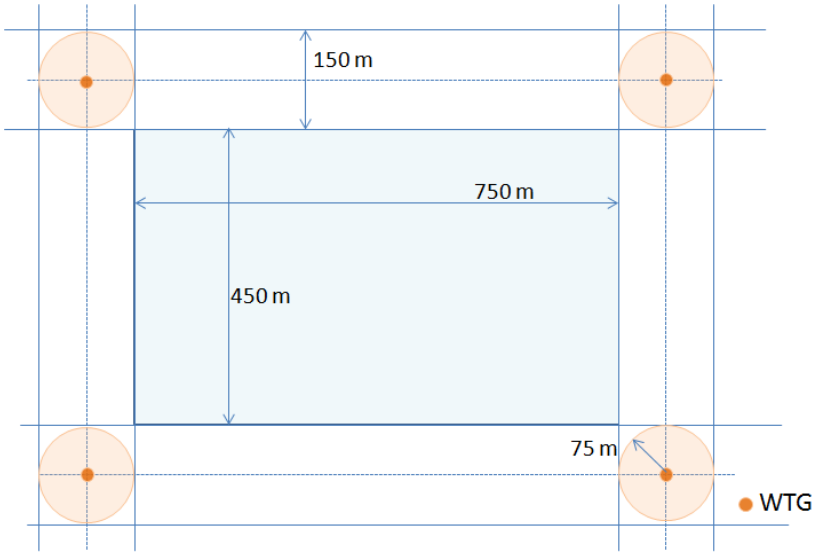
2.4.2 WEC's

Het potentieel aan energie van het Mermaid domeinconcessiegebied wordt verder benut door een nominaal vermogen van minstens 20MW met golfenergieconvertoren in te plannen tussen de windturbines in overeenstemming met de voorwaarden uit de domeinconcessie. Hierdoor wordt optimaal gebruik gemaakt van een deel van de vrije ruimte tussen de windturbines.

Rekening houdend met de toegankelijkheid van de diverse installaties van het offshore energiepark is in het actuele concept een patroon vooropgesteld waarbij de WEC's geïnstalleerd worden in de vrije zone tussen windturbines. Deze vrije zone wordt omgeven door een corridor van 2 x 75 m rond de WTG-funderingen die fungeert als toegangskanaal ten behoeve van onderhoudswerkzaamheden en controle (Figuur 2-4). In de WTG basisconfiguratie (38 x 6 MW) is hiertoe een basisveld van 750 x 450 m of 337.500 m² (Figuur 2-4) als vrije zone voor WECs ingetekend. Binnen dit basisveld wordt dan – in functie van het respectievelijke WEC-systeem- getracht een dusdanige configuratie in te tekenen zodat per basisveld een streefwaarde van 5 MW aan geïnstalleerd vermogen wordt gehaald.

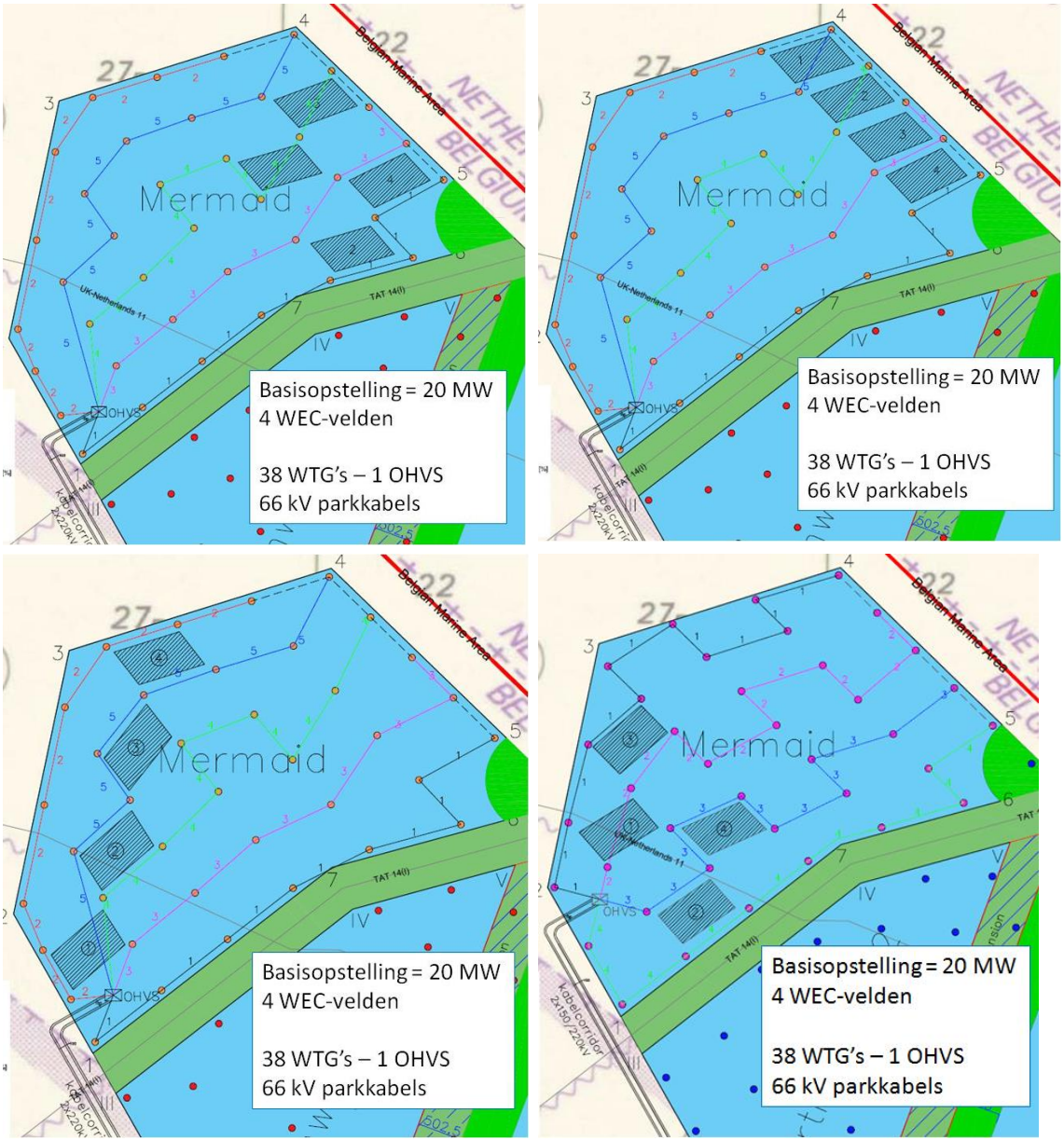
In overeenstemming met de voorwaarden uit de domeinconcessie wordt als basisoplossing een totaal nominaal vermogen van minimum 20 MW vooropgesteld in 4 basisvelden (van elk 5 MW) en wordt als bovengrens een inplanting over 12 velden (totaal geïnstalleerd vermogen tot 61 MW) gesuggereerd.

De voorgestelde inplantingen voor respectievelijk windturbines en golfenergieconvertoren zijn vandaag louter indicatief en maken onderwerp uit van een verdere optimalisatie bij de ontwerpstudie van het energiepark. Tijdens de optimalisatie zal rekening gehouden worden met de aanbevelingen van Stratigaki (2014). Uitvoerige testen in een labo-opstelling met tot 25 WEC's van het single-point absorber type leverde nieuwe inzichten in de optimale opstelling van WEC's naar opbrengst en invloed op het heersende golfveld.



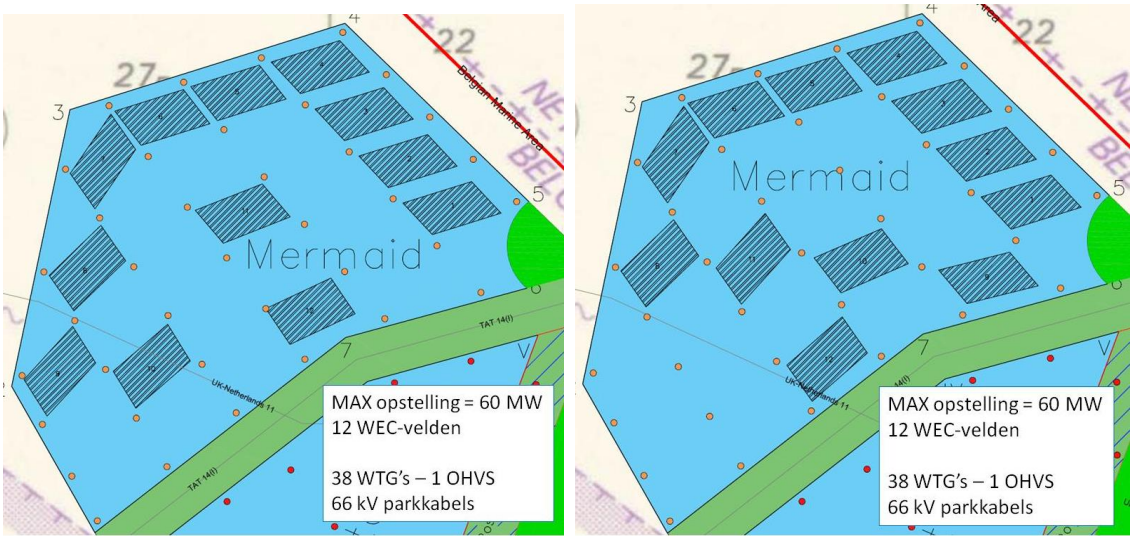
Figuur 2-4 Basisveld voor de WEC's, ingeplant tussen 4 windturbines in de basisconfiguratie met 38 WTG's

Wat betreft de locaties van de basisvelden, wordt de noordzijde van de Mermaid concessiezone vermeden gezien de nabijheid van scheepvaartroutes. Ook de westzijde van de concessiezone is minder geschikt omdat deze zone mogelijk de toegang tot het OHVS zou kunnen hinderen en een onnodig bijkomend aanvaringsrisico zou betekenen. De locaties aan de oostzijde nabij de Belgisch-Nederlandse grens zijn beter geschikt. We gaan er van uit dat in het aanwezige windpark geen verstoring of demping optreedt van de invallende golven. De overheersende invalsrichting van de golven is immers zuidwest. Figuur 2-5 geeft enkele voorbeelden weer van de inplanting van de 4 basisvelden. Deze voorbeelden zijn beschouwd in een scenario met 38 windturbines. Bij de inplanting wordt ook getracht om de overlap met de parkkabels tot een minimum te beperken.



Figuur 2-5 Enkele voorbeelden van potentiële inplantingen voor de 4 WEC-velden (20 MW)

Vanuit bovenstaande basisopstelling met een nominaal vermogen van 20 MW golfenergie, kan het aantal basisvelden (in een latere fase) worden uitgebreid tot een maximaal geïnstalleerd vermogen van 61 MW. Voor basisvelden van 5 MW betekent dit een totaal van 12 basisvelden. Mogelijke inplantingen worden weergegeven in Figuur 2-6.



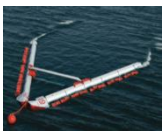
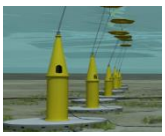
Figuur 2-6 Enkele voorbeelden van potentiële inplantingen voor 12 WEC-velden (60 MW)

De elektrische aansluiting van de WEC-installatie gebeurt ofwel op de schakelapparatuur van een WTG, ofwel rechtstreeks op het OHVS indien de WEC velden in de directe omgeving liggen.

In het kader van dit MER worden, op basis van de vandaag gekende en geïdentificeerde BBT rond de WEC-systemen, enkele mogelijke typevoorbeelden geselecteerd als meest haalbaar op het BDNZ en die zouden kunnen worden geplaatst in het Mermaid park (§ 2.6.6).

In Tabel 2-5 wordt per type WEC een overzicht gegeven van het theoretisch aantal WEC's (units) er binnen een basisveld kunnen geïnstalleerd worden en hoeveel velden er nodig zijn om een geïnstalleerd vermogen van 20 MW en 61 MW te bereiken. Deze oefening werd gemaakt voor alle WTG inplantingsconfiguraties: de basisconfiguratie met 38 turbines, configuratie 1 met 80 turbines, configuratie 2 met eveneens 38 turbines en configuratie 3 met 24 turbines. De vrije beschikbare oppervlakte – waarbij steeds de minimale doorgangscorridor van 2 x 75 m wordt gevrijwaard tussen de 4 nabijgelegen WTG-funderingen - in configuratie 1 is slechts 112.500 m², drie keer kleiner dan het basisveld in de basisconfiguratie. De vrije beschikbare oppervlakte tussen 4 windturbines in configuratie 3 is ongeveer twee keer groter dan het basisveld in de basisconfiguratie, nl. 675.000 m².

Tabel 2-5 Theoretisch aantal units en basisvelden nodig per type WEC en WTG configuratie om 20 MW en 61 MW geïnstalleerd vermogen te bereiken. Rode velden duiden opties aan die technisch gezien niet haalbaar zijn.

Inplantingsconfiguratie windturbines		**Basisconf. 38 x 6MW WTG**	**Conf. 1 80 x 3,3MW WTG**	**Conf. 2 38 x 8 MW WTG**	**Conf. 3 24 x 10MW WTG**
Oppervlakte basisveld WECs tussen 4 windturbines		**337.500 m²**	**112.500 m²**	**337.500 m²**	**675.000 m²**
Wavestar 	1 basisveld	7 units x 800 kW	2 units x 800 kW	7 units x 800 kW	14 units x 800 kW
	20 MW	4 velden 28 units	13 velden 26 units	4 velden 28 units	2 velden 28 units
	61 MW	11 velden 77 units	~~39 velden 78 units~~	11 velden 77 units	6 velden 84 units
Poseidon 	1 basisveld	9 units x 600 kW	3 units x 600 kW	9 units x 600 kW	18 units x 600 kW
	20 MW	4 velden 36 units	11 velden 33 units	4 velden 36 units	2 velden 36 units
	61 MW	12 velden 108 units	~~33 velden 99 units~~	12 velden 108 units	6 velden 108 units
Weptos 	1 basisveld	8 units x 350 kW	2 units x 350 kW	8 units x 350 kW	16 units x 350 kW
	20 MW	8 velden 64 units	~~19 velden 57 units~~	8 velden 64 units	4 velden 64 units
	61 MW	~~22 velden 176 units~~	~~57 velden 171 units~~	~~22 velden 176 units~~	12 velden 192 units
FlanSea 	1 basisveld	60 units x 80 kW	20 units x 80 kW	60 units x 80 kW	120 units x 80 kW
	20 MW	5 velden 300 units	13 velden 260 units	5 velden 300 units	2 velden 240 units
	61 MW	12 velden 720 units	~~39 velden 780 units~~	12 velden 720 units	6 velden 720 units
Seabased 	1 basisveld	160 units x 30 kW	53 units x 30 kW	160 units x 30 kW	320 units x 30 kW
	20 MW	5 velden 800 units	13 velden 689 units	5 velden 800 units	2 velden 640 units
	61 MW	12 velden 1920 units	~~39 velden 2067 units~~	12 velden 1920 units	6 velden 1920
Lifesaver 	1 basisveld	13 units x 400 kW	4 units x 400 kW	13 units x 400 kW	26 units x 400 kW
	20 MW	4 velden 52 units	13 velden 42 units	4 velden 52 units	2 velden 52 units
	61 MW	12 velden 156 units	~~37 velden 148 units~~	12 velden 156 units	6 velden 156 units

Uit Tabel 2-5 kan reeds geconcludeerd worden dat binnen WTG configuratie 1 met 80 turbines er geen 61 MW zal kunnen gerealiseerd worden (voor geen enkel type WEC) wegens het hoge aantal benodigde aantal velden. Een geïnstalleerd vermogen van 20 MW is wel nog een optie binnen configuratie 1, uitgezonderd voor WEC type 'Weptos'. Wegens zijn grote drift cirkel en afmetingen kunnen slechts 2 units per basisveld ingeplant worden, waardoor het aantal benodigde velden om tot 20 MW te komen technisch niet haalbaar is (19 velden). Wegens zijn relatief grote afmetingen ten opzicht van de opbrengst per unit is ook voor de basisconfiguratie en configuratie 2 een geïnstalleerd vermogen van 61 MW met enkel Weptos units technisch niet mogelijk (22 velden met elke 8 units vereist).

Alle andere types WEC's zijn wel mogelijk om tot een geïnstalleerd vermogen van 20 MW en 61 MW te komen binnen de verschillende WTG configuraties. Wegens de grote vrije ruimte beschikbaar tussen de windturbines van configuratie 3 (24 WTG's) is het benodigde aantal velden slechts de helft van de basisconfiguratie en configuratie 2 (aantal units per veld is verdubbeld).

Gezien de huidige onduidelijkheid over het finaal ingezette type van WEC's, zal bij de effectbespreking per discipline het type WEC met het worst-case effect besproken worden, zodat alle andere types of combinaties van types eronder vallen.

Het is duidelijk dat de maturiteit van de actueel voorliggende WEC-systemen absoluut niet zo ver is ontwikkeld als de technologie rond windturbines en hun fundering. Vandaag zijn nog geen grootschalige, commerciële toepassingen in volwaardige opstelling actief in de Noordzee. Doordat de technologie van de WEC's relatief nieuw is en er nog onvoldoende onderzoek is gebeurd naar de efficiëntie, de rendabiliteit en de milieueffecten, is het aangewezen dat er in het Mermaid park eerst een testfase wordt uitgevoerd. Dergelijke methodologie werd eerder ook toegepast bij de eerste 6 windturbines op GBF in het C-Power park. Tijdens de initiële testfase kunnen één of meerdere types WEC's geïnstalleerd worden in het basisveld. Wanneer o.a. de milieueffecten beter gekend zijn, kan de verdere ontwikkeling van de WEC's worden uitgevoerd.

2.5 TERMIJN EN FASERING VAN HET PROJECT

Op basis van de actuele status van het betreffende Mermaid project en de reeds eerder voorgestelde projectinvulling in de concessieaanvraag, wordt hieronder een geactualiseerde planning weergegeven.

1. Vergunningen en voorbereiding 12/2012–07/2014
2. FEED-studies (design basis, conceptueel ontwerp, geotechnische survey, basisontwerp, termsheets, ..) 04/2013-09/2016
3. Contractonderhandelingen WTG + EPCI contractor 04/2016-10/2016
4. Afronding financiën (Financial Close) 10/2016
5. EPCI (Fundering+Kabels) – finaal ontwerp 08/2016-02/2017
6. EPCI (Fundering+Kabels) – Aankoop+Onshore constructie 11/2016-04/2018
7. EPCI (Fundering) – Offshore installaties 05/2017-05/2018
8. WTG – Aankoop + Onshore constructie 01/2017-04/2018

9. EPCI (Kabels) – Offshore installaties 01/2018-10/2018
10. WTG – Offshore installaties + Commissioning 03/2018-10/2018
11. Operationeel park – Aansluiting op Elia-net 12/2018

Bovenstaande planning hangt o.a. ook af van de externe planning van o.a. netwerkbeheerder Elia. Sinds begin 2012 (elektriciteitswet dd. 08/01/2012) is de bevoegdheid van Elia als beheerder van het transmissienet uitgebreid tot op zee. Vanuit deze uitgebreide bevoegdheid heeft Elia actueel enkele strategische ontwikkelingsplannen voorgesteld waarbij zogenaamde offshore transformatorstations (Alpha en Beta) worden voorzien als aansluitingspunten voor de respectievelijke windparken, i.e. het Belgian Offshore Grid of BOG project. Volgens de actueel voorliggende schema's wordt voor de Mermaid en Northwester 2-parken een aansluiting op de Alpha-installatie voorzien. De vergunningsaanvraag voor deze offshore Alpha-installatie als onderdeel van het BOG-project werd in 2013 ingediend. De planning van een operationele Alpha-installatie, als onderdeel van het Belgian Offshore Grid, hangt af van de realistatie van het Stevin Project op land.

De netwerkbeheerder Elia verzekert een verbeterde en meer uitgebreide aansluiting op het Belgisch hoogspanningsnet in de kustzone (Stevin Project). De geplande aansluiting van een volledig operationeel Mermaid windpark tegen 2018 is mogelijk indien de Alpha-installatie operationeel is in het najaar van 2017 en het Stevin project op dat moment ook gerealiseerd is.

Zoals hoger gemeld voorziet Mermaid voor de aangevraagde domeinconcessie een mogelijk gefaseerde installatie van een WEC-park.

2.6 BESCHRIJVING VAN DE TECHNOLOGIE

In onderstaande tabel wordt een korte samenvatting gegeven van de parkinrichting en de basisparameters gebruikt voor het ontwerp van het Mermaid windpark:

Onderwerp	**Omschrijving**
Locatie	
Situering	Gelegen op ca. 50 km van de kust; Gelegen ten noorden van de Oosthinderbank en ten noordwesten van de Blighbank langs de grens met Nederland, en ten noordwesten van Northwester 2; Het betreft het meest noordelijk gelegen park in de Belgische zone afgebakend voor de exploitatie van offshore energie vastgelegd door het KB van 20 december 2000, laatst gewijzigd door het KB van 3 februari 2011.
Oppervlakte concessiegebied	Totale oppervlakte van de noordelijke concessie bedraagt ca. 16,65 km². De oppervlakte min de ene locatie van NW2 is 16,26 km².
Parkinrichting	Inplanting: basisconfiguratie en drie alternatieve configuraties, zie Bijlage C Diepte van de zeebodem ter hoogte van het concessiegebied: -24,5 tot -39,5 m TAW (in Mermaid is -x m TAW = -(x+0.48 m) m LAT); Te respecteren afstanden tot de Interconnector gasleiding (500 m), de TAT 14 telecommunicatiekabel (250 m) en de te respecteren bufferzone van 500 m voor het naburige windpark NW2.
Windturbines	
Inplanting	Basisconfiguratie en drie alternatieve configuraties zie Bijlage C
Type – Vermogen – Rotordiameter	Ca. 3 tot 10 MW per turbine; diverse turbines komen hiervoor in aanmerking. Voor de verschillende omhullende scenario's wordt gewerkt met typevoorbeelden: **Basisconfiguratie**: 57-32 WTG's, rotordiameter 120-155 m, individueel vermogen 4-7 MW, totaal geïnstalleerd vermogen van 228-224 MW. Typevoorbeeld Alstom Haliade 6 MW, 38

Onderwerp	Omschrijving
	WTG's, totaal geïnstalleerd vermogen 228 MW; **Configuratie 1**: 80-64 WTG's, rotordiameter 110-130 m, individueel vermogen 3-5 MW, totaal geïnstalleerd vermogen van 240-320 MW. Typevoorbeeld Vestas V112 MW, 80 WTG's, totaal geïnstalleerd vermogen 264 MW; **Configuratie 2**: 61-38 WTG's, rotordiameter 150-180 m, individueel vermogen 5-8 MW, totaal geïnstalleerd vermogen van 305-304 MW. Typevoorbeeld Vestas V164 8 MW, 38 WTG's, totaal geïnstalleerd vermogen 304 MW; **Configuratie 3**: 29-24 WTG's, rotordiameter 165-190 m, individueel vermogen 8-10 MW, totaal geïnstalleerd vermogen van 232-240 MW. Typevoorbeeld SeaTitan 10 MW, 24 WTG's, totaal geïnstalleerd vermogen 240 MW.
Aantal per typevoorbeeld	Basisconfiguratie: 38 turbines; Configuratie 1: 80 turbines; Configuratie 2: 38 turbines; Configuratie 3 : 24 turbines.
Productie ($P_{50,gross}$)	Ca. 900 tot 1.200 GWh/jaar (ca. 45% efficiëntie)
Fundering windturbines	
Ofwel monopiles	De monopile is een stalen buispaal die in de grond geheid en/of geboord wordt, of via de suction bucket techniek geplaatst wordt. De diepte waarover geheid moet worden om een stabiele fundering te bekomen, hangt af van het bodemprofiel. Rond de paal wordt een erosiebescherming aangebracht, die zowel statisch als dynamisch kan zijn. Dit funderingstype kan gebruikt worden bij de basisconfiguratie en configuratie 1.
Ofwel jacket	De jacket fundering bestaat uit een vakwerktoren, opgebouwd uit stalen buizen met vier steunpunten. De palen worden ofwel geheid ofwel via de suction bucket techniek aangebracht. Er wordt in het MER uitgegaan van een worst-case scenario waarbij voor alle funderingen een dynamische erosiebescherming wordt aangebracht. Dit funderingstype kan gebruikt worden bij de basisconfiguratie en configuratie 1, 2 en 3.
Ofwel gravitair	Een gravitaire fundering bestaat uit een holle betonnen kegel, die overgaat in een smallere sectie, waarop de windturbine gemonteerd wordt. De fundering wordt geprefabriceerd op land en wordt vanaf het schip of ponton neergelaten op de vooraf vlak gemaakte zeebodem. Rond de fundering wordt een erosiebescherming aangebracht. Dit funderingstype kan gebruikt worden bij de basisconfiguratie en configuratie 2 en 3.
Windmeetmast	
Aantal	1 te voorzien in het Mermaid park, eventueel te integreren in OHVS
Fundering hoogspanningsstation	
Type	Gelijkaardig aan de fundering van de turbines.
Elektrische infrastructuur	
Parkkabels binnen het windpark EN rechtstreekse verbindingskabels naar Alpha	De windturbines worden in groepen (4-6 strings) voor 66 kV parkkabels, tot 9-12 strings bij 33 kV kabels van telkens ca. 60 MW of 30 MW verbonden op resp. een 66 of 33 kV parkkabel en aangesloten op een OHVS (optie B) of rechtstreeks op de Alpha-installatie van Elia buiten het concessiegebied (optie A) via verbindingskabels van 66 kV; Kabeltracés zie Bijlage D Aanlegdiepte kabels: ca. 1 m in de zeebodem.
Offshore hoogspanningsstation (OHVS)	Aantal: maximum 1 (optie B en optie C: fall-back scenario), afhankelijk van de parkkabelconfiguratie en de externe aansluiting op de nabijgelegen Alpha-installatie; Step-up transformatoren 33/66 kV → 150-220-380 kV
Kabels vanaf OHVS naar land of naar Alpha	Optie B en optie C (fall-back scenario): 3-fasige onderzeese 150 kV , 220 kV kabel of 380 kV; afhankelijk van het geïnstalleerd vermogen 2 x 150 kV, 1-2 x 220 kV of 1-2 x 380 kV. Kabeltracés zie Bijlage D Bekabeling zal gebeuren volgens de richtlijnen opgesteld door de Vlaamse Overheid (departement Mobiliteit en Openbare Werken, Haven- en Waterbeleid) en andere bevoegde instanties; Aansluitingspunt optie B: de Alpha-installatie van Elia (Belgian Offshore Grid) op de Lodewijkbank Aansluitingspunt optie C (fall-back scenario): aan de kust in hoogspanningsstation Stevin in Zeebrugge. Het hier gedefinieerde kabeltracé valt hierbij volledig samen met het kabeltracé voorzien binnen het reeds bestudeerde BOG-project.
Exploitatie	

Onderwerp	Omschrijving
Besturing en bewaking windpark	SCADA-systeem (Supervisory, Control And Data Aquisition) vanuit een controlekamer op het land
Frequentie gepland onderhoud	Alle werkbare dagen (golfhoogte onder 1,5 m)
Logistiek – toegang naar windpark	Toegang met behulp van onderhoudsschepen of toegang met behulp van helikopters

Hierna worden de volgende componenten meer in detail besproken: windturbines, funderingen, erosiebescherming, windmeetmast, het offshore hoogspanningsstation en de bekabeling. In hoofdstuk 4 zullen de verschillende alternatieven wat betreft inplantingsconfiguratie, kabeltracé en uitvoering nog eens kort besproken worden.

2.6.1 Windturbines

2.6.1.1 Mogelijke types windturbines

Mermaid beoogt voor het geplande windpark de best beschikbare technologie (BBT) in te zetten. Hieronder wordt alvast een overzicht gegeven van de reeds beschikbare en in ontwikkeling zijnde windturbines. Op het moment van deze MER-studie zijn er nu reeds windturbines op de markt beschikbaar met een geïnstalleerd vermogen tot 6 MW. Tabel 2-6 hieronder geeft een overzicht van de huidig beschikbare offshore windturbines.

Tabel 2-6 Overzicht van beschikbare windturbines

Constructeur	Vermogen	Rotordiameter
Acciona AW3000	3,0 MW	100 m
Vestas V112	3,3 MW	112 m
Siemens SWT 3.6	3,6 MW	107 m
Gamesa G11X	5,0 MW	128 m
ArevaMultibrid M5000	5,0 MW	116 m
BARD 5.0	5,0 MW	122 m
REpower 5M	5,0 MW	126 m
Alstom Haliade	6,0 MW	150 m
REpower 6M	6,15 MW	126 m

Momenteel testen diverse leveranciers prototypes uit met grotere vermogens. Via persberichten wordt daarenboven aangekondigd dat de evolutie naar nog grotere en krachtigere windturbines zich volop doorzet tot een vermogen van 10 MW. Een overzicht van de windturbines die in ontwikkeling zijn en die in de toekomst zullen gecommercialiseerd worden, is hieronder verzameld.

Tabel 2-7 Prototypes windturbines in ontwikkeling

Constructeur	Vermogen	Rotordiameter	Beschikbaar
Areva	5,0 MW	135 m	Prototype 2013 - productie 2015
Alstom Haliade	6,0 MW	150 m	Prototype 2012 – productie 2014
Siemens SWT 6.0	6,0 MW	120 en 154 m	2014
Nordex N150	6,0 MW	150 m	Prototype 2013 – productie 2015
Mitshubishi Power Systems Europe (Sea Angel)	7,0 MW	165 m	Prototype 2013
Samsung Heavy Ind.	7,0 MW	171 m	Prototype 2013 - productie 2015
Gamesa GX14-7MW	7,0 MW	140 à 150 m	
Vestas V164	8,0 MW	164 m	Prototype 2014 - productie 2016
Areva (in joint venture met Gamesa GX14-7 MW)	8,0 MW	180 m	Prototype 2015 – productie 2018
SeaTitan	10,0 MW	190 m	Prototype 2013

Gezien het feit dat nog geen aanbestedingsprocedure is doorlopen, kan op dit ogenblik niet eenduidig bepaald worden welk type turbine zal gekozen worden en wat het nominaal vermogen per turbine zal zijn. Voor de beschrijving van de milieueffecten wordt geopteerd om gebruik te maken van typevoorbeelden die garant staan voor de volledige range van 3 tot 10 MW, namelijk de 6 MW Alstom Haliade turbine, de 3,3 MW Vestas V112 turbine, de 8 MW Vestas V164 en de 10 MW SeaTitan turbine voor respectievelijk de basisconfiguratie en configuraties 1, 2 en 3.

2.6.1.2 Algemene turbinekenmerken

De gekozen windturbines zijn ontworpen voor een technische levensduur van minimaal 20 jaar en zijn gecertificeerd door een erkend orgaan voor volgende specifieke elementen:

- Bouwtechnisch en mechanisch ontwerp;
- Vermogen curve;
- Power quality.

Van de typevoorbeelden van windturbines wordt een brochure opgenomen in Bijlage F.

Een windturbine zet windenergie om in mechanische energie die door een generator wordt geconverteerd in elektrische energie. De voornaamste componenten zijn de rotor, de gondel, de mast, de elektrische en besturingscomponenten.

2.6.1.2.1 Rotor

Elke windturbine beschikt over een rotor die de windenergie vangt en omzet in een draaiende beweging (mechanische energie). In essentie wordt de rotor gevormd door een as waarop drie bladen zijn gemonteerd. De technische kenmerken van de rotor zijn:

- Aantal bladen (wieken): 3;
- De bladen worden voorzien van bliksembeveiliging;
- Draaizin: wijzerzin;
- Toerental: 4-11,5 rpm voor de 6 MW Alstom Haliade windturbine; 6,7-17,7 rpm voor de Vestas V112 3,3 MW; 4,8-12,1 rpm voor de 8 MW Vestas V164 en 10 rpm voor de SeaTitan 10 MW;
- Opstart bij windsnelheid: 3-5 m/s (cut-in wind speed);
- Stop bij windsnelheid 25-32 m/s (cut-out wind speed). Uit veiligheidsoverwegingen worden de windturbines stilgezet bij storm wat betekent dat de wieken in vaanstand worden gezet;
- Rotordiameter: 150 m voor 6 MW Alstom Haliade windturbine; naar verwachting 112 m voor de Vestas 3,3 MW; 164 m voor de 8 MW Vestas V164; 190 m voor de SeaTitan 10 MW;
- Bladmateriaal: composietmateriaal (glasvezel versterkte kunststoffen);
- Pitch systeem voor onafhankelijke regeling van de bladstand van elke wiek.

2.6.1.2.2 Gondel

De gondel die zich boven op de mast bevindt, is de eigenlijke machinekamer van de windturbine. Aan de gondel is de rotor opgehangen. In de gondel bevinden zich:

- De generator die de draaiende beweging omzet in elektrische energie op laagspanning:
  - De trage as verbindt de traag draaiende rotor met de tandwielkast;
  - Via de tandwielkast wordt de trage draaibeweging omgezet naar het veel hogere toerental van de generator;
  - Bij sommige windturbines wordt gewerkt met een direct aangedreven ring-generator (bestaande uit een stator en rotor); er is bijgevolg geen tandwielkast;
- Randapparatuur van de windturbine zoals ventilatoren om de gondelruimte te koelen (verwijderen van overtollige warmte opgewekt door de generator), kruimotoren, hydraulische systemen ten behoeve van het pitchen van de wieken, etc.;
- Elektrische installatieonderdelen opgesteld in elektrische kasten (vermogengedeelte en stuurgedeelte);
- De machineonderdelen in de gondel zijn gemonteerd op een stalen frame. Rond dit frame is een gondelbehuizing gemaakt uit glasvezelversterkte kunststof. De vormgeving is afhankelijk van de windturbineleverancier;

In de gondel zijn een aantal toegangen en uitgangen voorzien:

- Toegang vanuit toren (via lift of ladder) naar de gondel (meest gebruikte toegang);
- Takelopening om bepaalde componenten naar beneden te laten;
- De gondel kan bovenaan opengemaakt worden indien grote onderdelen uit de gondel via een externe kraan moeten verwijderd worden;
- Bij sommige types turbines, toegang met helicopter langs het winch platform.

Vanuit de elektrische kasten in de gondel vertrekken vermogen- en stuurkabels die in de windturbinemast zijn opgehangen en naar de voet van de windturbine lopen;

De dimensies van de gondel zijn van de grootteorde:

- Lengte: ca. 15-25 m;
- Breedte/hoogte (in geval van kubusvormige gondel): ca. 12 m/6 m.

De gondel is uitwendig uitgerust met sensoren voor meting van windrichting en windsnelheid.

2.6.1.2.3 Tandwielkast

De meeste windturbines zijn uitgerust met een tandwielkast die de traag draaiende beweging van de rotor omzet naar een hoog toerental geschikt voor het aandrijven van de generator via een flexibele koppeling.

In de tandwielkast bevindt er zich smeerolie:

- Olievolume in de tandwielkast: ca. 750-1000 liter;
- De ontwerpwaarde voor de standtijd van de olie is 5 jaar; d.w.z. dat om de 5 jaar de olie wordt vervangen en afgevoerd naar een erkende verwerker op land;
- De tandwielkast is uitgerust met een oliekoelsysteem (circulatiepomp en koeling). De tandwielkast is uitgerust met diverse sensoren (drukmetingen, olietemperatuurmetingen, temperatuurmetingen in lagers, trillingsmetingen, etc.).

2.6.1.2.4 Elektrisch systeem

Het elektrisch systeem omvat alle componenten die de mechanische energie opgewekt door de rotor omzetten in bruikbare elektrische energie d.w.z. aangepast aan de vereisten van het elektriciteitsnet waarop de energie geïnjecteerd zal worden. Het elektrisch systeem wordt hieronder beknopt beschreven.

- De windturbines uitgerust met een tandwielkast werken met een klassieke generator (bestaande uit statoren in een snel draaiende rotor) die de elektriciteit opwekt op wisselspanning (laagspanning);
- De opgewekte stroom wordt via stroomkabels naar de voet van de windturbine gevoerd;
- Bij een windturbine zonder tandwielkast wordt gelijkspanning opgewekt via gelijkrichters en vervolgens door middel van invertoren omgezet in wisselspanning (laagspanning).

In de voet van elke windturbine of in de gondel bevinden zich de transformatoren (naar verwachting 1 tot 4 per turbine) waarvan de capaciteit is aangepast aan het vermogen van de windturbine.

De transformatoren zijn ofwel van het droge type ofwel oliegekoeld (ca. 1 000 liter olie per transformator; voorzien van inkuiping). De transformatoren in de windturbines transformeren de opgewekte elektriciteit van laagspanning naar het spanningsniveau 33 of 66 kV van de parkkabels.

Elke windturbine is via de parkbekabeling aangesloten op een offshore hoogspanningsstation van het windpark (optie B) of van de Alpha-installatie (optie A) (transformatorplatform); elke turbine is uiteraard uitgerust met de nodige elektrische beveiligingen (netbewaking, synchronisatie-eenheid, lastschakelaars, vermogensschakelaars, aarding, etc.).

2.6.1.2.5 Besturing

Het besturingssysteem van de windturbine dient ervoor te zorgen dat de windturbine op een veilige en efficiënte manier werkt. Het besturingssysteem van elke windturbine heeft volgende functies:

- Het zich richten van de windturbine naar de wind; daarbij wordt de rotor gedraaid naar de wind (yawing of aansturen van de kruimotoren) en worden de wieken in optimale positie geplaatst (pitch-regeling);
- Alle elektrische regelsystemen voor het opwekken van de elektriciteit overeenkomstig de vereiste karakteristieken voor het net;
- Regeling van randapparatuur zoals koeling van de gondel, oliekoeling tandwielkasten (indien aanwezig), koeling van elektrische kasten, etc.;
- Een 'vibratiemonitoringssysteem' CMS (Condition Monitoring System) staat in verbinding met het supervisiesysteem van de windturbineleverancier op land en met een centraal controlecenter. Het rapporteert continu veranderingen in temperaturen, geluid, vibraties, etc.. Specialisten interpreteren de data om eventueel windturbines te kunnen uitschakelen in geval van sterk veranderde vibratiepatronen (in de generator, de tandwielkast, …). Het systeem werkt onafhankelijk van het SCADA systeem.
- Databewakings- en verwerkingssysteem (SCADA-systeem) dat via datakabels in verbinding staat met het supervisiesysteem van de windturbineleverancier op land en met een centraal controlecenter. Volgende signalen worden onder andere doorgegeven naar het supervisiesysteem (niet-limitatieve lijst):
  - Windsnelheid en –richting;
  - Temperaturen (omgeving, gondel, elektrische kasten, etc.);
  - Rotor- en generatorsnelheid;
  - Gegevens opgewekte energie (per fase) (frequentie, spanning, stroomsterkte, etc.);
  - Vermogen;
  - Pitch positie bladen, kruipositie;
  - Trillings- en temperatuurgegevens van bepaalde lagers;
  - Generatortemperatuur (in de wikkelingen);
  - Operation status (manueel of automatisch);
  - Temperatuur, druk, niveau van olie in tandwielkast, hydraulische systemen, etc.;
  - Kabeltorsie;
  - Toestandsgegevens van back-up batterijen;
  - Videogegevens van camera's opgesteld in het windpark;
  - Gegevens van de meteomasten.

2.6.1.2.6 Mast (toren)

De mast is de verbinding tussen de gondel (machinekamer) en de fundering van de windturbine. De mast is een stalen buis opgedeeld in 2 tot 5 segmenten. De toren is voorzien van een inwendige en uitwendige conservering (coating) aangepast voor offshore staalconstructies. De dimensies van de toren van de typevoorbeelden van windturbine zijn:

- Interface level (bovenste stuk van transitiestuk waarop de windturbine wordt geplaatst): ca. 17 m boven LAT;
- Naafhoogte: de naafhoogte (gerekend boven gemiddeld zeeniveau) bedraagt ca. 100 m voor de 6 MW Alstom Haliade turbine; 84 m voor de 3,3 MW Vestas V112; 107 m voor de 8 MW Vestas V164 en ca. 125 m voor de SeaTitan 10 MW turbine;

- Diameter aan de voet: ca. 6 m voor de 6 MW Alstom Haliade windturbine; 5 m voor de 3,3 MW Vestas V112; ca. 6,5 voor de 8 MW Vestas V164 en 8 m voor de 10 MW SeaTitan.

De mast is inwendig voorzien van:

- Een technische dienstlift ten behoeve van onderhoudswerkzaamheden;
- Een ladder met klimgeleiding (mits gebruik van de valbeveiliging);
- Kabelgeleidingen;
- Diverse tussenplatformen.

In het onderste gedeelte van het eerste mastdeel (de voet van de windturbine) bevinden zich de elektrische beveiligingssystemen voor de aansluiting naar het elektrische net. Eventueel zijn ook de transformator(en) opgesteld in de voet van de windturbine. In dit eerste mastdeel bevindt zich de toegangsdeur tot de mast (wat de normale toegang is tot de windturbine) met er rond een toegangsplatform.

2.6.1.2.7 Specifieke ontwikkelingen voor het offshore concept

Bij offshore toepassing van windturbines zijn de volgende zaken specifiek:

- Redundante uitvoering van bepaalde componenten, wat betekent dat de turbine uitgevoerd wordt met meervoudig aanwezige onderdelen. Gezien toegankelijkheid tot de windturbines bemoeilijkt kan worden door weers- en zeeomstandigheden, is het ontwerp van offshore windturbines gericht op het minimaliseren van interventies. Bijgevolg zullen bepaalde componenten redundant uitgevoerd worden, zodat het geheel goed blijft functioneren wanneer een of meer onderdelen defect raken of verloren gaan;
- Corrosiebescherming: gezien de vochtige en zouthoudende omgeving zal de corrosiebescherming van de windturbine specifiek hieraan aangepast zijn;
- Alle in de windturbine aanwezige elektromechanische componenten worden extra beschermd tegen contact met de vochtige en zilte omgeving. De gondel is voorzien van een klimaatregelaar, die de lucht van buitenaf filtert en verwarmt indien nodig. De zilte lucht wordt niet rechtstreeks binnen gelaten in de turbine en luchtvochtigheid wordt op een bepaald peil gehouden;
- Intern kraansysteem in de gondel. Dit kraansysteem zorgt voor een korte responstijd bij problemen waardoor het mogelijk is om zonder hulp van een externe kraan bepaalde onderdelen uit de gondel te hijsen;
- Op zee worden verhoudingsgewijs lagere ashoogtes toegepast voor de windturbines dan op land;
- Zeer sterk doorgedreven en uitgewerkt SCADA-systeem voor maximale controle en interventie vanaf land;
- Uitgekiende planning van het noodzakelijke en het preventieve onderhoud.

2.6.1.2.8 Corrosiebescherming

De stalen mast (toren) die bloot staat aan de buitenomgeving wordt voorzien van meerlagige corrosiebescherming die wordt aangebracht in de werkhuizen van de mastleverancier. Andere metalen onderdelen van de windturbine die bloot staan aan de buitenomgeving zijn de toegangstrap/platform, bevestigingsstructuren van sensoren op de gondel, etc. Deze worden doorgaans uitgevoerd in gegalvaniseerd staal of kunststof. De gondelbehuizing evenals de wieken zijn uitgevoerd in hoogwaardig kunststof en zijn bijgevolg niet onderhevig aan corrosie.

Metaalconstructies binnen in de windturbinetoren en/of gondel worden uitgevoerd in gegalvaniseerd staal, roestvrij staal of aluminium.

De corrosiebescherming zal gekozen worden volgens de actuele voorgeschreven normen DIN en ISO 12944-1 of NORSOK M-501. Volgende corrosiebescherming is een voorbeeld dat binnen deze normering valt:

- Mast van de windturbine + transitiestukken + secundair staal boven de spatwaterzone: categorie C5-M, drie lagen 2-component epoxyhars (bvb. Hemapdur 45703/45753) en één laag 2-component polyurethaan (bvb. Hemapdur 55210/55610);
- Buitenkant van secundair staal in de spatwaterzone: corrosiebeschermingscategorie Im2;
- Buitenkant van secundair staal onder de spatwaterzone zal beschermd worden met een kathodisch corrosiebeschermingssysteem (passieve Al-Zn anodes);
- Binnenkant transitiestuk en mast windturbine: categorie C5-M, twee lagen 2-component epoxyhars (bvb. Hemapdur 17633) en één laag 2-component polyurethaan (bvb. Hemapdur 55210/55610).

In Ecolas (2003) werd berekend dat de vrijstelling van Al uit deze anodes verwaarloosbaar lage concentraties aan Al in het zeewater veroorzaakt. Voor de bescherming van het milieu zal er geen coating gebruikt worden die lood of chromaat bevat.

2.6.1.2.9 Olie- en vetopvang binnen de turbine

Op volgende plaatsen in de windturbine wordt olie en/of vet gebruikt:

- De tandwielkast (in geval er een tandwielkast aanwezig is) met filter- en koelcircuit:
  - De tandwielkast bevat grootteorde 750-1.000 liter olie;
  - De ontwerpwaarde voor de standtijd van deze olie is 5 jaar;
  - Gezien de vereiste lange standtijd van de olie en de belasting wordt hiervoor doorgaans synthetische olie gekozen;
  - Een accidentele lekkage kan voorkomen door lekken van dichtingen of door het accidenteel loskomen van soepele leidingen;
  - Onder de tandwielkast is een lekbak voorzien. Lekken van dichtingen worden hierin opgevangen;
  - In geval van breuk in een soepele leiding kan gedurende korte tijd een bepaalde hoeveelheid olie vrij komen in de gondel (de circulatiepomp zal immers stoppen wanneer een drukval in het circuit gedetecteerd wordt); de vrijgekomen olie wordt opgevangen in de gondelbodem en wordt bij het curatief onderhoud verwijderd;
  - Bij een eventuele lekkage van tandwielkastolie is er bijgevolg geen olie-emissie vanuit de windturbine naar de omgeving.
- Hydraulisch systeem:
  - Ten behoeve van remmen, gondelverplaatsing, etc. wordt dikwijls gebruik gemaakt van hydraulische systemen. Deze bevatten per unit 10 tot 150 liter hydraulische olie of in totaal ongeveer 200-300 liter hydraulische olie;
  - Voor elk hydraulisch systeem is een lekbak voorzien. Lekken van dichtingen worden hierin opgevangen;
  - In geval van breuk in een soepele leiding kan gedurende korte tijd een bepaalde hoeveelheid olie vrij komen in de gondel. De vrijgekomen olie wordt opgevangen in de gondelbodem en wordt bij het curatief onderhoud verwijderd.

  - Bij een eventuele lekkage van een hydraulisch systeem is er bijgevolg geen olie-emissie vanuit de windturbine naar de omgeving.
- Lagers en geleidingen:
  - Lagers van de trage as, kruilagers, bladlagers, etc. worden gecontroleerd gesmeerd d.w.z. dat volgens de specificaties vet geïnjecteerd wordt. De totale hoeveelheid vet aanwezig in de diverse smeersystemen bedraagt circa 200-300 kg;
  - Er zijn lekbakken voorzien voor opvang van eventueel uittredend overtollig vet. Er is bijgevolg geen emissie van smeervetten vanuit de windturbine naar de omgeving.
- Transformatoren:
  - Deze kunnen opgesteld zijn hetzij in de gondel, hetzij in de voet van de windturbine;
  - In de huidige 33 kV configuraties wordt gebruik gemaakt van droge transformatoren. Bij de 66 kV opstellingen vormen oliegekoelde transformatoren een waarschijnlijk alternatief;
  - Indien toch gekozen wordt voor oliegekoelde transformatoren zullen deze worden opgesteld in een aangepaste inkuiping zodat emissie van olie naar de omgeving onmogelijk is.

Er is geen olieopslag in de windturbines. Wanneer olie wordt vervangen van tandwielkasten, of olie/vet uit opvangsystemen moet worden verwijderd, dan wordt dit steeds afgevoerd naar erkende verwerkers.

2.6.1.2.10 Bebakening

Er wordt steeds gewerkt volgens de IALA richtlijnen en volgens mogelijke bijkomende richtlijnen van scheepvaartveiligheid. Om tijdens de bouw en ontmanteling van het windpark de aanwezigheid van offshore structuren voor de scheepvaart te signaliseren wordt voorzien in een signalisatie conform met de aanbevelingen van de IALA Maritime Buoyage System (MBS richtlijnen). Naar verwachting zal de zone ingenomen door het windpark, met inbegrip van een bufferzone van 500 m, voorzien worden als een veiligheidszone verboden voor scheepvaartverkeer (met uitzondering van de vaartuigen vereist voor bouw, onderhoud en monitoring van de installaties). De zone wordt als dusdanig aangeduid op de navigatiekaarten en gemarkeerd met boeien.

Het windpark zal, mede gelet op de meest noordelijke ligging en de nabijheid van het drukke verkeersscheidingsstelsel “Noordhinder Zuid”, voorzien worden van een ‘Automatic Identification System’ (AIS) dat een signaal uitzendt naar alle zeeverkeer. Het signaal bevat de grenzen van het park en andere relevante details. Daarnaast zal het park in overeenstemming met de bepalingen opgelegd door bevoegde instanties, bebakend worden met lichten, misthoorns en radar reflectoren.

De synchronisatie van de diverse signalisatiesystemen wordt verzekerd d.m.v. een door GPS-satellieten gecontroleerd signaal. Daarnaast zullen zowel de bladen, de gondel als de torens gemarkeerd worden met rode banden indien de aanbevelingen van Belgocontrol dit vermelden. Indien blijkt dat de bebakeningsvereisten kunnen verminderd worden, om zo ook de visuele impact van de flitslichten te beperken, kunnen mogelijkheden tot optimalisatie overwogen worden.

Communicatie/informatieverstrekking aan alle betrokken partijen (Scheepvaartpolitie, Bestuur Maritieme Zaken en Scheepvaart, Zeevisserijsector, Marine…) van alle informatie die relevant is m.b.t. de nautische veiligheid van het windenergiepark zal uitgewerkt worden in een communicatieplan.

Verlichting

Het verlichtingsplan wordt in onderling overleg met de bevoegde instanties, waaronder de Maritieme Dienstverlening en Kust, Afdeling Scheepsvaartbegeleiding, bepaald gebaseerd op de IALA aanbevelingen en volgens de richtlijnen betreffende de bebakening van hindernissen voor de luchtvaart van FOD Mobiliteit en Vervoer (Directoraat-generaal Luchtvaart, Circulaire “Bebakening hindernissen” CIR/GDF-03):

- Iedere windturbine op een hoek of iedere windturbine waar de vorm van het windenergiepark verandert (een zogenaamde Significant Peripherical Structure (SPS)) wordt voorzien van een geel flitsende maritieme lantaarn met een zichtbaarheid van minimaal 5 NM (nautical miles) bij een ATF (atmosferische transmissie factor) van 0.74 en een morse code <U> iedere 15 seconden.
- Indien de afstand tussen twee SPS-en die aan dezelfde rand van het windenergiepark liggen groter is dan 2 NM, een tussenliggende windturbine van een geel flitsende maritieme lantaarn zal worden voorzien. Deze maritieme lantaarn heeft een bereik van minimaal 2 NM en een afwijkend karakter t.o.v. de maritieme lantaarn van een SPS.
- De scheepvaart verlichting heeft een minimale beschikbaarheid van 99,0% (IALA category 2).
- De maritieme lantaarns worden op een hoogte tussen 6 m en 15 m boven HAT-zeeniveau, en in ieder geval onder het laagste punt van de rotor, geïnstalleerd en zijn vanaf de buitenzijde van het windenergiepark zichtbaar.
- Alle windturbines worden voorzien van een ´retro reflectief´ materiaal met een gele kleur. Dit materiaal wordt aangebracht vanaf +1 m HAT tot +15 m HAT hoogte, of tot de hoogte van de maritieme lantaarn (indien aanwezig), afhankelijk van welke hoogte het hoogst boven HAT-zeeniveau ligt.
- Iedere windturbine wordt voorzien van een 2000 candela (cd) rood luchtvaart obstructielicht (medium intensiteit, rood flitslicht type B) op de gondel welke onder alle omstandigheden vanuit iedere richting te zien zal zijn. Ook het offshore hoogspanningsstation zal eventueel van hetzelfde licht worden voorzien.
- Het transformatorstation wordt, wat de verlichting betreft, behandeld als integraal onderdeel van het windenergiepark.
- Definitie van een veiligheidsperimeter van minimaal 500 m uit het park met aangepaste boeien; enkel vaartuigen gekoppeld aan de bouw- en/of exploitatie van het park hebben toegang tot deze zone. De bebakening zal reeds voorzien worden tijdens de bouw van het windenergiepark.

Misthoorns en radar reflectoren

- Het windenergiepark wordt van voldoende misthoorns voorzien om een dekking van 2 NM rondom het windenergiepark te garanderen. De misthoorn zal een morse code <U> blazen om de 30 seconden. Het geluidssignaal treedt in werking bij een meteorologische zichtbaarheid van 2 NM of minder, gedetecteerd door een mistdetector geplaatst op elke SPS.
- Alle windturbines aan de buitenrand van het windenergiepark worden voorzien van een radar reflector. Indien de bevoegde autoriteiten hiervan willen afwijken in verband met mogelijk teveel reflectie worden minder turbines van radar reflectoren voorzien, dit in overleg met de betrokken instanties. De reflectoren worden geplaatst op het werkplatform op 17 m LAT.

Specifieke markering tijdens de constructiefase

De markering op de site tijdens constructie is afhankelijk van de fase waarin de werken zich bevinden en zal bepaald worden in nauwe samenwerking met de lokale kustwacht. Tijdens constructie wordt het gebied gemarkeerd volgens de IALA Maritime Buoyage System en zal er een veiligheidsschip standby zijn op site. Van zodra een fundering geïnstalleerd is zal een wit flitslicht geplaatst worden op een tijdelijk platform met herlaadbare batterij. Omdat de fundering de aeronautische obstructiehoogte nog niet bereikt heeft (30 m) is hiervoor nog geen verlichting nodig. Van zodra de structuur meer dan 30 m boven het water uitsteekt dient een rood waarschuwingslicht geïnstalleerd te worden van minstens 50 candela. Geluidssignalen worden geproduceerd door de schepen op site tijdens de constructiewerken.

2.6.1.2.11 Geluid

Geluidsemissie van windturbines wordt gegenereerd door:

- De wrijving van de wieken in de wind (aerodynamisch geluid);
- Elementen in de gondel zoals tandwielkast, generator, ventilatoren, pompen… (mechanisch geluid). De gondel kan inwendig bekleed zijn met geluidsabsorberend materiaal.

Globaal genomen wordt op basis van geluidsemissiemetingen van operationele windturbines een bepaling gedaan van de geluidsbronvermogens (zijnde de som van het aerodynamische en het mechanische geluid). Deze bronvermogens zijn afhankelijk van de windsnelheid. Onderstaande waarden werden bekomen van de leverancier of door opschaling van gekende bronvermogens van kleinere windturbines (SIEMENS SWT-3.6-107 en Vestas windturbine V80-2 MW) (IMDC, 2013e, IMDC, 2012a):

- 6 MW Alstom Haliade: bronvermogen 108,7 dB(A) bij een representatieve windsnelheid;
- 3,3 MW Vestas V112: bronvermogen 104,4 dB(A) bij een representatieve windsnelheid (bij windsnelheid van 8,4 m/s op hubhoogte van 84 m) (bron: Vestas, 2010);
- 8 MW Vestas V164: bronvermogen 107,3 dB(A) bij een representatieve windsnelheid (bij windsnelheid van 8,6 m/s op hubhoogte van 107 m) (bron: Vestas, 2014);
- 10 MW SeaTitan: bronvermogen 110 dB(A) bij een representatieve windsnelheid.

2.6.2 Funderingen

De keuze van het type fundering is nog niet eenduidig vastgelegd en zal afhangen van o.a. de bodemkarakteristieken, waterdieptes en de belastingen uitgeoefend door de bovenbouw (windturbine). Bij de afweging van de verschillende funderingstypes spelen naast civieltechnische en geotechnische ontwerpcondities ook aspecten als fabricage, transport en installatie zeker ook een rol bij de verdere technisch-economische afwegingen. Specifiek voor de Mermaid-zone zal ook de offshore locatie, zo'n 50 km uit zee, meegenomen worden in deze evaluatie. Vandaag is deze afweging – bij gebrek aan voldoend gedetailleerde basis/ontwerpgegevens - nog niet finaal gemaakt. Bijgevolg worden hieronder verschillende funderingswijzen beschreven, namelijk:

- 'Monopile' fundering, met 'suction bucket' principe als alternatief;
- 'Jacket' multipode structuur (tripode of quadruped), met 'suction bucket' principe als alternatief;
- 'Gravity Based Foundation' (GBF) of gravitaire fundering;

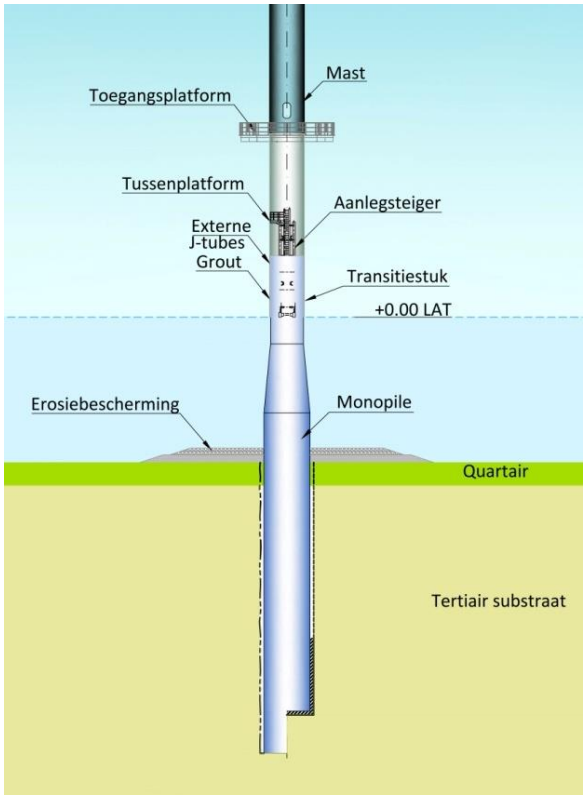
Monopile funderingen werden in het verleden het meest gebruikt voor de bouw van windturbines wegens hun eenvoud in fabricage en installatie. Maar uit de ervaringen van de verschillende projectpartners in vorige windparken (niet enkel op het Belgisch Continentaal Plat) weten we dat monopiles in grote waterdieptes moeilijker haalbaar zijn dan bvb. multipode structuren. Beperkende factor voor monopiles is de diameter die momenteel begrensd wordt door het productieproces en heibaarheid. Tripodes en quadrupeds worden tegenwoordig beschouwd als de meest 'straight forward' en kosteffectieve oplossingen, maar ook de andere types funderingen zullen besproken worden. GBF and suction bucket fundering worden gezien als betrouwbare alternatieven. GBF gedragen structuren zijn, naast de monopiles, het tweede meest voorkomende type. Maar hier is de lokale waterdiepte in de Mermaid-zone zeker een beperkende factor. Bij toenemende waterdiepte moet ook de massa van de GBF toenemen, wat problemen veroorzaakt voor transport en installatie. Het suction bucket principe zal behandeld worden als een optie bij monopile en jacket funderingen.

2.6.2.1 Monopile fundering

Bij een monopile fundering (die al veelvuldig toegepast werd voor 2 – 3,6 MW offshore turbines) wordt elke windturbine op 1 stalen buis gezet die voorafgaandelijk in de zeebodem is geheid (Figuur 2-7) of gedeeltelijk geboord of getrild. Een monopile fundering is eenvoudig in ontwerp en productie, wat berekeningen en uitvoering gemakkelijk maakt. De eenvoudige vorm vereist echter ook een grote diameter. Daardoor ondervindt een monopile grote hydrodynamische krachten die de structuur veel meer beïnvloeden dan bvb. een multipode bestaande uit verschillende kleinere buizen. De flexibele monopile ondervindt veel ombuiging en vibraties, vooral in dieper water en bij een zwaardere bovenbouw van de windturbine. Hierbij wordt niet alleen de diameter van de monopile maar ook de wanddikte van de monopile verzwaard, wat uiteindelijk leidt tot vrij zware gewichten en navenante moeilijke handling en installatie.

Dit funderingstype kan ingezet worden bij de basisconfiguratie en configuratie 1. In geval van configuratie 2 en 3 is de WTG te zwaar en is een monopile niet langer haalbaar (IMDC-Technum, 2013).

- Paaldiameter: 6,2-7,5 m voor een 6 MW Alstom Haliade windturbine (basisconfiguratie) en 5,0-6,0 m een Vestas V112 3,3 MW (configuratie 1);
- Indicatieve inheidiepte: 35 m voor een 6 MW Alstom Haliade windturbine (basisconfiguratie); en 33 m voor een Vestas V112 3,3 MW (configuratie 1);
- Het inheien/boren gebeurt van op een jack-up vaartuig of installatievaartuig met verlengbare 'benen' dat het vaartuig in staat stelt zich op de zeebodem vast te zetten en op die manier een stabiel werkplatform te bieden van waaruit de werkzaamheden kunnen worden uitgevoerd. De buispalen worden in de zeebodem geheid met behulp van een hydraulische hamer en een trilblok.



Figuur 2-7 Illustratie monopile fundering (bron: Technum-IMDC)

Eens de monopile voldoende diep geheid of getrild is, volgt de installatie van het transitiestuk (een passtuk met bootaanlandingsinfrastructuur) dat de basis vormt waarop de windturbine zal staan. Dit transitiestuk kan een eventuele scheefstand van de monopile, ten gevolge van heiwerk en grondeigenschappen, nog gedeeltelijk corrigeren.

De bovenzijde van het transitiestuk bestaat uit de flens waarop de windturbinemast geplaatst wordt. Het transitiestuk is uitgerust met een bordes, op een hoogte waar een veilig gebruik bij alle zeecondities mogelijk is. De ruimte tussen de monopile en het transitiestuk wordt opgevuld met een specifieke betonspecie (Eng.: grout), die voor de verbinding en de krachtoverdracht tussen bovenbouw en fundering zorgt.

Deze verbinding vormt een zwak punt in het monopile concept. Alle krachten en het gewicht van de windturbine komen via deze verbinding op de fundering terecht. Na verloop van tijd kan de betonspecie verbrokkelen door de bewegingen en vibratie van de toren onder invloed van wind en golven. Om dit te voorkomen worden twee concepten van groutconnectie overwogen: concentrische connectie met shear keys (stalen uitstulpsels op zowel de monopile als de binnenkant van het transitiestuk, zie § 2.7.3.2.1), of een conische vorm van zowel monopile als transitiestuk zonder shear keys (DNV, 2010, 2011).

Naast een gepaste grout-verbinding (zie suggesties hierboven) wordt vandaag ook al een geboute flensverbinding ontworpen als een volwaardig alternatief voor de verbinding tussen monopile en transitiestuk. Meer zelfs, er bestaan reeds ontwerpen waarbij monopile en de mast van de windturbine rechtstreeks via een flensverbinding aan elkaar gebout worden.

Een alternatief voor het inheien of intrillen van de monopile is het gebruik van het ‘suction bucket’ principe, waarbij de voorziene stalen buis van de monopile niet geheid wordt maar

door middel van aangepaste onderdruk in de bodem wordt ‘gezogen’. Dit principe wordt verder uitgebreid beschreven (§ 2.6.2.4).

Ook geheel/gedeeltelijk geboorde monopiles worden vandaag uitgevoerd op locatie waar de lokale bodemgesteldheid noopt tot deze invulling.

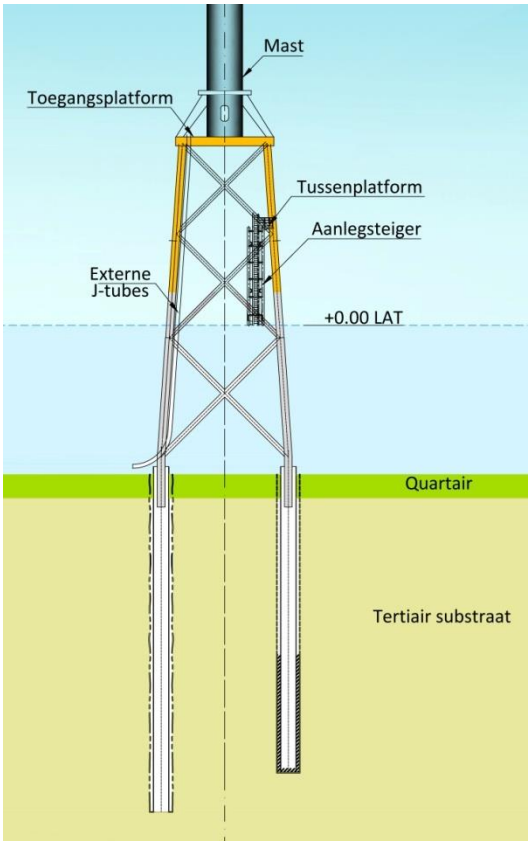
2.6.2.2 Multipode fundering (Jacket)

Een variante op de monopile fundering is de multipode fundering; deze kan worden toegepast indien één monopile niet volstaat om de krachten uitgeoefend op de fundering op te vangen. In dat geval worden meerdere (kleinere) monopiles voorafgaandelijk in de zeebodem geheid of getrild waarop dan een vakwerkstructuur met aangepast transitiestuk gezet wordt waarop de windturbine geplaatst wordt. Indien gekozen wordt voor het multipode funderingstype voor de installatie van windturbines, wordt doorgaans gebruik gemaakt van de quadruped jacket, waarbij de vakwerkstructuur steunt op vier poten (Figuur 2-8). De beschrijving van de milieueffecten zal gebeuren op basis van de jacket fundering, gezien dit het meest frequent gebruikte multipode funderingstype bij offshore windturbines is.

Dit funderingstype wordt beschreven voor alle configuraties:

- Paaldiameter: 1,5-2,25 m voor een 6 MW Alstom Haliade (basisconfiguratie) en een 8 MW Vestas V164 (configuratie 2); 1,3-1,8 m voor een Vestas V112 3,3 MW windturbine (configuratie 1); 1,5-2,5 m voor een 10 MW SeaTitan turbine met 190 m rotordiameter (configuratie 3);
- Indicatieve inheidiepte in de zeebodem: 20-64 m voor alle configuraties;
- Pre-pile installatie: de funderingspalen worden eerst in de bodem geheid of getrild doorheen een mal (nivellering van de zeebodem op voorhand is mogelijk nodig in een deel van de voorziene locaties). De vakwerkstructuur (die volledig is voorgemonteerd en uitgerust is met het transitiestuk) wordt nadien op de 4 palen vastgezet;

De uitvoeringswijze voor de kleine palen is verder volledig gelijkaardig aan deze voor de monopile. Gelet op het feit dat de paaldiameter kleiner en minder zwaar is, wordt niet alleen het heien aanzienlijk makkelijker maar vereenvoudigt ook de fabricage, het transport en de installatie van dergelijke funderingspalen. Ook hier kan het suction bucket principe als alternatief voor het inheien of intrillen gebruikt worden (§ 2.6.2.4).



Figuur 2-8 Illustratie jacket fundering (bron: Technum-IMDC)

2.6.2.3 Gravitaire fundering

Bij de gravitaire fundering (of GBF) wordt op de zeebodem een betonnen constructie neergezet met ingebouwd aanzetstuk voor de windturbinemast. De stabiliteit van deze funderingswijze wordt verzekerd door het gewicht van de constructie. Er bestaan verschillende types gravitaire funderingen: bvb. holle lange kegelvormige funderingen die na plaatsing opgevuld worden, zoals gebruikt op het BDNZ (C-Power) (Figuur 2-9), een kort type met ballastkamers aan de basis die eveneens na plaatsing worden opgevuld (Karehman, Zweden) (Figuur 2-10) en types die als geheel (volledig samengesteld op land: inclusief toren, rotor en wieken) offshore kunnen getransporteerd worden met een speciaal ontworpen Transport en Installatie Barge (bvb. ontwerp van Ramboll, Freyssinet en BMT Nigel Gee).

In Karehman, in de Baltische Zee werden de lichtere types gebruikt voor de V112 3 MW turbines. Echter de waterdiepte is daar op 4-7 km van de kust slechts 6-20 m en sterke getijdenstroming komt er niet voor. Voor toepassingen 50 km offshore op het BDNZ met waterdieptes rond 34 m zou het design ervan sterk aangepast moeten worden. Het GBF-prefrabicatie systeem zal evenmin geschikt zijn voor het te ver offshore gelegen Mermaid projectgebied.

Enkel het eerste type fundering wordt beschreven in dit MER en is toepasbaar voor de basisconfiguratie en configuraties 2 en 3.

De gravitaire fundering wordt principieel geprefabriceerd aan land. Vervolgens wordt de ‘lege’ fundering via een ponton naar het windpark gebracht en afgezonken op de geprepareerde zeebodem, om vervolgens met zand of grind verzwaard en gestabiliseerd te worden. De

gravitaire fundering kan zo ontworpen worden dat ze drijft en zodoende naar de locatie gesleept kan worden. Dit reduceert de kosten voor zware liftschepen.

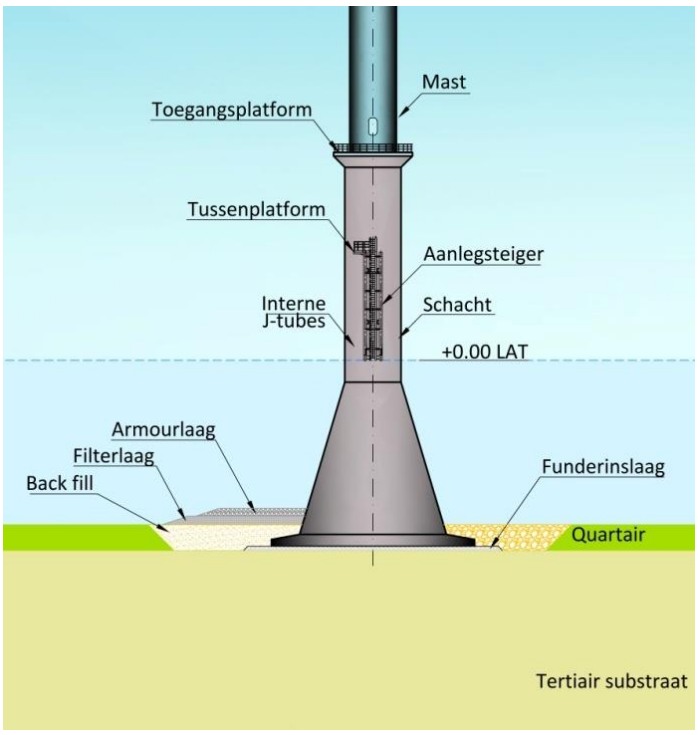
Om de draagkracht van de zeebodem ter hoogte van de opstellingsplaats van de gravitaire fundering te verhogen zijn er volgende mogelijkheden:

- Grondverbetering/verdichting van de zeebodem ter hoogte van de gravitaire fundering door compacteren en/of injecties;
- Verwijderen (wegbaggeren) van de toplaag van de zeebodem en aanbrengen van een stabiele en vlakke laag zand/grind.
- Tegenwoordig worden ook alternatieven onderzocht om de gravitaire fundering rechtstreeks op de erosiebescherming te zetten, zonder voorbereiding van de opstellingsplaats.

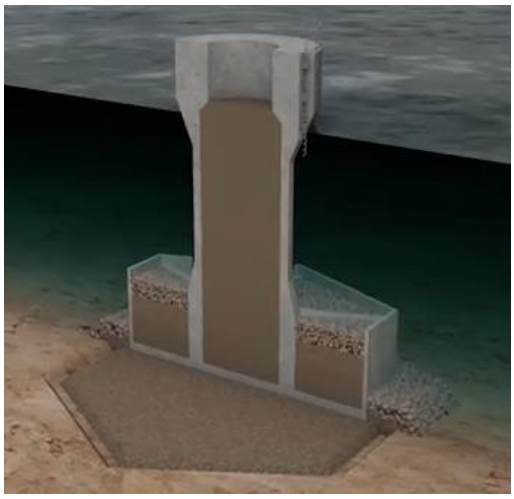
De tweede optie, met wegbaggeren van de toplaag, zal de zwaarste milieu-impact hebben en zal in onderhevig MER besproken worden.

Na installatie wordt een erosiebescherming aangebracht rond de structuur om bodemerosie te vermijden, zogenaamde ‘scour protection’.

Een voordeel van een gravitaire fundering is dat de betonnen constructie tot 100 jaar kan meegaan zonder veel onderhoud. Een bijkomend voordeel is dat bij gravitaire funderingen er geen aangroeiwerende verf gebruikt wordt.



Figuur 2-9 Illustratie gravitaire fundering (bron: Technum-IMDC)



Figuur 2-10 Dwarsdoorsnede doorheen een Karehamn gravitaire fundering

2.6.2.4 Suction bucket principe

Het ‘suction bucket’ principe is een nieuw funderingsconcept. Dit type fundering kan gezien worden als een alternatieve uitvoeringswijze bij monopile of jacket structuren. Momenteel is het als prototype geïnstalleerd in Frederikshavn in Denemarken voor een 3 MW Vestas WTG en in het Horns Rev 2 Offshore wind park in de Noordzee (Le Blanc Bakmar, 2009). Op de Doggerbank (125 km van de Britse kust) zijn dit jaar de eerste twee commerciële suction bucket funderingen geplaatst als basis voor meteomasten (Carbontrust website, 2013). Deze techniek werd ook gebruikt voor de funderingen van het OHVS van het windpark Global Tech 1. Tot op vandaag zijn er echter nog geen toepassingen van deze techniek voor effectieve windturbines (en hun sterk dynamische belastingen) geïmplementeerd.

Het wordt gezien als een veelbelovend concept omwille van zijn lichte constructie en betaalbare prijs in verhouding tot de relatief grote water diepte (40 m, Ibsen et al., 2005) waarop het gebruikt kan worden. Bovendien is het concept milieuvriendelijk wegens zijn stille plaatsing (er is geen hamer nodig) en omkeerbare installatie. Uit een 3D numerieke modellering bleek dat de structuur van een suction bucket stijver is dan een monopile onder gemiddelde belasting (Abdel-Rahman & Achmus, 2006). Onder zwaardere belasting, zoals te verwachten in grotere waterdieptes, nemen de vervormingen sterk toe en worden deze zelfs groter dan bij monopile funderingen. Suction buckets zouden dus eerder bruikbaar zijn op gemiddelde water dieptes (Abdel-Rahman & Achmus, 2006). Mogelijke andere nadelen zijn dat de fabricage van de structuur complexer is, dat de fundering enkel gebruikt kan worden in bepaalde bodemtypes, dat om de bucket drijvend naar site te transporteren een voldoende diepe haven nodig is en dat de installatie zelf meer ‘high-tech’ is dan bij een monopile, waardoor er makkelijker iets fout kan gaan.

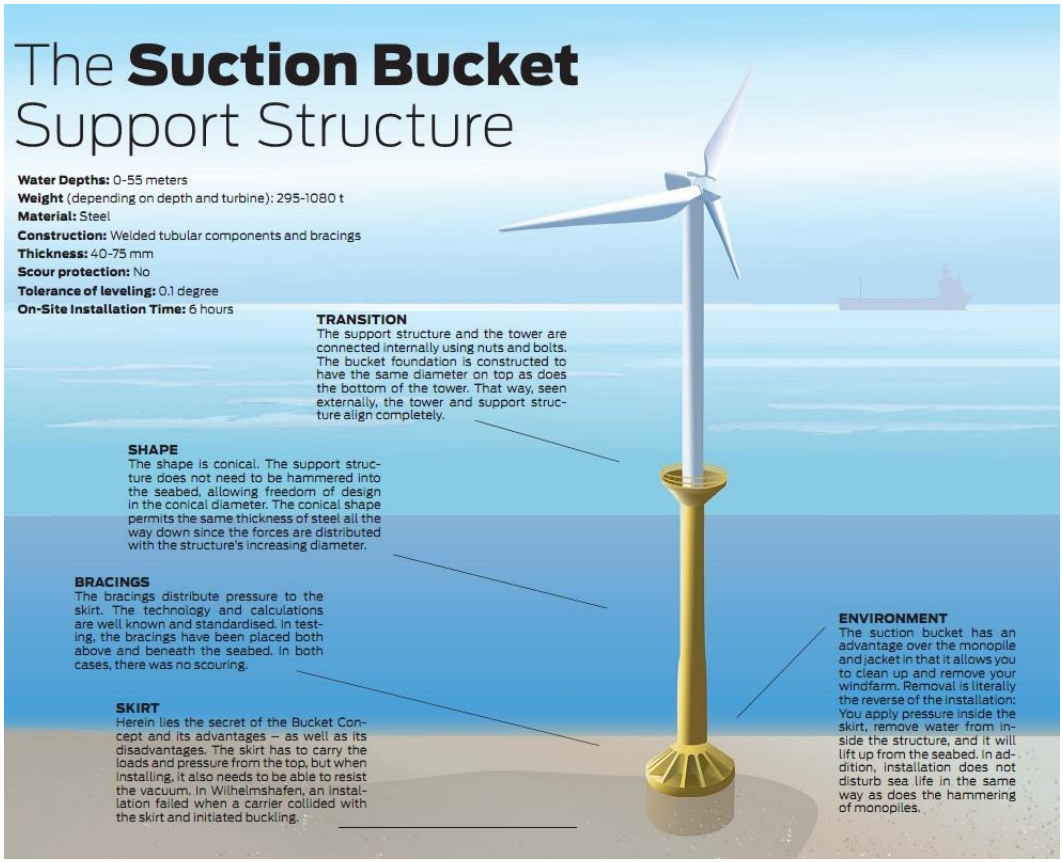
Momenteel wordt vooral gekeken naar installatiemogelijkheden in gelaagde en kleihoudende ondergrond, wordt mogelijke ‘scouring’ gemonitord rond de prototypes (Le Blanc Bakmar, 2009) en worden fysische (Kejin, 2012, Lu et al., 2012, Margheritini & Nezhentseva, 2012) en numerieke modellen opgezet voor het bestuderen van o.a. het gedrag van de suction bucket onder cyclische laterale druk (Foglia et al., 2012), het mogelijk wankelen van de structuren door onvolmaaktheden in de geometrie (Madson et al., 2012), het vermogen om de structuur opnieuw te verwijderen (Patel & Singh, 2012) en consolidatie na installatie (Ulvestad, 2012), terwijl Vaitkunaite et al. (2012) een vergelijking maken tussen verschillende numerieke

modellen. Monitoringsresultaten van reële situaties en impactanalyses vormen echter een duidelijke leemte in de kennis.

In praktijk bestaat de structuur uit, van bodem tot top, een fundering, i.e. een brede cilinder met een gesloten top en geen bodem (Figuur 2-11). De wand van de cilinder heet de 'rok' ('skirt'), de diameter van de cilinder kan tot 15-20 m breed zijn. Grote steunen ('bracings') verbinden de top van de cilinder ('lid') met de schacht ('shaft') (Figuur 2-12). De toren is een conische buis die boven het wateroppervlak eindigt in een flens (opstaande rand). De diameter van de toren komt hier overeen met de diameter van de te installeren turbine toren. De aanhechting gebeurt met schroeven en bouten.



Figuur 2-11 Voorbeeld van een suction bucket fundering (bron: Le Blanc Bakmar, 2009)



Figuur 2-12 Het principe van de 'suction bucket' fundering (bron: http://www.lorc.dk/Knowledge/Wind/Support-structures/The-suction-bucket-monotower)

De installatie van dit type fundering is gebaseerd op 'zuiging'. De draagstructuur wordt in de bodem geplant door middel van een vacuüm. Dit heeft als voordeel dat de installatietijd sterk verkort wordt. Verder kan nagenoeg elk schip het zuigproces uitvoeren en wordt de draagstructuur niet geschonden door te hameren zoals bij de standaard monopile en jacket funderingen wel het geval is.

Door de druk te verminderen in de ruimte tussen de rok en de zeebodem wordt een stroming gecreëerd die de effectieve druk en penetratieweerstand verminderd (Ibsen et al., 2005). De rok wordt bovendien voorzien van buizen en pompen waarlangs overtollig grondwater continu afgevoerd wordt wanneer de draagstructuur in de ondergrond dringt. De spoeling ondersteunt de zuigkracht. Bovendien kan via de buizen de draagstructuur gestuurd worden wanneer die in de ondergrond dringt. De installatie gebeurt met een snelheid van 2 meter per uur, en met behulp van de buizen kan een maximale inclinatie van 0,1° bekomen worden ten opzichte van de verticale.

De pompen dienen daarna verwijderd te worden met behulp van tevoren geplaatste takels. Behoudens een uitgebreide meetcontrole bij plaatsing en een visuele controle door middel van een ROV zijn duikers niet vereist.

Tijdens de laatste fase van de installatie kan een kleine hoeveelheid sediment (10-20 m^3) uit de rok gezogen worden om volledig contact tussen zeebodem en rokbovenkant te verzekeren. Het materiaal is vloeibaar gemaakt in zeewater in verhouding 1/4. De suspensie wordt in de

waterkolom vrijgelaten nabij de zeebodem. Het materiaal is gelijkaardig aan wat tijdens natuurlijke golf- en getijstroming wordt bewogen.

De suction bucket mono-toren kan ook eenvoudig opnieuw verwijderd worden. Onder druk wordt de gehele draagstructuur dan van de bodem gelicht. Dit gebeurt ook wanneer tijdens de installatie bvb. grote stenen de weg versperren. Het vacuüm wordt in druk veranderd waardoor de toren opgetild kan worden en verplaatst om verderop een nieuwe poging te ondernomen. De spoeling- en zuigmethodologie beperkt de toepasbaarheid van het suction bucket principe tot bepaalde bodemtypes. Het kan enkel uitgevoerd worden in losse sedimenten waar geen rotsen voorkomen.

Eens geïnstalleerd werkt de fundering als een GBF: de bodem gevangen in de stalen 'bucket' werkt als gewicht. Berekeningen en testen tonen aan dat het gevangen sediment binnenin de rok zich gedraagt als een massief blok.

2.6.3 Erosiebescherming

Om erosie lokaal rond de windturbinefundering (en bijgevolg een gereduceerde stabiliteit van de installatie) tegen te gaan kan rond een fundering een erosiebescherming aangebracht worden.

In voorliggend MER wordt geopteerd om rond alle funderingstypes steeds een erosiebescherming aan te leggen.

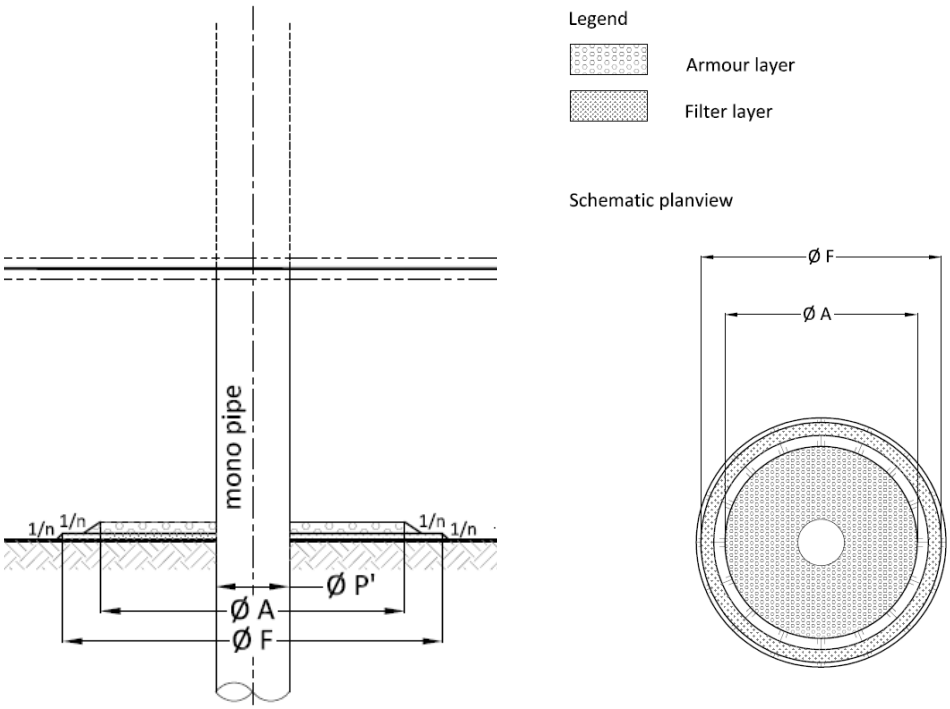
Bij gebruik van het suction bucket principe, wordt de grotere diameter van de rok die in de bodem wordt geplaatst, ter hoogte van de zeebodem gereduceerd naar monopile dimensies van de schacht. Het overgangselement ("lid") vangt een stuk de potentiële erosieaanzet op, maar dat neemt niet weg dat er rond deze constructie ook een zelfde type erosiebescherming dient te worden voorzien als bij een standaard monopile fundering. Indien het suction bucket principe gebruikt wordt bij jacket, wordt de grotere diameter van de rok ter hoogte van de zeebodem gereduceerd naar jacket paaldimensies. Ook hier is een erosiebescherming nodig gelijkaardig aan deze overwogen voor een standaard jacketfundering.

2.6.3.1 Bij monopile

Voor de monopile fundering zijn twee types erosiebescherming mogelijk: statische of dynamische erosiebescherming.

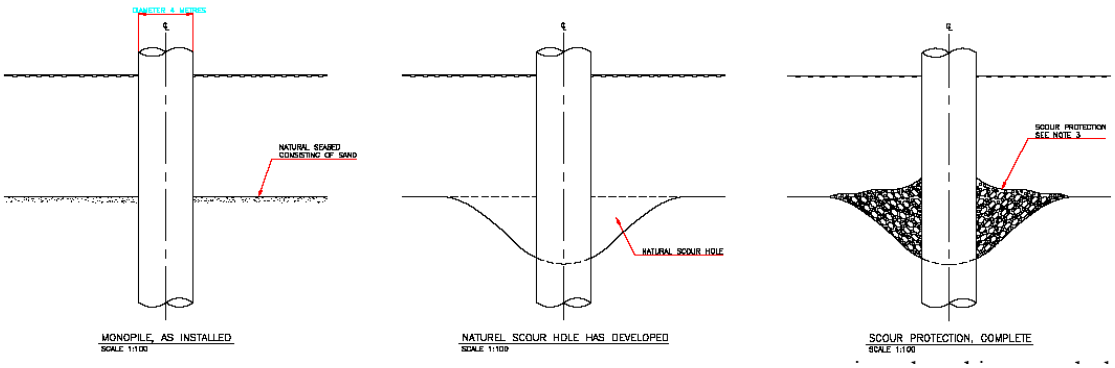
Indien gekozen wordt voor de **statische erosiebescherming**, dient de windturbinelocatie vóór plaatsing van de fundering vlak gebaggerd te worden (een vlak van 30 m x 60 m, 2-4 m diep, aanname in 50% van de funderingslocaties). De filterlaag is een onderlaag van kleinere stenen (grind met kaliber Dn50 = 50 mm) met een dikte van ca. 100 cm. De diameter van de erosiebescherming bedraagt ca. 5 keer de paaldiameter.

Na aanleg van de filterlaag kan de monopile fundering geplaatst worden. Kort nadien volgt de afwerking van de erosiebescherming, namelijk door aanleg van een laag stenen met voldoende hydraulische stabiliteit, i.e. een armour layer of een toplaag van breukstenen (kaliber van 15 tot 300 kg; Dn50 = 540 mm). De amour layer heeft een dikte van ca. 100 cm. De grootste stenen worden voorzien voor de ondiepste locaties.



Figuur 2-13 Illustratie statische erosiebescherming (IMDC, 2010c)

Indien gekozen wordt voor de **dynamische erosiebescherming**, wordt de windturbinelocatie vooraf niet genivelleerd. De monopile fundering wordt zonder voorbereiding van de zeebodem geplaatst en na installatie van de fundering wordt de vorming van een erosieput rondom de paal toegestaan (Figuur 2-14). Deze put wordt vervolgens geheel of gedeeltelijk opgevuld met breukstenen, waarbij eerst een filter laag wordt geplaatst en vervolgens wordt afgestort met een toplaag.



Figuur 2-14 Illustratie dynamische erosiebescherming (bij deze illustratie zonder filterlaag) (Hansen and Gislason, 2002 in: Technum-IMDC, 2009).

2.6.3.2 Bij jacket

De jacket fundering wordt zonder voorbereiding van de zeebodem geplaatst en na installatie van de fundering wordt de vorming van erosieputten rondom de vier palen toegestaan (Figuur 2-14). Deze putten worden vervolgens geheel of gedeeltelijk opgevuld met breukstenen, waarbij eerst een filter laag wordt geplaatst en vervolgens wordt afgestort met een toplaag. Men bekomt aldus een dynamische erosiebescherming. De afmetingen van de statische erosiebescherming worden op basis van de vandaag gekende ontwerpregels en preliminaire waarnemingen op het terrein vandaag maximaal ingeschat op twee keer de footprint van de jacketfundering aan de zeebodem (vierkant).

2.6.3.3 Bij GBF

Bij een GBF wordt principieel een statische erosiebescherming aangebracht.

- In eerste instantie wordt de put die is uitgebaggerd terug aangevuld met uitgebaggerd zand (backfill);
- Daarboven wordt een specifieke erosiebeschermingsfilter aangebracht in verschillende lagen:
  - Filter layer met grind: laagdikte ca. 60 cm; kaliber 2-120 mm; oppervlakte is ongeveer 5 m in diameter meer dan de armour layer.
  - Armour layer: steenbestorting met breuksteen: laagdikte ca. 70 cm; mengsel van 5-200 kg; oppervlakte is plaatsafhankelijk ca. 2,5-3 keer de GBF doorsnede.

2.6.4 Windmeetmast of meteomast

Het windklimaat is een cruciale maar oncontroleerbare factor voor de energieopbrengst van een windpark en voor het integreren van een voorspellingssysteem voor de productie van windenergie. Een optimale kennis van het lokaal windklimaat is van groot belang. Een meteorologische meetmast zal toelaten de opbrengst van het windpark nauwgezet op te volgen en de totale energieproductie van het windpark en het klassieke productiepark optimaal te plannen (verificatie van de powercurve). Deze mast dient op minimum 2 rotordiameters van de windturbines geplaatst te worden om een te grote vertekening van de metingen te vermijden. Een mogelijke inplantingsplaats is bovenop een offshore hoogspanningsstation of transformatorplatform (§ 2.6.5).

De meteomasten zijn als volgt opgebouwd en omvatten:

- Een metalen mast waar op verschillende hoogtes diverse sensoren zijn aangebracht voor meting van windsnelheid, windrichting, luchtdruk, temperatuur, luchtvochtigheid, etc. De meteomast hoogte zal gekozen worden in functie van de masthoogte van de windturbines en zal normaliter ca. 150 m bedragen;
- De stroomvoorziening gebeurt door zonnepanelen of met kabel van het hoogspanningsstation;
- De gemeten informatie wordt verwerkt via dataloggers en doorgestuurd naar het parksupervisiesysteem.

2.6.5 Offshore hoogspanningsstation (OHVS of transformator-platform)

Er worden twee opties overwogen voor de aansluiting van de turbines op een offshore hoogspanningsstation. Eén optie is de aansluiting op een standaard hoogspanningsstation (Offshore High Voltage Station of OHVS) binnen het concessiegebied (optie B). De tweede optie is de rechtstreekse aansluiting op het eerder reeds besproken nabijgelegen offshore transformatorplatform op de Alpha-installatie als onderdeel van het BOG-project (Elia Asset N.V.). Hierbij kan in principe de verbinding rechtstreeks met de windturbines in het park gemaakt worden (optie A). De eerste optie wordt hieronder als basis oplossing toegelicht. De tweede optie wordt als alternatief uitgebreid besproken in hoofdstuk 4. In functie van de actuele ontwikkelingsstrategie van Elia, als netwerkbeheer recent nu ook met offshore bevoegdheden (elektriciteitswet 05/01/2012), zal de meest geschikte aansluitingsoptie in een later ontwikkelingsstadium finaal worden vastgelegd – in nauw overleg met alle betrokken partijen. Naast optie A en B, is hier ook het zogenaamde fall-back scenario (optie C) nog expliciet meegenomen in de MER-studie.

De door het windpark geproduceerde energie wordt ter hoogte van een offshore hoogspanningsstation verder getransformeerd van 33 kV of 66 kV naar 150-220-380 kV (50 Hz wisselspanning) zodat op een economisch haalbare wijze de energie direct in het onshore Elia transmissienet geïnjecteerd kan worden. Er wordt in het voorontwerp maximaal één offshore hoogspanningsstation voorzien dat de volledig geïnstalleerde energie (van ca. 228-304 MW) kan ontvangen conform alle veiligheidsregulaties.

Het hoogspanningsstation bevat onder andere de volgende elektrische componenten (opgesteld in een omsloten gebouw):

- 36 of 66 kV middenspanning schakel- en verdeeltoestel van het GIS- type (gas-insulated switchgear),
- 175-250-420 kV hoogspanning schakel- en verdeeltoestel van het GIS- type (gas-insulated switchgear),
- Hoofdtransformator(en)
- Stroomvoorziening voor telecommunicatie, noodvoedingen, SCADA, etc.
- Utiliteitsvoorzieningen zoals beveiligingssystemen, (nood)verblijf voor technici, brandbestrijdingssysteem, mogelijke landingsplaats voor helikopter, controleruimte, etc.
- Communicatievoorzieningen
- Platform hulpsystemen
- Hulptransformatoren
- Dieselgenerator die in staat is om de transformatorpost en eventueel de windturbines van voldoende vermogen te voorzien voor alle essentiële functies: klimaatregeling, controle- en veiligheidssystemen, bebakening, voeding hulpsystemen (bv. de kruimotoren)
- Gelijkstroom (DC) gelijkrichter inclusief distributie
- Batterijen – Uninterruptible Power Supply – Low Voltage switchgear
- Hoogspanning en middenspanning kabelbundels

Voor het finale ontwerp van het hoogspanningsstation zal rekening gehouden worden met:

- Het aantal te verbinden park- en verbindings/exportkabels;
- Het aantal benodigde J-tubes op fundering niveau voor deze verbindingen;

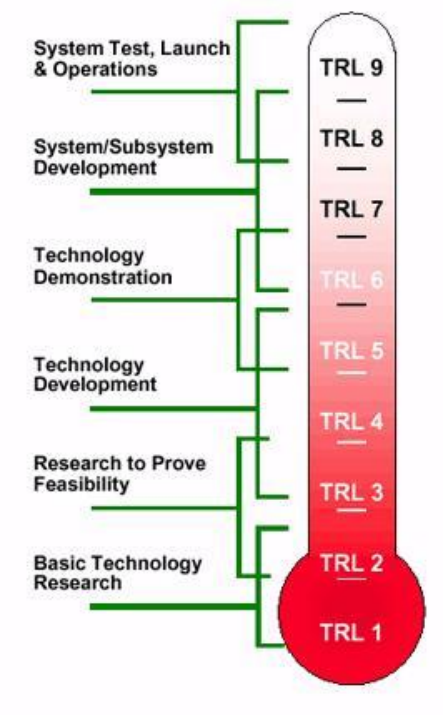
- De te installeren elektrische apparatuur (voor verbinding, collectie, transformatie, veiligheid,…);
- Gepaste lay-out van het modulaire systeem (compartimenten) om een optimaal en veilig energietransport te garanderen;
- Offshore toegang tot het platform voor onderhoud en reparaties;
- De installatie van een windmeetmast op het OHVS.

De fundering van het hoogspanningsstation zal gelijkaardig zijn als deze van de windturbines. De te dragen massa en de lokale waterdiepte zullen de grootte en het design van de fundering bepalen.

2.6.6 Golfenergieconvertoren (WEC's)

De technologie om blauwe energie (= hernieuwbare energie uit de zee en waaronder golfenergie kan gerekend worden) om te zetten naar elektrische energie is vandaag in volle evolutie en de ontwerpen bevinden zich in de onderzoeks-, ontwikkelings- en prototypefase. Er zijn op dit moment nog geen toestellen op commerciële schaal beschikbaar. Op basis van het werkingsprincipe kunnen golfenergie convertoren als volgt onderverdeeld worden namelijk de 'point absorber', de 'attenuator' (lange drijvende structuur), oscillerende en schommelende golfenergie convertoren (oscillating wave surge) en overtopbare golfenergie.

De status van ontwikkeling voor deze verschillende systemen wordt internationaal aangeduid met een zogenaamde TRL-indicatie, Technology Readiness Level (Figuur 2-15). Meestal is een technologie die voor het eerst wordt uitgewerkt immers nog niet geschikt voor een directe applicatie. Eens een technologie voldoende is bewezen, kan het geïntegreerd worden in een systeem/subsysteem. Vandaag zijn alle beschouwde WEC-systemen nog volop in ontwikkeling: de graad van ontwikkeling is voor de verschillende voorgestelde typevoorbeelden vandaag op niveau 7-9 (System development, open water full scale tests). Enkel de Weptos wordt nog getest in een beschermde omgeving (niveau 6).



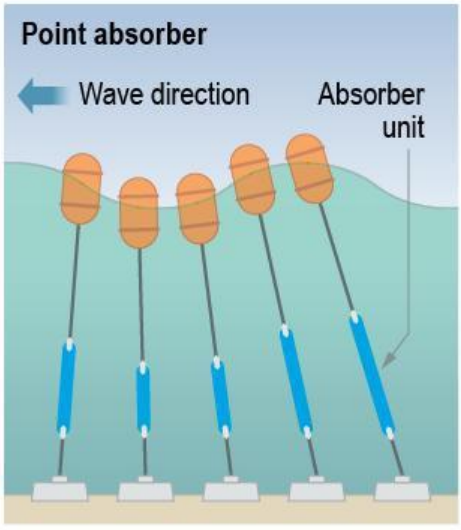
Figuur 2-15 De verschillende stappen in de ontwikkeling van een nieuwe technologie in NASA's Technology Readiness Levels

Voor de productie van elektrische energie uit golven is in het Mermaid-project nog geen definitieve keuze gemaakt naar de in te zetten golfenergieconvertoren (WEC's). In een verkennende haalbaarheidsanalyse werden wel zes basistypes naar voor geschoven als meest haalbaar voor een applicatie op het BDNZ.

2.6.6.1 Werkingsprincipe

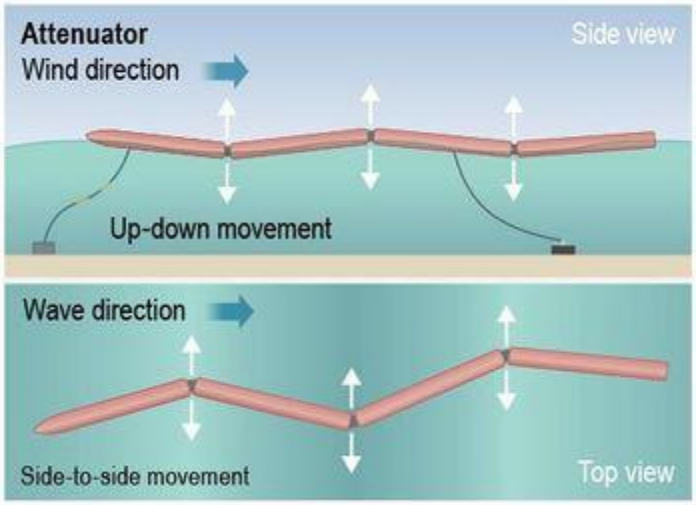
Er zijn verschillende technieken bedacht om de energie uit golven om te zetten naar elektriciteit. Sommige van deze technieken zijn reeds operationeel, maar de meerderheid vertoeft nog in het ontwerpstadium. Men kan de WEC's op verschillende manieren indelen naargelang het werkingsprincipe, de locatie ten opzichte van de kust (offshore, nearshore en kustgebonden) en hun oriëntatie ten opzichte van het invallend golffront.

Point absorber: dit is als het ware een complexe boei die de golfbeweging volgt, waarbij de beweging van deze boei ten opzichte van de zeebodem als een vast referentiepunt toelaat elektriciteit te produceren. Een generator kan worden gemonteerd op of in de boei. Verder bevindt zich in de boei een speciale lier waarop een kabel wordt gewonden. De andere zijde van de kabel is verankerd in de bodem. Wanneer nu een golftop passeert, wordt de boei naar omhoog getrokken. De kabel wordt daarbij afgerold, maar mits het overwinnen van enige weerstand van de generator: dit gaat gepaard met het absorberen van golfenergie.



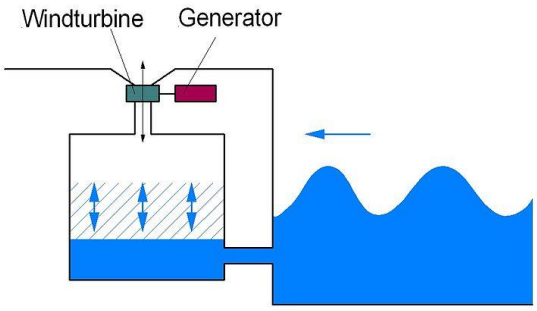
Figuur 2-16 Principe van een single point absorber (bron: http://en.openei.org/wiki/Marine_and_Hydrokinetic_Technology_Database)

Naast deze losse boeien ("single point absorber") bestaan er eveneens "multiple point absorbers" waarbij ofwel meerdere boeien als een soort slang aan elkaar gekoppeld zijn parallel met de golfrichting ("attenuators", Figuur 2-17) ofwel de vlotters in een lijn staan loodrecht op de golfrichting ("terminators").



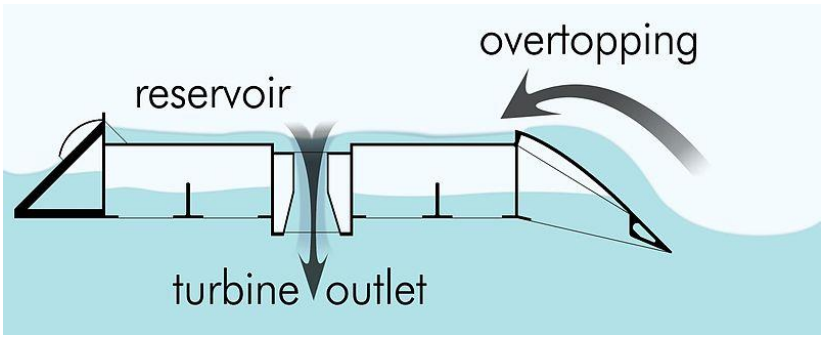
Figuur 2-17 Principe van een attenuator (bron: http://en.openei.org/wiki/Marine_and_Hydrokinetic_Technology_Database)

Oscillerende waterkolom: deze methode maakt gebruik van een oscillerende luchtkolom waarbij het wisselende waterniveau in een vaste klok die met de rand onder water hangt luchtstromingen opwekt die een turbine aandrijven die op de luchtbeweging draait. Er bestaan zowel modellen die rechtstreeks verbonden zijn met de kust als modellen die offshore kunnen ingezet worden.



Figuur 2-18 Principe van een oscillerende waterkolom

Overtoppingssystemen: deze systemen maken gebruik van de potentiële energie in de golven. Zeewater wordt opgevangen in een verhoogd reservoir en via lagedrukturbines terug in zee geloosd. Ook deze techniek kan zowel aan de kust als offshore gebruikt worden.



Figuur 2-19 Principe van een overtoppingsysteem

2.6.6.2 Potentiële WEC-types voor het BDNZ

In kader van dit MER worden vandaag, op basis van de beschikbare gegevens en kennis terzake, enkele mogelijke typevoorbeelden geselecteerd als meest haalbaar op het BDNZ die zouden kunnen worden ingezet in het Mermaid park. Deze typevoorbeelden zijn compatibel met de locatie van Mermaid, het golfmilieu in het BDNZ en zijn gebaseerd op de vandaag best beschikbare technologieën. Bovendien werd er getracht om de typevoorbeelden zo te selecteren dat ze qua te verwachten milieu-impact de worst case scenario's omvatten. Gezien de huidige onduidelijkheid over het finaal ingezette type van WEC's, kan op deze manier worden verzekerd dat bij het bespreken van de milieueffecten steeds het worst case scenario is inbegrepen (MER-omhullende). In de volgende paragrafen worden deze 6 typevoorbeelden voorgesteld. Ze kunnen worden opgesplitst in 2 groepen: multiple point absorbers en single point absorbers.

2.6.6.3 Multiple point absorbers

2.6.6.3.1 Wavestar (www.wavestarenergy.com)

De Wavestar is ontwikkeld in Denemarken en bestaat uit een platform waarop via armen een rij grote vlotters zijn bevestigd die mee bewegen met de golven (Figuur 2-20). Golven lopen parallel aan het platform zodat de 20 vlotters om beurt stijgen en dalen. Op deze manier wordt een continue energieproductie gecreëerd. Bovendien is de Wavestar ook goed beschermd tegen stormweer doordat de armen uit het water kunnen worden getrokken en het platform zoals een 'jack-up platform' boven de golven kan opgekrikt worden bij slechte weersomstandigheden.



Figuur 2-20 Een ontwerp van de Wavestar. Links in stormcondities met de vlotters opgetrokken als beveiliging, rechts onder normale omstandigheden (bron: wavestarenergy.com)

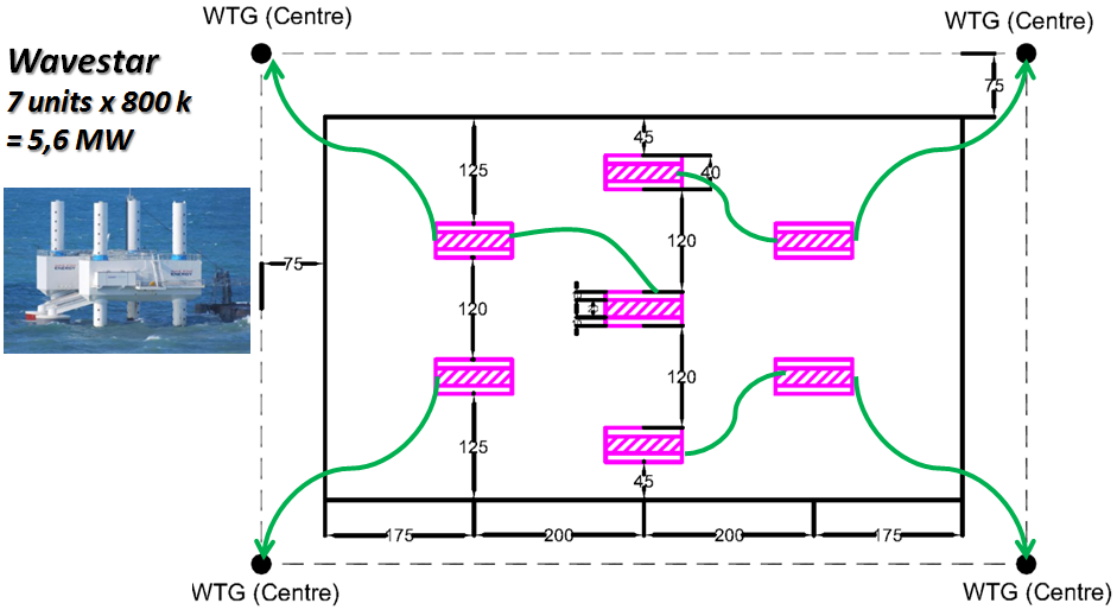
Momenteel is er een testopstelling van 600 kW op schaal 1:2 geïnstalleerd in Denemarken. Wavestar voorziet om in de toekomst golfenergie machines aan te bieden op de markt met een vermogen van 6 MW. Afhankelijk van het lokaal golfklimaat kunnen het aantal vlotters en de dimensies van de WEC worden aangepast (vlotters van 5 tot 10 m diameter).

De Wavestar wordt als enige typevoorbeeld verankerd in de bodem door middel van monopiles. De uitvoering en het benodigde materiaal zal analoog zijn aan de monopiles van de windturbines (zie § 2.7.3.2.1), maar de diameter van de paal zal kleiner zijn. Wegens de kleine diameter van de monopiles (3-4 m) verwachten we dat het niet nodig is om voorafgaand aan de plaatsing de ondergrond te nivelleren of erosiebescherming aan te brengen na installatie. De afmetingen zijn op dit moment moeilijk in te schatten en zullen afhangen van de uiteindelijke grootte van het platform.



Figuur 2-21 Voorbeeld van Wavestar units in een windpark (bron: wavestarenergy.com)

Als typevoorbeeld voor het MER wordt uitgegaan van de actueel gekende Wavestar C6 opstelling. Dit model heeft een dimensie van 80 m x 20 m waarop 20 vlotters (diameter 6 m per vlotter) zijn aangebracht. Het individueel vermogen van de C6 bedraagt 800 kW. Er kunnen 7 units geplaatst worden in een basisveld van 750 x 450 m voor een totaal nominaal geïnstalleerd vermogen van 5,6 MW per basisveld (Figuur 2-22).



Figuur 2-22 Inplanting en de bekabeling (groen) in het basisveld (750 m x 450 m, minimale buffer 75 m) voor de Wavestar

2.6.6.3.2 Poseidon (www.floatingpowerplant.com)

De Poseidon (leverancier: Floating Power Plant, FPP) bestaat net als de Wavestar uit een rij vlotters die bevestigd zijn aan een platform. Het platform is hier echter een drijvende

constructie die verankerd wordt aan de zeebodem. Er hoeft dus niet geheid te worden met monopiles. De verankering aan de zeebodem gebeurt via 'turret mooring' (zie § 2.7.3.4.2).

Doordat energie uit de golven wordt onttrokken, wordt de golfhoogte achter het platform gereduceerd wat een makkelijke toegang toelaat voor onderhoudsschepen.



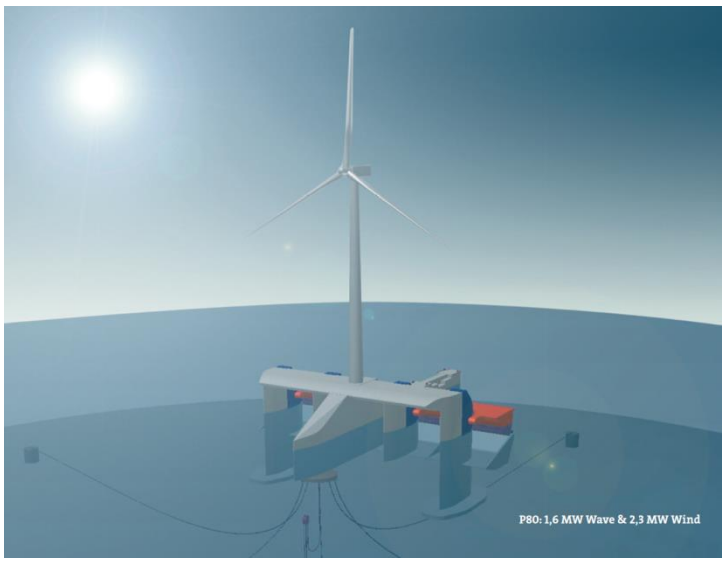
Figuur 2-23 Testfase van de Poseidon (bron: www.floatingpowerplant.com)

Op de Poseidon kan het opwekken van golfenergie gecombineerd worden met windenergie (hybride systeem). Eén of meerdere windturbines kunnen geplaatst worden op het platform. In dit MER wordt er van uitgegaan dat de Poseidon enkel gebruikt wordt voor het opwekken van golfenergie. De windturbines op de Poseidon hebben immers een andere dimensie, en mogelijk andere milieueffecten (o.a. op vogels), dan de geplande turbines in het Mermaid park waarvoor de domeinconcessie is aangevraagd.

Een testontwerp van 37 m breed was operationeel sinds 2008 voor de kust van Denemarken (Figuur 2-24). De eerste WEC van Floating Power Plant die commercieel beschikbaar zal zijn, is de P80 waarbij zowel golf- als windenergie kan worden opgewekt (Figuur 2-25). Deze WEC is 80 tot 130 m breed, heeft een individueel vermogen van 2,6 MW voor de golfenergie en een efficiëntie van 35%. Wanneer er een enkele 5 MW windturbine wordt opgeplaatst bedraagt het totaal geïnstalleerd vermogen 7,5 MW.

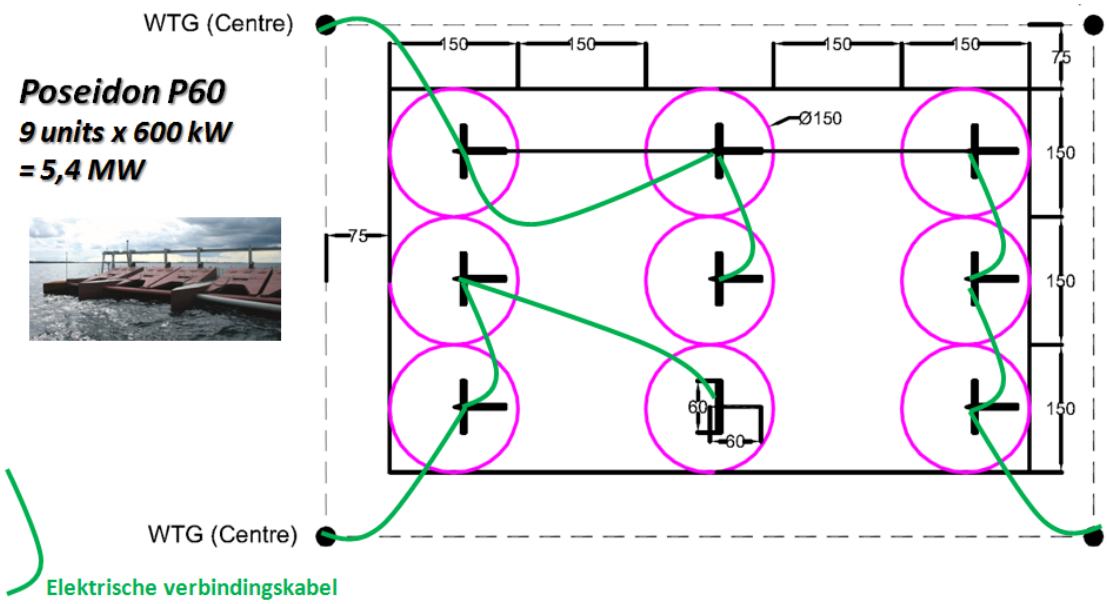


Figuur 2-24 Testfase van de Poseidon (bron: www.floatingpowerplant.com)



Figuur 2-25 Een ontwerp van de P80, de eerste commerciële WEC van Floating Power Plant (bron: www.floatingpowerplant.com)

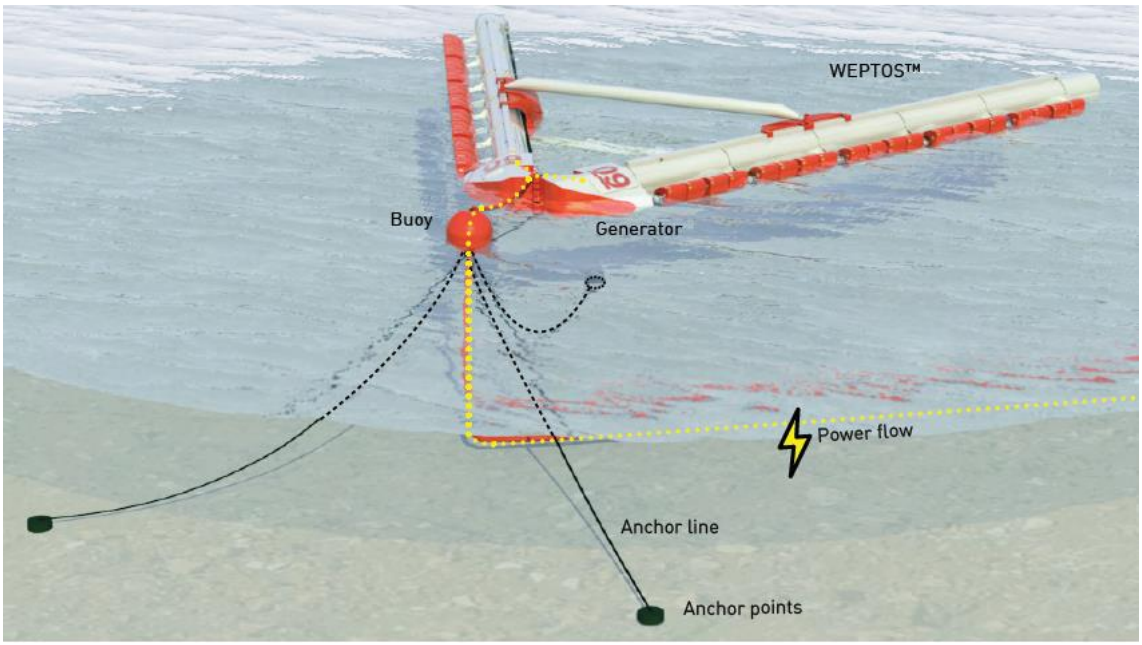
Het model dat hier als typevoorbeeld in dit MER wordt gebruikt is de P60 met een afmeting van 60 m x 60 m en een individueel vermogen van 600 kW. In een basisveld van 750 x 450 m (basisconfig. en config. 2) kunnen 9 Poseidon P60 installaties geplaatst worden aangezien er rekening moet worden gehouden met de draaicirkel van de WEC (Figuur 2-26). De doorsnede van de draaicirkel bedraagt 150 m. Per basisveld kan aldus een nominaal vermogen van 5,4 MW geïnstalleerd worden.



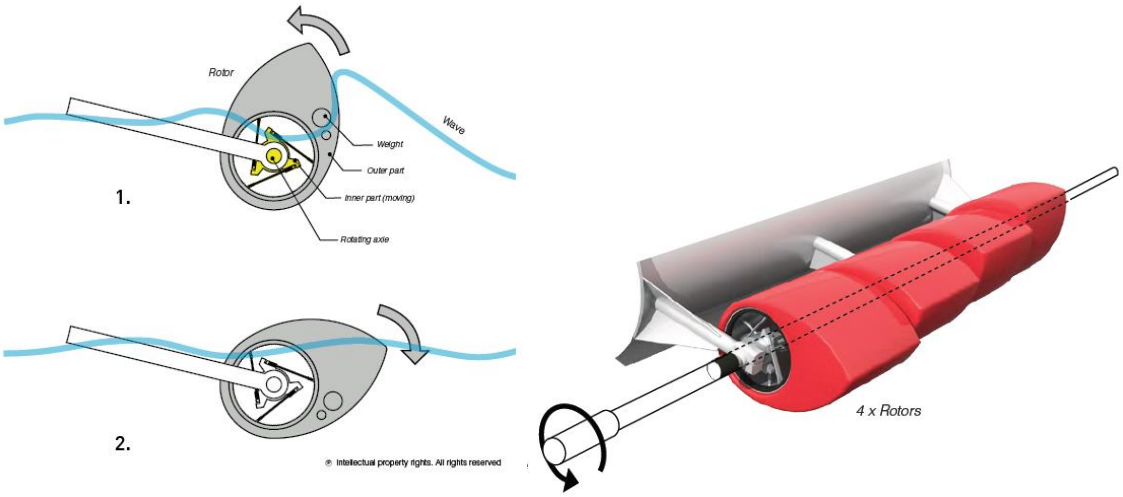
Figuur 2-26 Inplanting en de bekabeling in het basisveld (750 m x 450 m, minimale buffer 75 m) voor de Poseidon P60

2.6.6.3.3 Weptos (www.weptos.com)

De Weptos bestaat uit kleine vlotters (zogenaamde “Salters Duck”-technologie) die gemonteerd zijn op een drijvend V-vormig platform (Figuur 2-27). De technologie van Weptos laat toe om zowel energie uit kleine als uit grote golven te onttrekken.



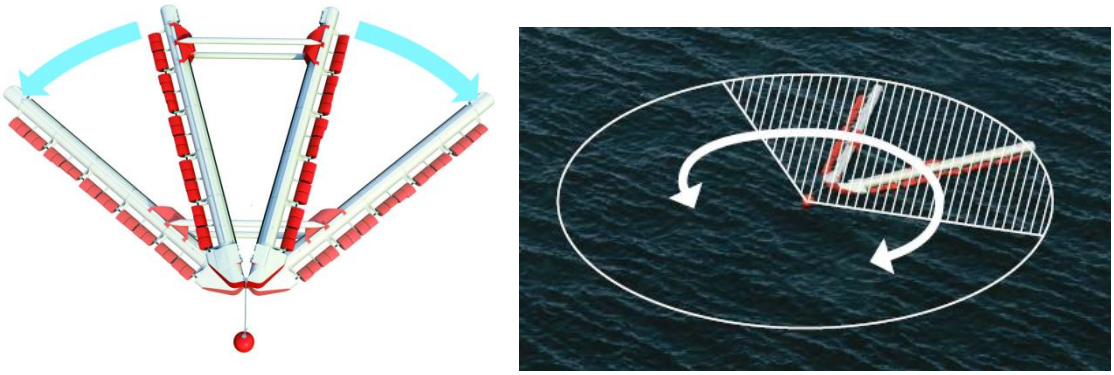
Figuur 2-27 Ontwerp van de Weptos (bron: www.weptos.com)



Figuur 2-28 Het werkingsmechanisme van de vlotters van de Weptos (bron: www.weptos.com)

Afhankelijk van de weersomstandigheden kan de hoek van de V-vorm aangepast worden tussen 30° en 120° (Figuur 2-29). Wanneer de zee kalm is zijn de golven klein en bevatten ze weinig energie. In deze omstandigheden wordt de hoek van de Weptos vergroot waardoor er over een grotere breedte energie wordt onttrokken aan de golven. Omgekeerd zal een kleinere hoek interessant zijn in een ruwe zee, aangezien een beperkte breedte een optimalere energie-extractie uit de golven toelaat en vermijdt dat golven de capaciteit van de generator overtreffen. Bovendien is de Weptos zo beter beschermd tegen stormcondities.

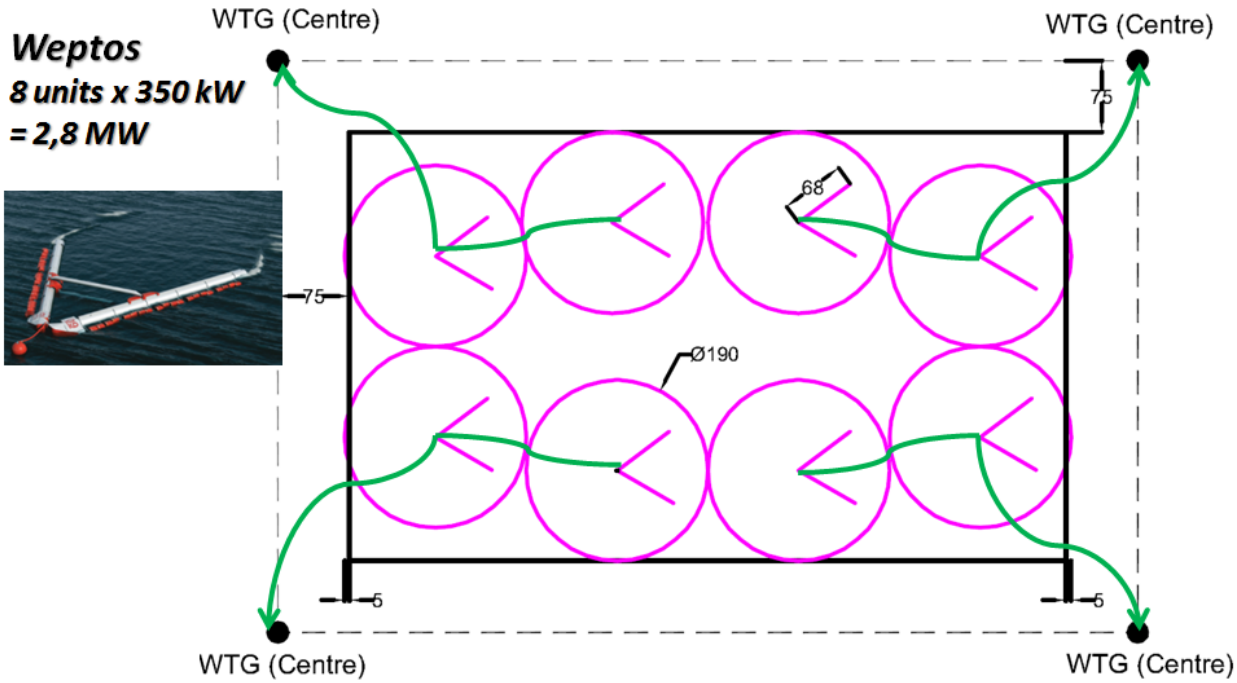
De aanpassing van de hoek van de Weptos aan de golfcondities gebeurt automatisch en doordat het platform drijvend is, zal het zich vanzelf optimaal positioneren ten opzichte van de golfrichting (Figuur 2-29). Een nadeel is dat hierdoor rekening moet gehouden worden met de zwaaizone waardoor de verschillende WEC's op een grotere afstand uit elkaar moeten worden geplaatst. De verankering aan de bodem gebeurt via 3 verankeringspunten die geplaatst zijn in de vorm van een driehoek zodat de centrale boei op dezelfde plaats wordt gehouden (Figuur 2-27). De energie wordt opgewekt in 2 generatoren en getransporteerd via een kabel langs de boei en de zeebodem naar een transformatorstation.



Figuur 2-29 De Weptos kan aangepast worden aan de weersomstandigheden, zowel in de breedte (links) als aan de richting van de golven (rechts) (bron: www.weptos.com)

Momenteel wordt de Weptos uitgetest op een kleine schaal in een beschermd milieu. Applicaties in open zee zijn nog niet uitgevoerd. Er wordt verwacht dat de eerste commerciële modellen beschikbaar zijn eind 2015.

Voor de bespreking van de effecten wordt in dit MER uitgegaan van een typevoorbeeld waarvan de lengte van de 2 'armen' ca. 70 m bedraagt. De grote zwaaizone van de Weptos (diameter 190 m) zorgt ervoor dat er slechts 8 units van 350 kW per basisveld van 750 x 450 m kunnen worden geplaatst. Hierdoor is het totaal geïnstalleerd vermogen per basisveld slechts 2,8 MW in plaats van de vooropgestelde 5 MW en zullen er bijgevolg minstens 7-8 basisvelden moeten worden voorzien om aan 20 MW te geraken.

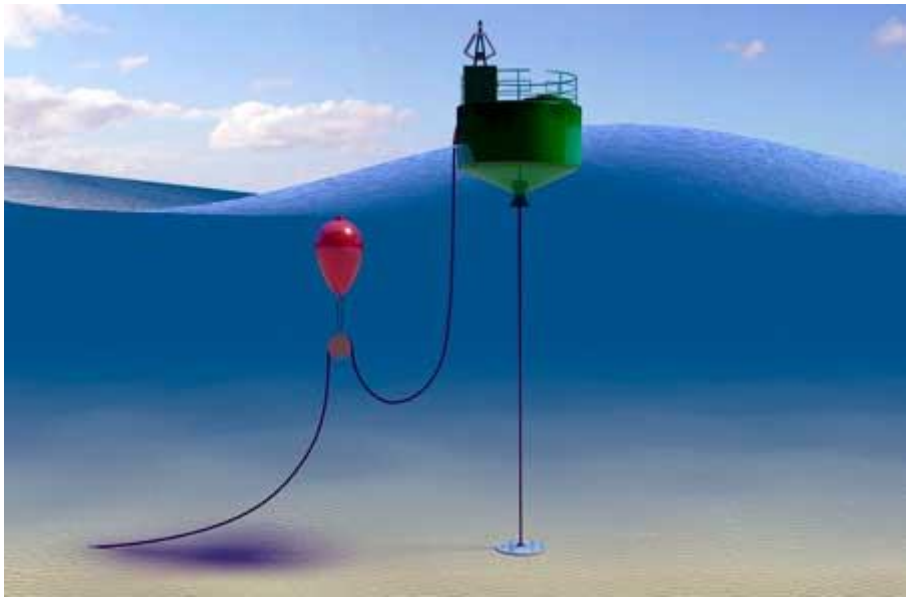


Figuur 2-30 Inplanting en de bekabeling (groen) in het basisveld (750 m x 450 m, minimale buffer 75 m) voor de Weptos

2.6.6.4 Single point absorbers

2.6.6.4.1 FlanSea (www.flansea.ugent.be)

FlanSea is een Vlaams samenwerkingsverband tussen de UGent, het Havenbedrijf van Oostende en 5 andere Vlaamse bedrijven. Samen ontwikkelen ze de Wave Pioneer. De Wave Pioneer is gebaseerd op de point absorber technologie. Een drijflichaam bevestigd via 3 verankeringslijnen aan de zeebodem volgt de beweging van de golf en zet hierbij de lineaire op- en neergaande beweging om in een roterende beweging van een lier. Gekoppeld aan twee motoren, opgesteld in de boei en eveneens de taak van generator op zich nemend, wordt de mechanische energie omgezet in elektriciteit.

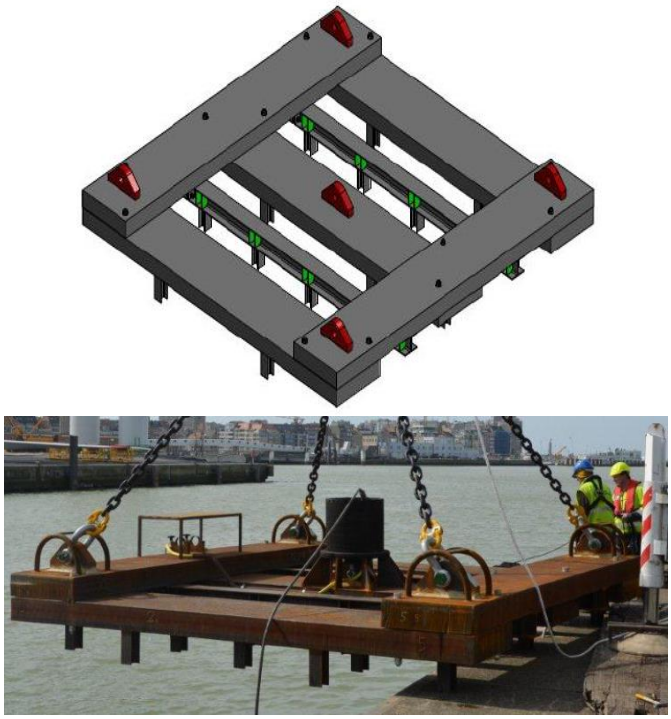


Figuur 2-31 Concept van de WEC ontwikkeld door FlanSea (bron: www.flansea.eu)

De eerste twee jaar van het project werd gebruikt om diepgaand onderzoek (hydraulisch, mechanisch, elektrisch) te verrichten, een WEC op schaalmodel te ontwikkelen, te bouwen en in laboratorium- en atelieromstandigheden te testen. Vervolgens werd in 2013 een testapparaat (schaal 1:2) op circa 1 km voor de kust van Oostende geïnstalleerd zodat het uitvoerig getest kon worden met het oog op de verdere ontwikkeling ervan (Figuur 2-32). Het huidige proefproject heeft een diameter van 4,4 m, weegt 25 ton en is verankerd met een gravitair anker (36 ton), gemaakt uit staalplaten en –profielen (Figuur 2-33).



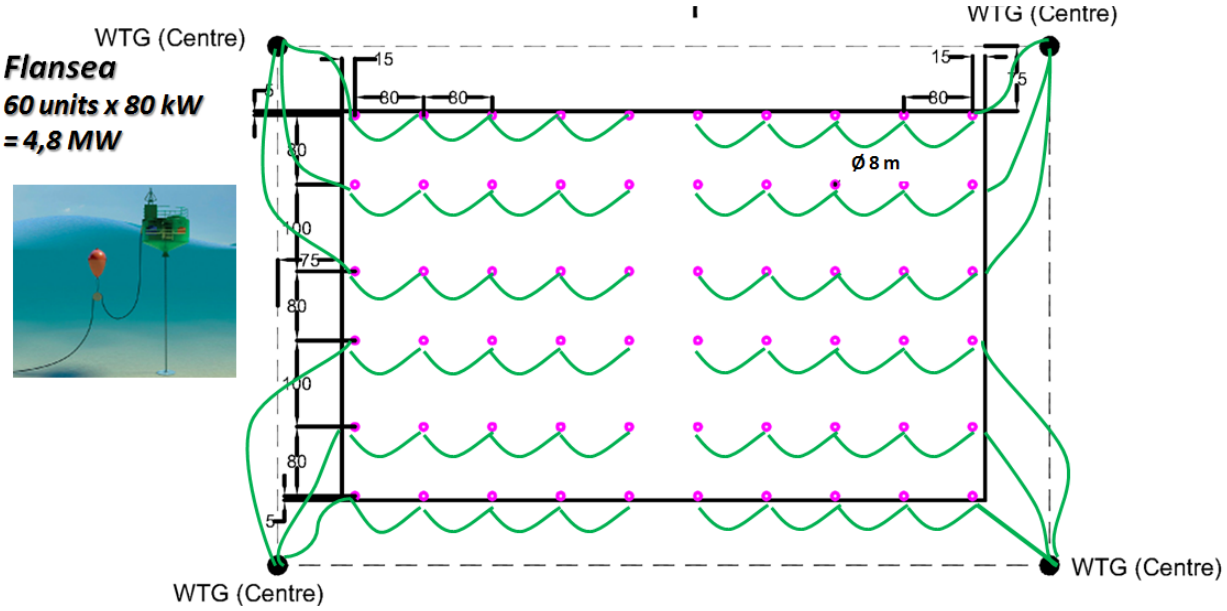
Figuur 2-32 Testapparaat van FlanSea op schaal 1:2 (bron: www.flansea.eu)



Figuur 2-33 De gravitaire verankering van het testapparaat van FlanSea (bron: www.flansea.eu)

Bij de ontwikkeling van WEC's hebben andere ontwerpers en ontwikkelaars zich vooral gericht op zones in de zee met grote golven, dus met veel golfenergie. In deze regio's treden echter ook vaak agressieve stormen op. Deze stormgolven oefenen een grote kracht uit op de WEC's, waardoor er hoge eisen aan de structurele sterkte en de verankering gesteld worden. FlanSea richt zich op de meer gematigde golfklimaten, met als voorbeelden het zuidelijk deel van de Noordzee.

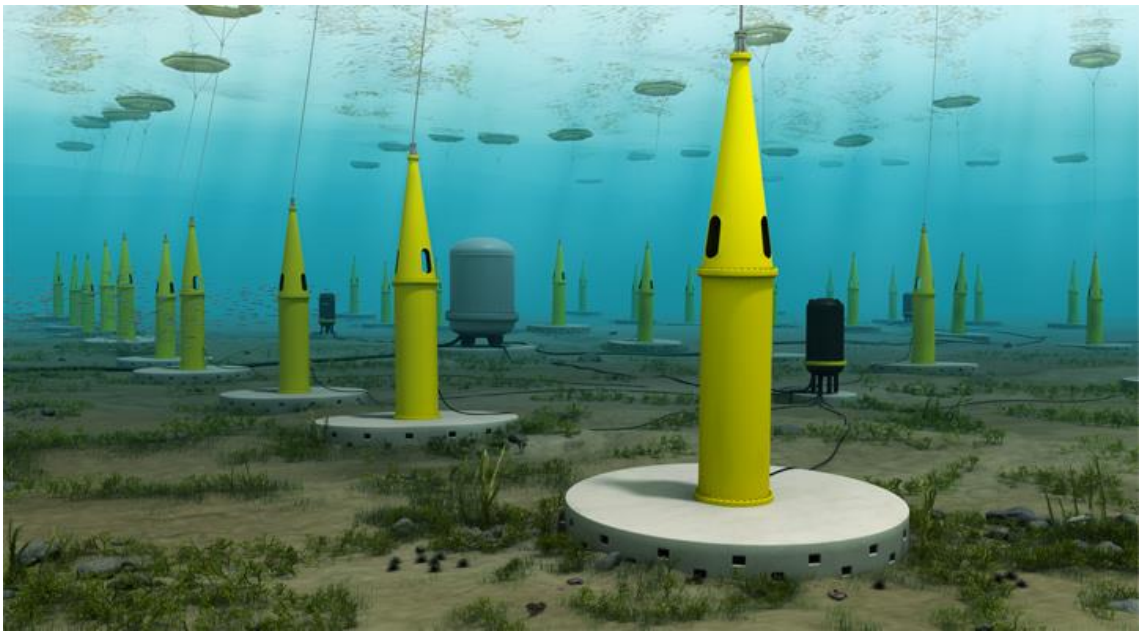
In het hier beschouwde typevoorbeeld wordt uitgegaan van een Wave Pioneer met een doorsnede van 8 m en een individueel vermogen van 80 kW. De minimum afstand tussen de units bedraagt minstens 80 m, rekening houdend met enerzijds een 10 m drift afstand van een enkele Wave Pioneer en anderzijds een minimale tussenafstand van ongeveer 10 x boeidiameter om onderlinge (golf)interactie ter vermijden. Indien er in het basisveld van 750 x 450 m 60 units worden geplaatst levert dit een totaal geïnstalleerd vermogen van 4,8 MW (Figuur 2-34). Voor de bekabeling kunnen telkens een 5-tal units in 1 lijnstreng met elkaar verbonden worden die vervolgens op een nabijgelegen WTG kan aangesloten worden.



Figuur 2-34 Inplanting en de bekabeling (groen) in het basisveld (750 m x 450 m, minimale buffer 75 m) voor de FlanSea

2.6.6.4.2 Seabased (www.seabased.com)

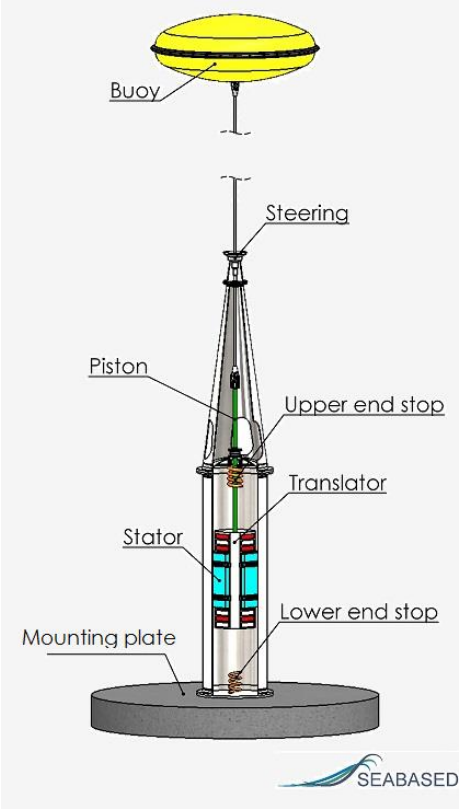
Het Zweedse Seabased bestaat uit een generator die op de zeebodem is bevestigd via een gravity based fundering, en verbonden is met een boei aan het wateroppervlak die op en neer beweegt met de golven (Figuur 2-35). De generator is gemonteerd in een vaste, verticale schacht op de funderingsplaat. De verschillende generatoren zijn verbonden met een elektrisch knooppunt onder water. Doordat de generatoren op de zeebodem zijn geplaatst, zijn ze beter beschermd tegen extreme weersomstandigheden dan aan het wateroppervlak.



Figuur 2-35 Ontwerp van de Seabased WEC's (bron: www.seabased.com)

Het ontwerp en de dimensies van de gravitaire fundering hangen af van het lokale golfklimaat en de zeebodem. Wegens de beperkte diameter (6-8 m) van de basis betonplaat zal het uitgraven van een funderingsput of het nivelleren van de bodem niet noodzakelijk zijn. De funderingen kunnen geplaatst worden op een ondergrond die maximaal een lokale helling heeft van 15%.

Wegens de beperkte omvang van de behuizing (ca. 1,5 m diameter) en de bodemplaat zal de invloed van een individuele unit op de hydrodynamica en de vorming van een erosieput beperkt zijn. Er wordt daarom geen erosiebescherming voorzien rond de betonnen basisplaat.



Figuur 2-36 Doorsnede van een Seabased (bron: www.seabased.com)

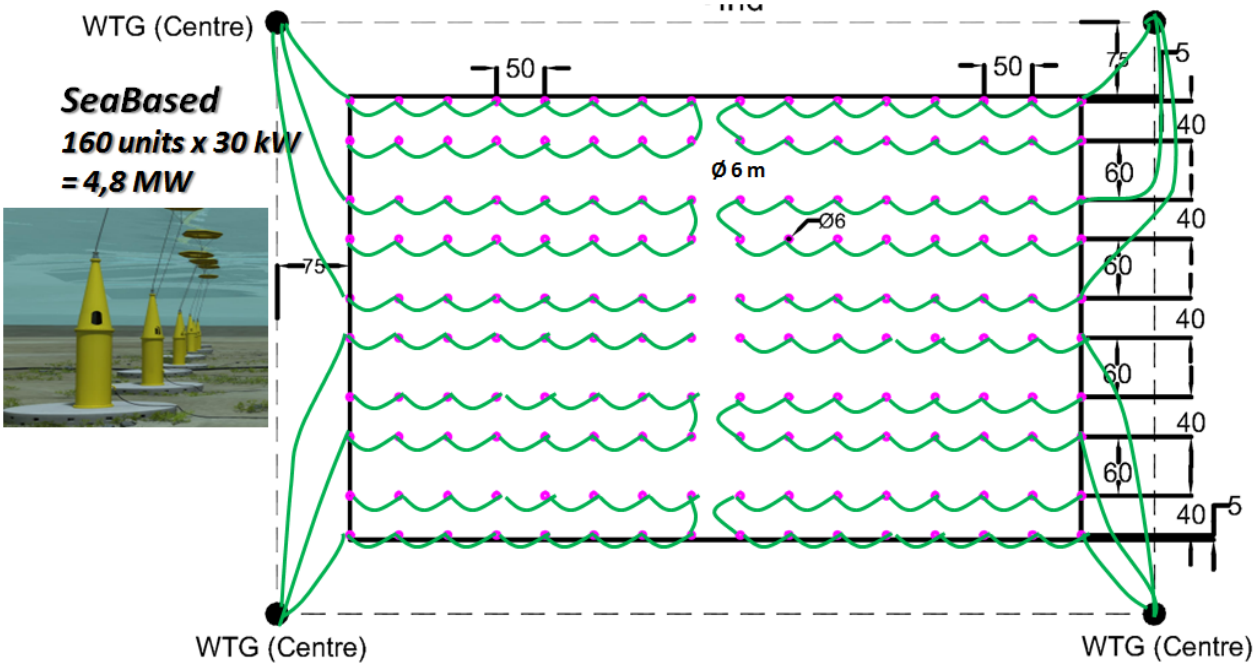
De lay-out van de verschillende WEC's kan aangepast worden aan de lokale omstandigheden. Meestal worden ze in lijnen opgesteld op 20 m van elkaar, dwars op de overheersende golfrichting. De afstand tussen de lijnen bedraagt ca. 50 m, waardoor er op 1 km² tot 1.000 WEC's geplaatst kunnen worden. De individuele WEC's kunnen afgesloten worden van het grid en vervangen worden zonder dat dit een effect heeft op de rest van het park. Momenteel hebben de Seabased generatoren een individuele capaciteit van 20 tot 200 kW en hebben de boeien een diameter van 4 m. Het operationele geluid van de transformator is een zoemend geluid met een frequentie van ca. 50 Hz en komt waarschijnlijk niet uit boven het achtergrondgeluid (www.seabased.com).

De WEC's zijn de voorbije jaren getest voor de kust van Zweden. Een demonstratiesite van 10 MW met 420 WEC's op een oppervlakte van 0,8 km² is sinds 2013 operationeel (Figuur 2-37).



Figuur 2-37 Installatie van de Seabased in Zweden (bron: www.seabased.com)

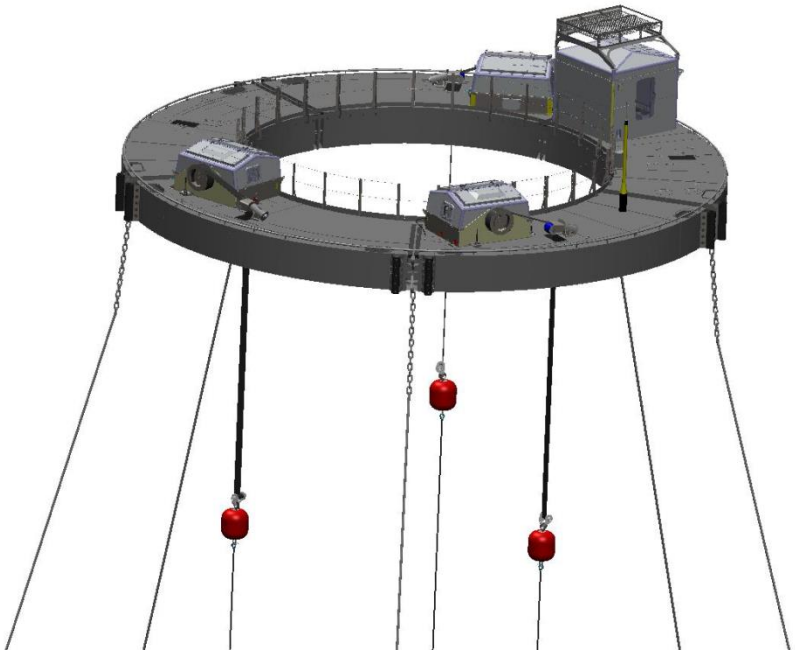
Voor het typevoorbeeld dat gebruikt wordt in dit MER wordt uitgegaan van een Seabased met een betonnen bodemplaat met doorsnede van 6 m en een individueel vermogen van 30 kW. De 160 units zullen in het basisveld in rijen op een afstand van 50 m van elkaar worden geplaatst (Figuur 2-38). De afstand tussen de rijen bedraagt 40 of 60 m. In 1 lijnstreng worden 16 units met elkaar verbonden en vervolgens aangesloten op een WTG.



Figuur 2-38 Inplanting en de bekabeling (groen) het basisveld (750 m x 450 m, minimale buffer 75 m) voor de Seabased

2.6.6.4.3 Lifesaver (www.boltwavepower.com)

De Lifesaver is een groter type single point absorber: hij bevat niet 1 kabel, zoals de FlanSea en de Seabased, maar 5 kabels met 'power take-off units (PTO)', die de bewegingen van de grote ringvormige boei omzetten in elektriciteit. De diameter van de cirkelvormige torus bedraagt 10 m aan de binnenzijde en 16 m aan de buitenzijde. De Lifesaver is verankerd aan de zeebodem met 5 ankerlijnen.



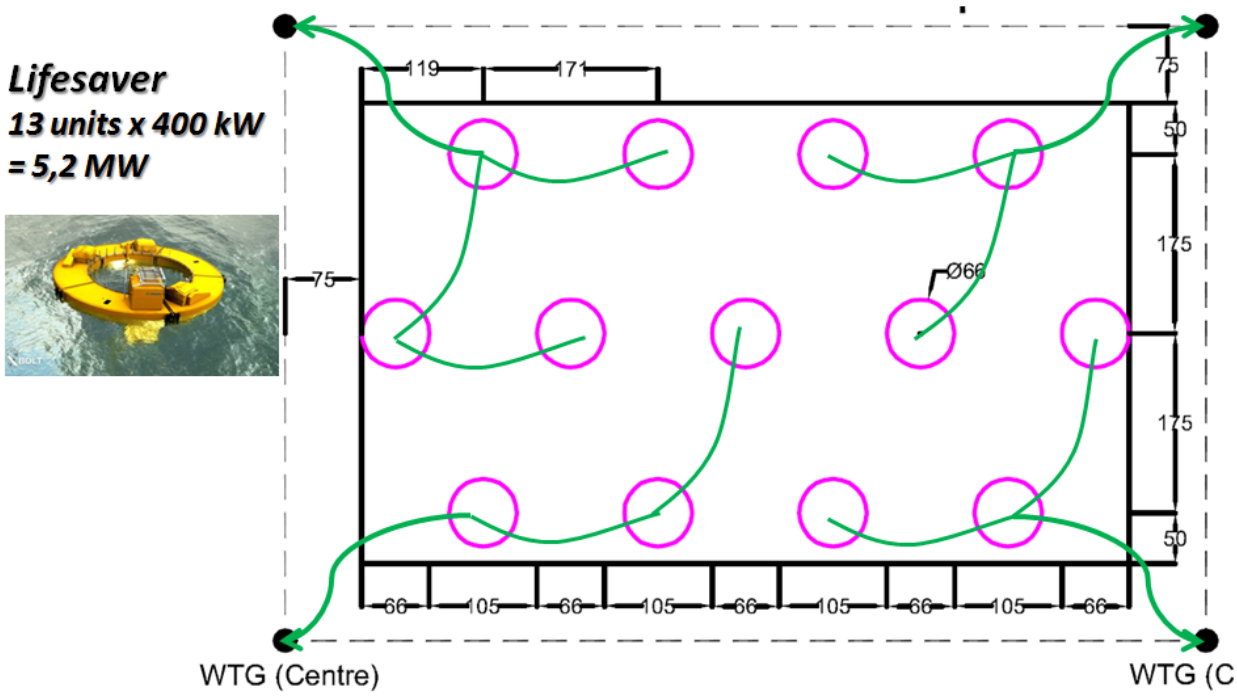
Figuur 2-39 Testontwerp van de Lifesaver met 3 PTO's (bron: www.boltwavepower.com)

In 2012 werd een Lifesaver geïnstalleerd voor de kust van Engeland voor een testfase. Wanneer de Lifesaver klaar is voor commercieel gebruik is vandaag nog niet gekend. Er is slechts 1 scheepsbeweging nodig om de Lifesaver te installeren aangezien de WEC en zijn verankering met een sleepboot kan vervoerd worden op zee.



Figuur 2-40 Testfase van de Lifesaver (bron: www.boltwavepower.com)

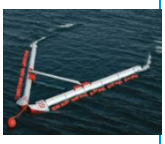
Als typevoorbeeld voor het MER wordt uitgegaan van een model met een doorsnede van 16 m en 5 PTO's. Het individueel vermogen van deze Lifesaver bedraagt 400 kW. 13 units geplaatst in een basisveld van 750 x 450 m levert een geïnstalleerd vermogen van 5,2 MW (Figuur 2-41). De drift cirkel van een unit bedraagt 66 m.



Figuur 2-41 Inplanting en de bekabeling (groen) in het basisveld (750 m x 450 m, minimale buffer 75 m) voor de Lifesaver

2.6.6.4.4 Overzicht van de kenmerken

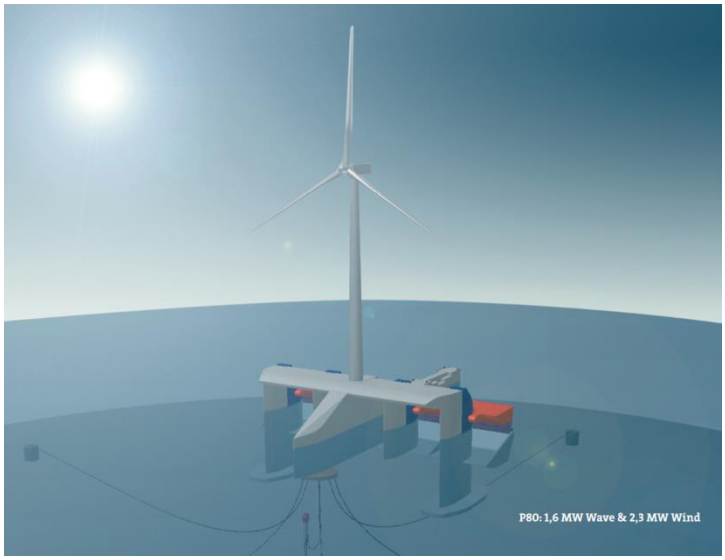
Tabel 2-8 Overzicht van de kenmerken van de 6 WEC-typevoorbeelden

	Wavestar	Poseidon	Weptos	FlanSea	Seabased	Lifesaver
						
Fabrikant	Wave Star Energy	Floating Power Plant	Weptos SA	UGent + 6 partners	Seabased AB	BOLT technology Fred Olsen
WEC-type	C6	P60	WEPTOS WEC	Wave Pioneer	Seabased	Lifesaver (5 PTO's)
Model/versie	Multipoint absorber (float arm)	Multipoint absorber	Multipoint absorber (salter duck)	Single point absorber	Single point absorber	Single point absorber
Dimensies	80 x 20 m + 20 floats ϕ 6 m	60 x 60 m	2 angled legs ≈ 70 m	ϕ 8 m	ϕ 6 m	ϕ 16 m toroidal
Verankering	4 monopiles (jackup legs)	Turret mooring – 3 mooring Lines – plow anchors	3 mooring lines – central anchor – survival lines	Single mooring line – concrete anchor blocks (or piles) – 3 survival lines	Concrete gravity mounting plate	5 individual mooring lines/anchors – 3 survival lines
Drift	N/A	15 m	25 m	10 m	10 m	25 m
Tussen-afstand	Wake effect	150 m (drift cirkel)	190 m (drift cirkel)	>80 m (≈ 10 x ϕ)	>60 m (≈ 10 x ϕ)	66 m (drift cirkel)
Device rated power	800 kW	600 kW	350 kW	80 kW	30 kW	400 kW
Aantal per basisveld (750 x 450 m)	7	9	8	60	160	13
Total rated power	5,6 MW	5,4 MW	2,8 MW	4,8 MW	4,8 MW	5,2 MW

2.6.6.5 Hybride systemen

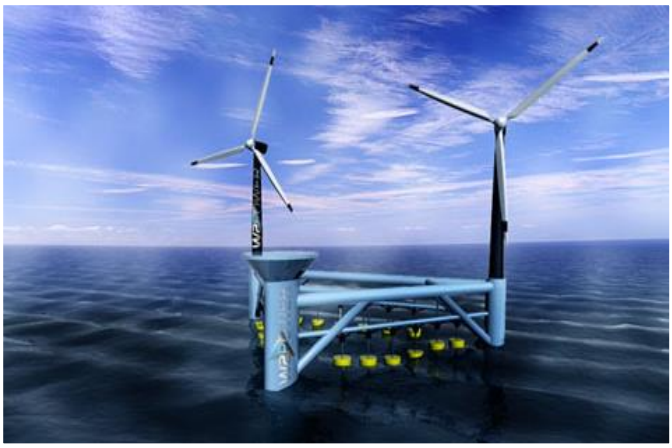
Zoals hierboven reeds vermeld kan op de Poseidon het opwekken van golfenergie gecombineerd worden met windenergie. Eén of meerdere windturbines kunnen geplaatst worden op het platform.

De eerste WEC van Poseidon die commercieel beschikbaar zal zijn, is de P80 waarbij zowel golf- als windenergie kan worden opgewekt (Figuur 2-25). Deze WEC heeft een individueel vermogen van 2,6 MW voor de golfenergie en een efficiëntie van 35%. Wanneer er een enkele 5 MW windturbine wordt opgeplaatst bedraagt het totaal geïnstalleerd vermogen 7,5 MW.



Figuur 2-42 Een ontwerp van de P80, de eerste commerciële WEC van Poseidon (bron: www.floatingpowerplant.com)

Ook de W2Power van Pelagic Power AS combineert golf- en windenergie. Twee hoekpunten van de driehoek dragen de windturbines (bvb. Siemens 3,6 MW-107) en het derde hoekpunt bevat de golfenergieconvertor, aangedreven door drie lijnen van golfconvertoren gemonteerd op de zijden van de driehoek (Figuur 2-43). Tesamen kan dit meer dan 10 MW opleveren in gebieden met een geschikt golfklimaat.



Figuur 2-43 De W2Power combineert golf- en windenergie (bron: http://www.pelagicpower.no)

De 'Marine Solar Cells' ontworpen door Phil Pauley zijn conceptuele hybride zonne- en golfenergieconvertoren. De 'zonne-golf' eenheid (Figuur 2-44) gebruikt de golfenergie door de natuurlijke verplaatsing van de drijvende eenheid en de zonne-energie door middel van fotovoltaïsche cellen. Deze maken gebruik van het natuurlijk licht weerkaatst op het oppervlak van de oceaan en verhogen zo de capaciteit met 20%.



Figuur 2-44 Marine Solar Cells combineren golf- en zonneënergie (bron: http://www.philpauley.com/concept_design/sustainability/marine-solar-cells/)

Er bestaan vandaag op de markt nog meer hybride systemen maar allemaal in een conceptueel of heel vroeg ontwerp stadium. Dergelijke hybride systemen worden niet verder besproken in dit MER.

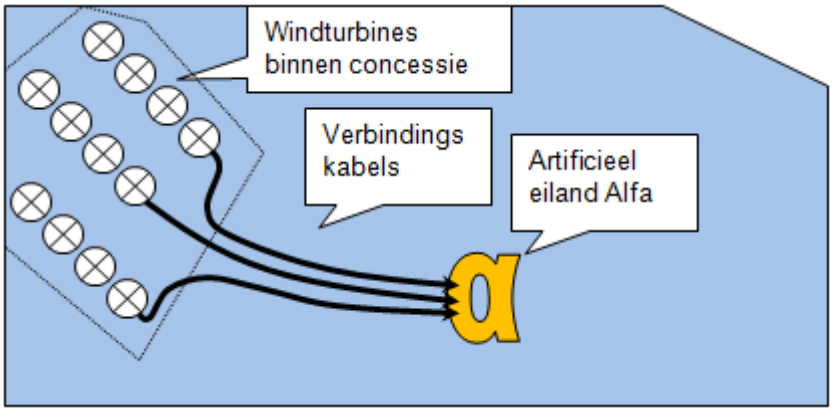
2.6.7 Bekabeling

Er worden twee opties overwogen voor de aansluiting van de turbines op het elektriciteitsnetwerk op zee, waarbij aansluiting wordt gemaakt op een nabijgelegen artificieel platform buiten het concessiegebied. In dat geval is geen traditionele exportkabel tot op het vasteland nodig voor het Mermaid project. In overeenstemming met de vooropgestelde invulling van het Belgisch Offshore Grid project door Elia (Elia, 2011) wordt de aansluiting vanuit het Mermaid gebied voorzien op een offshore transformatorstation, de zogenaamde Alpha-installatie. De huidige potentiële locatie voor dit offshore station is een artificieel eiland op de zuidwestelijke tip van de Lodewijkbank.

Afhankelijk van de BBT status van 33-66 kV kabels, kunnen de turbines rechtstreeks aangesloten worden op Alpha met meerdere parallelle verbindingskabels (optie A) (Figuur 2-45). Hierbij gaan de respectievelijke clusters van windturbines, onderling verbonden via parkkabels op 33kV of 66kV, bij de laatste WTG over in de zogenaamde verbindingskabels op 66 kV (4-6 parallelle kabels), die de link naar het offshore transformatorstation op Alpha realiseren. De 66 kV verbindingskabels worden via een hoogspanningspost aangesloten aan een transformator op de Alpha-installatie. De verdere offshore exportkabel tussen deze Alpha-installatie en het onshore transmissienet van Elia valt dan buiten de scope van deze studie. Deze exportkabel volgt immers het binnen het BOG-project voorgestelde kabeltraject vanaf Alpha en is als dusdanig binnen de bijhorende MER/MEB-studie reeds eerder bestudeerd.

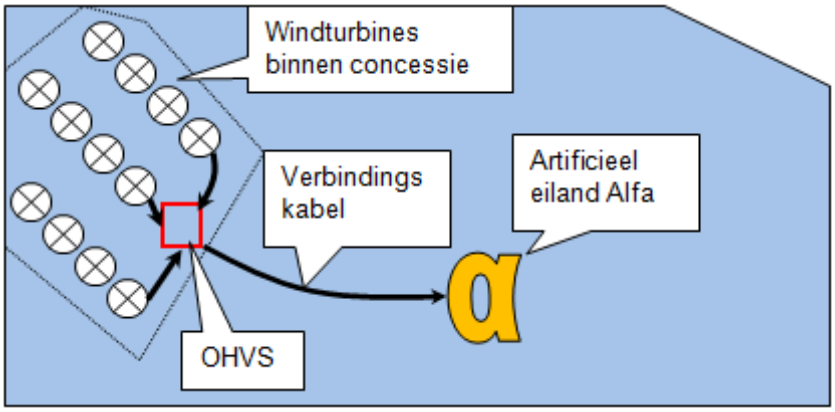
De totale lengte van de parkkabels bedraagt maximaal zo'n 50 km voor 33 kV parkkabels bij het maximaal aantal windturbines (configuratie 1) en zo'n 35 km bij 66 kV parkkabels. Bij de gebeurlijke rechtstreekse verbinding naar de nabijgelegen Alpha-installatie (optie A) wordt een

extra kabellengte van om en bij 20-22 km voorzien voor elk van de 4-6 66 kV lijnstrengen (verbindingskabels) tussen het park en het station.



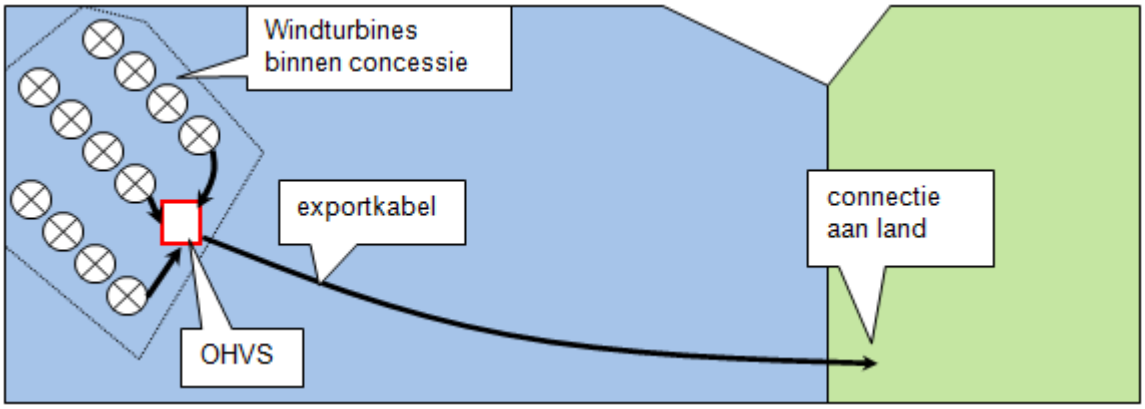
Figuur 2-45 Verbinding turbines rechtstreeks op Alpha (optie A)

Als alternatief bij deze aansluiting op het elektriciteitsnetwerk op zee, wordt de algemeen gekende state-of-the-art uitvoering met een aansluiting van de turbines op één OHVS binnen het concessiegebied voorgesteld. In deze optie B verbinden één of twee verbindingskabel(s) (150-220-380 kV) dan het OHVS met de Alpha-installatie (Figuur 2-46). De optimale spanning van deze verbindingskabels en het aantal transformatoren zal bepaald worden in samenspraak met de gekozen leveranciers. Voor optie B is het kabeltracé zo'n 20 km lang.



Figuur 2-46 Aansluiting turbines op OHVS waarna verbinding met Alpha (optie B)

Als derde alternatief (optie C) is hier ook het fall-back scenario gedefinieerd, waarbij de aansluiting op een standaard hoogspanningsstation (OHVS) binnen het concessiegebied is voorzien, waarna het OHVS rechtstreeks met land verbonden wordt door middel van één of twee exportkabels op 150-220-380 kV (Figuur 2-47) die aangesloten worden aan het elektriciteitsnet op het land met behulp van een landkabel. Hierbij volgen de aldus voorziene exportkabel(s) precies het kabeltraject zoals ingetekend voor het BOG-project van Elia. Alle relevante technische specificaties en de bijhorende milieu-effecten zijn ten gronde bestudeerd, gevalideerd en beoordeeld in de MER/MEB-studie voor het BOG-project (IMDC, 2013d). De lengte van de exportkabel voor het fall-back is ongeveer 55 km (van Mermaid tot aan land).



Figuur 2-47 Aansluiting turbines op OHVS waarna verbinding naar land (optie C)

De configuratie van de netaansluiting van het windpark ziet er in detail als volgt uit:

- De energieproductie op het niveau van de windturbines gebeurt op 690 V tot 6.000 V wisselspanning.
- Elke windturbine is uitgerust met een laagspanning/middenspanning transformator (LS/MS). Dit zijn 690V-6000V/33-66kV transformatoren van een brandvrij type (ofwel droog ofwel gevuld met siliconenolie). Elke windturbine is eveneens uitgerust met de nodige schakelapparatuur (vermogenschakelaars) om de veilige werking van de installaties te verzekeren. De LS/MS-transformatoren in elke turbine verhogen de spanning naar 33 of 66 kV. Voor het transport van de geproduceerde elektriciteit binnen het windpark werden twee mogelijke spanningsniveaus geselecteerd: 33 kV en 66 kV.
- De windturbines worden in series verbonden d.m.v. een 33 kV parkkabel of een 66 kV parkkabel. Een 33 kV kabel heeft een theoretische transitcapaciteit van ca. 30 MW. Er kunnen dus afhankelijk van het individueel vermogen van de WTG (3-10 MW) pakweg 3 tot 9 turbines op aangesloten worden. Een 66 kV kabel heeft een theoretische transitcapaciteit van ca. 60 MW. Er kunnen dus afhankelijk van het individueel vermogen van de WTG (3-10 MW) ongeveer 6 tot 18 turbines op aangesloten worden. Een vergroting van de doorstroomsectie van de geleider in de kabel (in 'afwaartse' richting) kan een verhoging van de doorvoercapaciteit bieden waardoor bvb. alsnog meer WTG's op eenzelfde kabel kunnen aangesloten worden.
- De respectievelijke clusters van windturbines, onderling verbonden via parkkabels op 33kV of 66kV, gaan bij de laatste WTG over in de zogenaamde verbindingskabels op 66kV, die de link naar het offshore transformatorstation realiseren.
- De 66 kV verbindingskabels, worden aangesloten aan een 33-66/150-220-380 kV transformator op het transformatorplatform. De juiste spanning en het aantal transformatorplatformen zal bepaald worden in samenspraak met de gekozen leveranciers en in functie van de technische vereisten van de netbeheerder Elia.
- Transformatorplatformen worden onderling verbonden met een hoogspanningskabel (150-220-380kV) opgebouwd uit drie kernfasegeleiders met elk een diameter van 800 tot 2500 mm².

2.6.7.1 Bekabeling in het park

De verbinding tussen de turbines onderling en tussen de turbines en eventueel het OHVS wordt met parkkabels als volgt gerealiseerd.

Individuele turbines worden in lijnstrengen (4-6 strings voor 66 kV, 9-12 strings voor 33 kV kabels afhankelijk van de configuratie) met elkaar verbonden en aangesloten op een OHVS binnen het concessiegebied (optie B) of rechtstreeks op de Alpha-installatie buiten het concessiegebied (optie A). Per lijn wordt een 33 kV of 66 kV parkkabel voorzien om de aansluiting met het transformatorstation te realiseren (optie B). Redundantiekabels worden voorzien tussen de opwaartse uiteinden van de lijnstrengen.

De algemeen gekende state-of-the-art uitvoering is de aansluiting van de turbines op één OHVS binnen het concessiegebied (optie B). Maar afhankelijk van de 'best beschikbare technologie (BBT)' van de 33-66 kV kabels, kunnen de turbines rechtstreeks aangesloten worden op Alpha met meerdere parallelle verbindingskabels van 66 kV (optie A).

Mermaid opteert wat de bekabeling van het volledige windenergiepark betreft voor toepassing van de BBT. Hierbij zal als omhulsel van de elektrische kabel een inerte, droge kunststof – aangewend worden. Daarnaast worden de telecommunicatiekabels in deze energiekabels geïntegreerd. Afzonderlijk leggen van telecommunicatiekabels is bijgevolg overbodig. De telecommunicatiekabels staan onder andere in voor de afstandsbediening en –bewaking van het windenergiepark. Figuur 2-48 geeft een type dwarsdoorsnede van een dergelijke kabel, als illustratief voorbeeld weer.



Figuur 2-48 Voorbeelden van een XLPE onderwater kabelsysteem (bron: ABB user's guide)

2.6.7.2 Verbindingskabels tussen OHVS en Alpha-installatie (optie B)

Voor de verbinding tussen het OHVS binnen het concessiegebied en de Alpha-installatie (optie B) worden één of twee 150-220-380 kV verbindingskabels voorzien, identiek aan een standaard exportkabel. De verbinding tussen de offshore Alpha-installatie en het substation op land valt dan buiten de scope van dit MER. Deze verbinding werd immers eerder in een

gelijkaardige MER/MEB-studie van het BOG-project beschreven en naar milieueffecten beoordeeld. Er zal waarschijnlijk een hoogvoltage laag frequente (50Hz) wisselstroomaansluiting van minimum 150 kV voorzien worden, een alternatief voor de basisopstelling van 220kV kan 380 kV zijn.

2.6.7.3 Exportkabels naar de kust (optie C)

Als fall-back scenario (optie C) wordt het alternatief voorzien van een standaard OHVS configuratie binnen de domeinconcessie waarbij het OHVS rechtstreeks via een exportkabel met land verbonden wordt.

De offshore verbinding met de exportkabel gebeurt op een 3-fasige onderzeese 150 kV, 220 kV of 380 kV laagfrequente wisselspanning. De 150 kV kabel kan een kleiner vermogen naar de kust transporteren dan een 220 kV kabel bij gelijke secties van de elektrische geleider.. Er zal – in functie van de uiteindelijk geïnstalleerde configuratie en het daaraan gerelateerde totaal geïnstalleerd vermogen (voor windturbines en WEC's) - gewerkt worden met een of twee kabels van 150 kV of 220 kV. Een derde alternatief – een exportkabel van 380 kV – kan gebeurlijk tot 550 MVA vermogen naar de kust brengen.

Vanaf het OHVS gaat een onderzeese kabel naar de kust, waar deze toekomt in de z.g. aanlandingszone ten westen van de havendammen van Zeebrugge (in de daar voorziene kabelcorridor) en overgaat in de ondergrondse kabel tot aan de Elia hoogspanningspost in Zeebrugge (Stevin-project). De bekabelingsdiepte zal gebeuren volgens de richtlijnen opgesteld door de Vlaamse Overheid (departement Mobiliteit en Openbare Werken, Haven- en Waterbeleid) en andere bevoegde instanties. Dit is minstens 1,0 m over de gehele lengte met uitzondering van twee locaties: de kruising met het 'Scheur' en de aanlanding op het strand. Op het strand moet een bekabelingsdiepte van minstens 3 m gerespecteerd worden onder het zand volgens de stedenbouwkundige vergunning.

Voor de verbinding van het OHVS met een schakelpost op land zijn verschillende opties mogelijk:

- Een hoogspanning wisselstroomaansluiting van 220 kV met een lage frequentie (50Hz). Een typische kabel dat dit soort stromen aankan is bijvoorbeeld de FXBTV 3 x 1.000 mm² 245 kV kabel van ABB (Figuur 2-48). Dit is een XLPE kabel voor 245 kV ontworpen als offshore windpark exportkabel. Het totale vermogen kan over één kabel getransporteerd worden. In geval één kabel wordt gebruikt om het volledige vermogen van het windpark te transporteren, zal in geval van een kabeldefect, het volledige windpark onbeschikbaar zijn. De doorstroomcapaciteit van deze kabel is 420 MWA, voldoende voor de afvoer van het maximaal geproduceerde vermogen bij alle configuraties.
- Een alternatief waarbij 2 parallelle exportkabels zijn voorzien geniet steeds de voorkeur: deze redundantie garandeert het operationeel blijven van het windpark in geval van een kabeldefect.

Bij toenemend geïnstalleerd vermogen van een windpark zal niet alleen het OHVS grotere dimensies krijgen, maar zullen de kabelsecties van de 220 kV kabels ook groter worden. Er wordt verwacht dat in de toekomst kabelsecties van 1.200 mm² zullen kunnen worden uitgevoerd.

Een maximale kabelvariant wordt op zijn milieugevolgen onderzocht: zie ook beschrijving van de alternatieve projectscenario's in hoofdstuk 4. Het betreft maximaal 2 kabels (voor ruimtebeslag en bodemverstoring) en 220 kV.

2.6.7.4 Landkabels

Na de aanlanding gaat elke onderzeese kabel over op een landkabel die via een leidingenstraat en langsheen de openbare weg of via privé – terreinen het aansluitpunt op het elektriciteitsnetwerk bereikt.

Op land wordt een onderstation voorzien voor de nodige spanningsaanpassingen voor de aansluiting op de installaties van netbeheerder Elia. De technische vereisten bij die aansluiting worden bepaald door het Technisch Reglement op transportnetten. Vanaf dit onderstation vertrekken kabels naar het aansluitingspunt in de post van Elia.

De onshore aansluiting is ingetekend binnen het nieuw te bouwen hoogspanningsstation in Zeebrugge, als onderdeel van het Stevin –project. Dit project maakt deel uit van de uitbouw van het Elia-elektriciteitsnetwerk in de kustregio (waarbij o.a. de nodige faciliteiten worden voorzien om de geleverde stroom van de windparken op zee vlot naar de grote verbruikerscentra worden gevoerd (Vlaams Regeerakkoord, juli 2009). Met het project Stevin voorziet Elia immers in een expliciete netversterking om aan drie behoeften te voldoen:

- Het project maakt het mogelijk om de windenergie van windparken op zee aan land te brengen en verder naar het binnenland te transporteren
- Het project creëert de mogelijkheid tot een verdere interconnectie van het Belgische net met een onderzeese verbinding naar het Verenigd Koninkrijk en een verdere uitbreiding naar de Noordzee en de duurzame energiemix uit Noord-Europa
- De uitbreiding van het 380 kV-net naar de kust is strikt nodig om de zekerheid van elektriciteitsbevoorrading in de Westvlaamse regio te verbeteren (inclusief de strategisch economische ontwikkeling van de groeipool rond de haven van Zeebrugge)

Actuele planningsstudies (voorlopige vaststelling tot Gewestelijk Ruimtelijk Uitvoeringsplan GRUP) voorzien de inplanting van dit hoogspanningsstation Stevin nabij Zeebrugge op het militair domein ten oosten en ten westen van de N31 en in het noorden begrensd door de kustweg. Vanuit dit hoogspanningsstation wordt – binnen hetzelfde Stevin-project - dan ook de verder landinwaartse 380 kV-verbinding (ontdubbeld met een vermogen van 2 x 3.000 MVA) naar Zomergem voorzien.

2.6.7.5 Elektrische beveiligingen

De beveiligingen voor het windpark Mermaid situeren zich op 4 niveaus:

- Op niveau van de individuele windturbine: de beveiliging heeft tot doel de generator, de vermogenselektronica en de transformator te beschermen. Fouten worden onmiddellijk onderbroken door een lastschakelaar en zekeringen of door een vermogenschakelaar die door een overstroomrelais, een differentieel relais of een homopolair relais aangestuurd wordt;
- Op niveau van de aankomst van elke parkkabel op een offshore hoogspanningsstation: elke aankomst is uitgerust met een vermogenschakelaar welke de cluster van windturbines kan afschakelen bij een fout op de parkkabel d.m.v. een richtingsgevoelig overstroomrelais of een andere gelijkwaardige technologie;

- Op niveau van de 33-66/150-220-380 kV transformator: de transformator is onder andere beveiligd tegen interne fouten d.m.v. differentieelrelais, thermisch beeldrelais en Buchholz. Dit vereist vermogenschakelaars aan beide zijden van de transformator;
- Op niveau van de 150 kV, 220 kV of 380 kV export kabel: bij een kabelfout zal deze worden afgeschakeld d.m.v. het openen van de 150 kV, 220 kV of 380 kV vermogenschakelaars aan beide uiteinden van de kabel, dit door middel van overstroomrelais differentieel - relais en afstandsrelais of een andere gelijkwaardige technologie.

2.7 BESCHRIJVING VAN DE ACTIVITEITEN EN UITVOERINGSWIJZEN

2.7.1 Algemeen

Globaal genomen kunnen de activiteiten van het project als volgt worden gedefinieerd:

1. De ontwikkelingsfase (2012 – 2017):
   - Studie, voorbereiding en opmaak concessiedossier en doorlopen concessieprocedure;
   - Opmaak MER en vergunningsaanvragen;
   - De vergunningsprocedures;
   - Engineering, opmaak lastenboeken, offertevragen en onderhandelingen met betrekking tot de aankoop en installatie van de windturbines en de WECs, het offshore hoogspanningsstation (Offshore High Voltage Station of OHVS, indien van toepassing), de elektrische bekabeling binnen het park en de verbindings/exportkabel, de netkoppeling, etc.;
   - Geotechnisch onderzoek, funderingsontwerp, opmaak lastenboeken, prijsvragen en onderhandelingen m.b.t. de realisatie van de funderingen en WECs;
   - Mogelijks uitvoeren van windmetingen door middel van meetmast, floating LIDAR of LIDAR op vast platform
   - De financiële analyse en de onderhandelingen inzake de financiering van het project;
   - De investeringsbeslissingen en toewijzing van de opdrachten.
2. De constructiefase (2016 – 2018):
   - De inrichting van de preassemblage plaats (indien van toepassing);
   - Voorbereiding en opbouw in de haven van de funderingen voor de windturbines, de windturbines zelf, de WECs in pilootfase en het OHVS (indien van toepassing);
   - Voorbereiding op zee van de bouwplaats van windturbines en het OHVS;
   - Aanvoer en plaatsing van de funderingen op zee;
   - Installatie van transitiestukken (indien van toepassing);
   - Installatie van parkbekabeling;
   - Installeren van erosiebescherming (indien van toepassing);
   - Installeren van het OHVS (indien van toepassing);
   - Installeren van de WECs in pilootfase & bekabeling;
   - Voorbereidende baggerwerkzaamheden ter hoogte van de vaargeul voor de aanleg van de exportkabel(s) in het fall-back scenario;

- Voorbereiden van de kruisingen van bestaande leidingen van derden
- Voorbereidende baggerwerkzaamheden ter hoogte van de vaargeul voor de aanleg van de exportkabel(s);
- Installeren van verbindings/exportkabel(s);
- In dienst nemen van alle elektrische componenten;
- Aanvoer en oprichting op zee van de windturbines (en het OHVS);
- In dienst nemen van de windturbines en WECs;

3. De exploitatiefase (2018 – 2038):

- De windturbines en WECs produceren elektriciteit die via de vermogenkabels naar het land of naar de Alpha-installatie van Elia wordt gevoerd en geïnjecteerd wordt in het openbare elektriciteitsnet;
- Op geregelde tijdstippen wordt gepland (preventief) onderhoud uitgevoerd ten einde de installatie in optimale conditie te houden en storingen te vermijden;
- Volgens noodzaak worden er storingsonderhoud en/of reparaties uitgevoerd;
- Voor de dagelijkse exploitatie van het energiepark zal men beroep doen op een centraal controlecenter;
- Een team van gekwalificeerde technici zal worden belast met preventieve en curatieve onderhoudstaken;
- Bij de geïnstalleerde WEC-systemen zal de techniek, betrouwbaarheid, efficiëntie, rentabiliteit en onderhoudsgemak geregistreerd en geanalyseerd worden

4. De ontmantelingsfase

- Verwijdering van de WECs
- Demontage en afvoer van de windturbineonderdelen;
- Verwijdering van de bovenbouw van het OHVS in het park;
- Verwijdering van de funderingen;
- Verwijdering van de elektrische kabels.

Hierna volgt per uitvoeringsfase het benodigd materieel en een beschrijving van de activiteiten en uitvoeringswijzen. Voor technische details wordt verwezen naar § 2.6: Beschrijving van de technologie.

2.7.2 De ontwikkelingsfase (2012-2017)

Aan de bouw van een offshore energiepark gaat een uitgebreide voorbereiding vooraf. Er is een belangrijk gedeelte dataverwerving, data-analyse, engineering en vooronderzoek noodzakelijk alvorens te kunnen starten met de bouw van de installaties op zee. Voor het definitieve ontwerp van de technische installatie zullen aanvullende locatiespecifieke gegevens verworven en geanalyseerd worden.

Het verwerven van deze locatiespecifieke gegevens gebeurt door middel van:

- Een desktop studie met als doel om vooreerst de grootte-orde van de omgevingsparameters voor het ontwerp van de windturbines, funderingen, WECs en andere structuren vast te leggen. Volgende onderwerpen worden in de desktop studie behandeld:
  - Wind- en golfklimaat;
  - Morfologie;

- Hydrodynamisch klimaat;
- Bodemkarakteristieken.

- Een geofysisch onderzoek op de offshore locatie: bathymetrie (multibeam sonar (MBES)), side-scan sonar (SSS), seismische metingen en magnetometrische metingen;
- Een geotechnisch onderzoek op de offshore locatie (sonderingen, boringen) en laboproeven;
- Mogelijks uitvoeren van windmetingen door middel van meetmast, floating LIDAR of LIDAR op vast platform
- Meteorologische en oceanografische studie, en analyse;
- Teneinde naast het windpotentieel ook een goede inschatting op te stellen van het lokale golfenergiepotentieel om de verschillende WEC-systemen naar energierendement te valideren, is een gedetailleerde kennis van het lokale golfklimaat aangewezen. Hiertoe wordt, naast numerieke simulaties en mogelijke data-analyse van beschikbare golfgegevens in nabijgelegen meetstations, ook een uitgebreide meetcampagne (met geschikte meetopstellingen) vooropgesteld. Hierbij worden golfgegevens (hoogte, richting, periode, spectrum,..) verzameld in het concessiegebied teneinde een correcte begroting te maken van het potentieel aan golfenergie in ruimte en tijd.

2.7.2.1 Geofysisch onderzoek

Het geofysisch onderzoek omvat onder andere bathymetrische (MBES), side-scan sonar, seismische en magnetometrische metingen.

Geofysische metingen zijn van het grootste belang voor het bepalen van:

- De locaties voor uitvoering van het geotechnisch onderzoek
- De inplantingsplaats van de installaties;
- De kabeltracés van de verbindingskabels naar Alpha, eventueel de exportkabels naar land en de tracés van de kabels binnen het offshore energiepark (parkkabels).

Door middel van geofysisch onderzoek:

- Kan de bodemdiepte van het aangevraagde domeinconcessiegebied bepaald worden;
- Kunnen bestaande hindernissen zoals kabels, leidingen, wrakken enzovoort gelokaliseerd worden;
- Kan de gelaagdheid van de ondergrond bepaald worden;
- Kan de morfologische stabiliteit van de inplantingzone gecontroleerd worden.

De resultaten van het seismische onderzoek, dat de gelaagdheid van de ondergrond registreert, worden later gekalibreerd door middel van het geotechnisch onderzoek dat toelaat de waargenomen lagen kwalitatief te bepalen.

Voor het geofysisch onderzoek wordt een hydrografisch meetvaartuig ingezet uitgerust met:

- Een nauwkeurig plaatsbepalingsysteem
- Dieptemetingsapparatuur (MBES)
- Side-scan sonar apparatuur (SSS)
- Seismische zend- en ontvangapparatuur
- Magnetometrische gradiënt zend – en ontvangstapparatuur
- Dataverwerkingssystemen

2.7.2.1.1 Bathymetrische metingen

Het is belangrijk om een juist beeld te hebben van de zeebodem, zowel op de locatie van de fundering van de installaties, als langs het traject van de diverse zeekabels.

Uit de bathymetrie kan afgelezen worden wat de waterdiepte is waarvoor de fundering moet ontworpen worden.

Bijkomend zal, door het vergelijken van bathymetrieën genomen op verschillende tijdstippen, een idee gevormd worden van de morfodynamiek en de stabiliteit van de zeebodem.

2.7.2.1.2 Side-scan sonar metingen

Met SSS kan een meer gedetailleerd beeld van de zeebodem bekomen worden dan met MBES. SSS wordt gebruikt voor het (visueel) in kaart brengen van o.a. ook niet-metalen voorwerpen op de zeebodem (houten wrakken, afval, ed).

2.7.2.1.3 Seismische metingen

Het doel van het uitvoeren van seismische metingen is het in kaart brengen en interpreteren van de reflecties die duiden op de scheiding tussen verschillende grondlagen met verschillende geofysische / geotechnische eigenschappen. Het resultaat van deze metingen wordt daarvoor gecombineerd met het geotechnisch onderzoek.

De grondgelaagdheid zal mede het aanzetpeil van de funderingen bepalen.

2.7.2.1.4 Magnetometrische metingen

Het doel van deze metingen is om de aanwezigheid van metalen voorwerpen zoals kabels, (delen van) scheepswrakken, ankers, niet ontplofte munitie, mijnen en dergelijke in het aangevraagde domeinconcessiegebied en in het kabeltracé te bepalen omdat deze de lay-out van het energiepark en de kabeltracés kunnen beïnvloeden.

Tijdens de magnetometrische meetcampagne worden door het meten van de afwijking van aardmagnetische straling ijzer- of staalhoudende anomalieën in de ondergrond gelokaliseerd en gekwalificeerd.

Voor het geofysisch onderzoek wordt ondermeer volgend materieel ingezet:

- Opnameschip
- Plaatsbepalingssystemen
- Sonar en magnetometrische apparatuur

2.7.2.2 Geotechnisch onderzoek

Het geotechnisch onderzoek heeft tot doel het karakteriseren van de ondergrond ter plaatse van de funderingen en langsheen het tracé van de kabels. Het geotechnisch onderzoek omvat sonderingen, boringen en laboproeven.

Op basis van de resultaten van het seismisch onderzoek zal op diverse locaties in situ een diepsondering en/of een boring worden uitgevoerd en zullen al dan niet geroerde grondmonsters ter hoogte van deze locaties worden verzameld. Langsheen het kabeltracé zullen verschillende ondiepe sonderingen en staalnames gebeuren. Op de monsters worden in het laboratorium diverse analyses uitgevoerd.

Voor het geotechnisch onderzoek wordt ondermeer volgend materieel ingezet:

- Hefeiland of DP2-type vessels
- Klein, multifunctioneel werkschip
- Sondeer– en boorapparatuur
- Plaatsbepalingssystemen

2.7.2.2.1 Sonderingen (CPT)

De sonderingen zullen uitgevoerd worden met behulp van een elektrische piëzoconus. Hierbij worden de conusweerstand, de wrijvingsweerstand en de poriënwaterspanning gemeten langsheen het volledige traject van de sondering. Per funderingslocatie wordt normaliter minstens één CPT uitgevoerd.

2.7.2.2.2 Boringen

Het uitvoeren van boringen op de relevante funderingslocaties geeft zowel via de boorparameters als via de boorspecie (geroerde of ongeroerde monsters) een continu beeld van de ondergrond. Al deze gegevens worden verzameld in een beschrijvende boorstaat.

Tijdens de uitvoering van de boring kan de boring indien nodig onderbroken worden om lokaal in situ pressiometerproeven (Ménard) uit te voeren. Hierbij wordt in een geboord gat een ballonvormige cel gelaten, die vervolgens wordt opgeblazen, waarna het gemeten verband tussen druktoename en volumevergroting de exacte stijfheid van de grond aangeeft.

Op regelmatige afstand wordt er een geroerd grondmonster genomen. Afhankelijk van de noodzaak en gebaseerd op eerder uitgevoerd onderzoek, wordt bepaald op welke diepte en hoeveel ongeroerde monsters nodig zijn ten behoeve van de laboproeven. De ongeroerde monsters worden genomen met behulp van een steekboor/puls aangepast aan de te verwachten grondsoort.

Het aantal en de inplanting van de boringen wordt bepaald op basis van de resultaten van het geofysisch onderzoek (seismiek) en de resultaten van de CPT's.

Aanvullend worden langsheen het kabeltracé ook in situ metingen van de thermische geleidbaarheid van de lokale bodem voorzien.

2.7.2.2.3 Laboproeven

Het uitvoeren van laboproeven resulteert in een verhoogde kennis van de eigenschappen van de bodem, nadat deze al in grote lijnen is vastgelegd via bovenvermelde methodes.

Afhankelijk van het type van fundering en de aard en de diepteligging van een bepaalde grondlaag, zullen een aantal laboproeven uitgevoerd worden op al dan niet geroerde monsters.

Op basis van de proeven zal er een beter beeld gevormd kunnen worden van diverse karakteristieken van de bodem:

- Korrelverdeling
  - Geroerd monster
  - Bepaling van organische stof en kalkgehalte
  - Via gekalibreerde zeven wordt de grondsamenstelling ontleed naar korrelverdeling

- Dichtheids-, volume- en massabepalingen
  - Geroerde en ongeroerde monsters
  - Minimum en maximum dichtheid
  - Proctorproeven
  - Watergehaltebepalingen
  - Permeabiliteit (K-waarde)
- Sterktemetingen
  - Ongeroerd monster
  - Triaxiaalproeven ter bepaling van geconsolideerde en niet-geconsolideerde, gedraineerde en ongedraineerde cohesie en hoek van inwendige wrijving. Uit deze proeven kan ook een elasticiteitsmodulus en samendrukkingsmodulus van de grond afgeleid worden.
  - Ter bepaling van het dynamisch gedrag van de grond worden de triaxiaalproeven ook met een cyclische variërende belasting uitgevoerd.
- Thermische geleidbaarheid, belangrijk voor het dimensioneren van de elektriciteitskabels

2.7.2.3 Meteorologische en oceanografische data en analyse

Windkarakteristieken, golf – en stromingsgegevens zijn van belang voor:

- De prognose van de energieopbrengst van het offshore energiepark;
- Het bepalen van de ontwerpparameters (design basis) van funderingen, turbines, WECs, kabels en OHVS (indien van toepassing);
- Het bepalen van de werkbaarheid van het materieel dat wordt ingezet bij de bouw en het onderhoud van het offshore energiepark.

In eerste instantie zal een verdere analyse uitgevoerd worden van de beschikbare data afkomstig van de bestaande meetstations die zich in de buurt van het aangevraagde domeinconcessiegebied bevinden, zowel uit Nederland, België als het Verenigd Koninkrijk. Deze data worden statistisch gecombineerd om een representatief windklimaat te bekomen en de extreme waarden van golven, stromingen en waterniveaus te bepalen. Hieruit volgen dan de nodige karakteristieke waarden voor het verdere ontwerp.

Indien noodzakelijk, zullen door middel van bijkomende meetcampagnes locatie-specifieke wind-, golf- en stromingsdata verzameld worden. Deze specifieke golfgegevens (als basis voor bepaling van golfenergiepotentieel) vormen de aanzet voor een verdere technisch-commerciële haalbaarheidsanalyse van verschillende WEC-systemen.

2.7.2.4 Ontwerpfase

De resultaten van het hierboven beschreven onderzoek vormen samen met de overige beschikbare data, waaronder de technische gegevens van het vooropgestelde type generatoren en de eisen van alle interfererende partijen, de basis voor het ontwerp van het offshore energiepark.

Specifiek rond de WEC-systemen en gelet op de actueel snellopende technologische ontwikkelingen rond deze systemen zal in deze fase een uitgebreide analyse uitgevoerd worden naar de (offshore) geschiktheid van de respectievelijke installaties in de Mermaid-concessiezone. Daarom zullen – parallel met de hier voorliggende milieueffectenanalyse – relevante aspecten als technische haalbaarheid, energieopbrengsten, efficiëntie en rendementen, financieel-economische waarden, elektrische connecties, installatie en

onderhoud op een geïntegreerde manier gevalideerd en geanalyseerd worden om tot een geschikte (lees BBT) applicatie te komen. In functie van bovenstaande afwegingen, een diepgaand marktonderzoek en de hier geformuleerde milieubeoordeling zal een “optimaal” WEC-systeem worden uitgewerkt. Gezien voor de WEC-systemen vandaag échte voorbeeld-realisaties of referenties ontbreken, dient de ontwerpinvulling ook als pilootproject te worden beschouwd.

2.7.3 Constructiefase (2016-2018)

2.7.3.1 Beschrijving van het materieel

Het aanbod aan materieel dat kan ingezet worden voor de realisatie van offshore energieparken is in sterke ontwikkeling. Hieronder worden enkele voorbeelden gegeven van ‘in de markt’ beschikbaar materieel.

Er dient rekening gehouden te worden met de werkbare dagen op de Noordzee die, gezien de weerscondities, zich hoofdzakelijk bevinden tussen april en oktober. Men opteert echter ook steeds meer om door te gaan met het bouwen tijdens de wintermaanden: stil en koud weer is eveneens geschikt voor constructiewerkzaamheden.

2.7.3.1.1 Mobiele kranen

Verschillende types mobiele kranen dienen ingezet te worden:

- 50 ton mobiele kraan,
- 100 ton mobiele kraan,
- 150 ton mobiele kraan,
- 600 ton mobiele kraan,
- 1250 ton mobiele kraan.

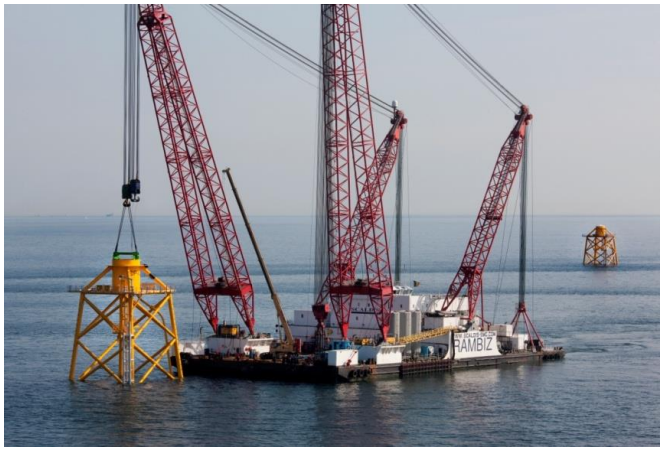
Deze kranen worden gebruikt om de turbines grotendeels vooraf aan wal te monteren zodat de moeilijkere mariene interventies tot een minimum herleid kunnen worden.



Figuur 2-49 Montage en laden van turbine onderdelen met mobiele kranen aan wal (bron: DEME)

2.7.3.1.2 Installatievaartuig

Indien een installatievaartuig ingezet wordt, kan beroep gedaan worden op een multifunctioneel zeeschip geschikt voor het manipuleren van zware lasten. Typische afmetingen zijn: 85 m lang en 45 m breed met een diepgang van 6 m en een hefcapaciteit omstreeks de 3.000 ton. Van belang bij de keuze van het schip voor zijn hijscapaciteiten zullen de hoogte van de toren en het gewicht van de gondel zijn. Een aantal schepen werden omgebouwd tot installatievaartuigen met als speciaal doel offshore windpark toepassingen. Ze werden dan ook speciaal voorzien om zo efficiënt mogelijk funderingen op de offshore locaties te brengen en op te stellen. Voorbeelden hiervan zijn de 'Stanislav Yudin' van het bedrijf Seaway Heavy lifting, de 'Jumbo Javelin' van het bedrijf Jumbo, 'Sea Power' en de 'Sea Energy' van het bedrijf A2SEA en het schip 'Mayflower Resolution' van het bedrijf MPI.



Figuur 2-50 Illustratie van een installatievaartuig (Rambiz) (bron: DEME)

2.7.3.1.3 Jack-up pontons of hefeilanden

Voor het plaatsen van funderingen en windturbines kan gebruik gemaakt worden van een jack-up ponton. Dit is in wezen een groot ponton dat door middel van ingebouwde spudpalen op de zeebodem kan staan. Daarna wordt het ponton opgetild tot boven de hoogst te verwachten waterstand. Op deze manier kunnen de mariene werken met een grotere veiligheid en nauwkeurigheid uitgevoerd worden. Het jack-up ponton wordt op positie gebracht door middel van een sleepboot. Een variante op de jack-up pontons zijn de jack-up schepen. Dit zijn schepen die voorzien zijn van spudpalen om zowel zelfnavigerend te zijn als zichzelf te kunnen opduwen boven het wateroppervlak.



Figuur 2-51 Illustraties van jack-up pontons (Goliath en Vagant) (bron: DEME)

2.7.3.1.4 Transportpontons

Een transportponton kan worden gebruikt voor het transporteren van de windturbines en de transitiestukken naar de site. Het transportponton wordt voortgetrokken door een sleepboot. Als transportponton kan een jack-up ponton ingezet worden (dat aldus bij aankomst op de offshore bouwplaats zichzelf eveneens uit het water kan heffen). Gezien de lange vaartijd van haven naar locatie zal gezocht worden naar een oplossing waarbij het aanleveren van de onderdelen optimaal gebeurt.



Figuur 2-52 Illustratie transportponton voortgetrokken door een sleepboot (bron: DEME)

2.7.3.1.5 Barge

Een barge kan ingezet worden voor de aanvoer van funderingen en transitiestukken. Een barge is een transportschip met platte bodem, het bezit meestal een eigen motor voor voortstuwing (geen sleepboot noodzakelijk) en dient specifiek voor het transport van zware materialen.

2.7.3.1.6 Multicat

Voor het aanleveren van alle klein materieel en personeel kan eveneens een klein, multifunctioneel werkschip voorzien worden.

2.7.3.1.7 Sleepboten

Twee types sleepboten kunnen worden ingezet:

- Een zeesleper, voor het zware sleepwerk;
- Een assistentie sleepboot, voor de fijn-positionering van een hefeiland.

2.7.3.1.8 Werkschip met graafwerktuig, baggerschip en steenstortschip

De windturbinelocaties dienen voorbereid te worden, indien gewerkt wordt met gravitaire funderingen (GBF) of indien gewerkt wordt met een statische erosiebescherming bij het monopile funderingstype. Hiertoe wordt een werkschip met graafwerktuig en/of een baggerschip ingezet. Voor het aanbrengen van een erosiebescherming wordt gebruik gemaakt van een steenstortschip (een schip dat op een gecontroleerde manier stenen op de zeebodem kan storten, al dan niet via valpijpen).



Figuur 2-53 Illustratie van een sleephopperzuiger (bron: DEME)



Figuur 2-54 Illustratie van een steenstortschip, type zijstorten (bron: DEME)



Figuur 2-55 Illustratie van een steenstortschip 'Rollingstone', type valpijpstorten (bron: DEME)

2.7.3.1.9 Heigereedschap

Voor het heien van de funderingspalen (indien van toepassing) dient een schip of hefeiland met zware heihamer voorzien te worden. Als heihamer kan worden gebruik gemaakt van een type IHC in zijn zware uitvoering zoals de IHC S 600 à 1.600 of een 'hydro hammer' zoals van het type 'Menck MHU-800'. Het heien en afwerken van een "standaard"-monopile (diameter tot 5-6 m en lengte van 60-80 m) neemt in normale werkcondities slechts 1 dag in beslag; terwijl voor de installatie van 4 pinpiles als funderingspalen van een jacket een totale periode van 2 dagen wordt voorzien (van aankomst installatieschip tot vertrek).

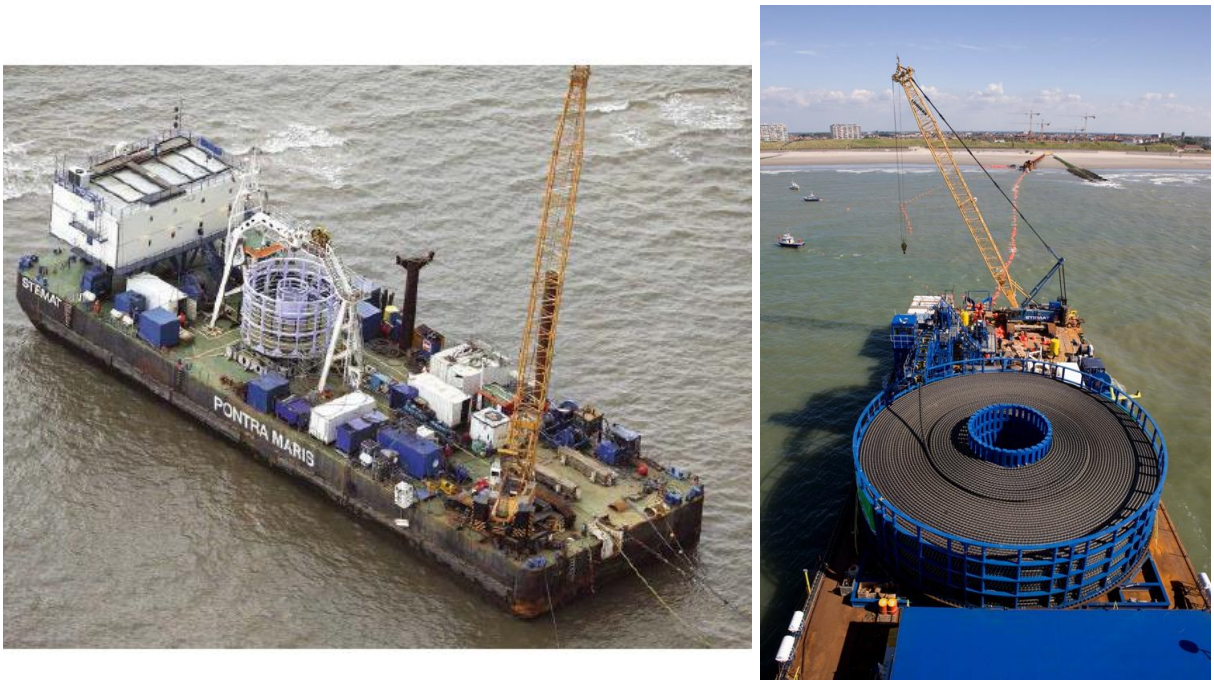
Als alternatief voor het klassieke inheien kan ook de 'vibrating' techniek gebruikt worden. Vibrerende heihamers bevatten een systeem van roterende excentrische gewichten aangedreven door hydraulische motoren waardoor de horizontale vibraties geneutraliseerd worden. Deze techniek is sneller en goedkoper dan het klassieke inheien. Deze techniek is op dit moment nog niet geaccepteerd door certificatiebureaus, maar wellicht wel op het moment van installatie van Mermaid.

Het grootste voordeel van deze techniek is dat er tijdens het vibrerend hameren minder geluid wordt geproduceerd (ca. 20 dB re 1µPa voor frequentieband van 300-1250 Hz) (http://www.noordzee.nl/soundsolutions/alternative-techniques/vibratory-pile-hammers/).

2.7.3.1.10 Jetting techniek

Voor het leggen en het ingraven van kabels in een zanderige bodem kan gebruik gemaakt worden van een kabellegschip of een kabelleg barge uitgerust met een 'jet trencher'. Door water onder druk in de zeebodem te spuiten, kan de kabel in de gefluïdizeerde bodem zakken.

Na een korte tijd keert de bodem terug naar zijn oorspronkelijke staat en bedekt deze de kabel.



Figuur 2-56 Illustraties van kabelleggers (bron: DEME)

2.7.3.1.11 Ploegen

Voor het leggen van de kabels kan eveneens gebruik gemaakt worden van een ploeg. Er zijn in principe twee types ploegen:

- Grondverplaatsende ploeg: De grondverplaatsende ploeg maakt een brede (tot 5 m), open V-vormige sleuf in de zeebodem waar de kabel in komt te liggen. Een grondverplaatsende ploeg is geschikt voor de meeste sedimenttypes, inclusief zacht gesteente.
- Niet-grondverplaatsende ploeg: Deze ploeg snijdt de zeebodem open met minimale grondverplaatsing (30 cm tot 1 m). De kabels lopen doorheen de hiel van de ploegschaar en worden op die manier in de bodem gedrukt. Deze techniek kan worden gebruikt in vrijwel alle soorten sediment, maar is minder effectief in sedimenten die door hun samenstelling een grote interne wrijving hebben. Om die reden is er ook een zogenaamde ‘jet ploeg’ ontwikkeld die de zeebodem rond het ploegzwaard weker maakt door middel van waterstralen onder druk. De jet ploeg is inzetbaar in alle sedimentsoorten.
- Een andere ontwikkeling van de niet-grondverplaatsende ploeg is de vibroploeg, die trillingen gebruikt om de wrijving op de ploegschaar te verminderen.



Figuur 2-57 Illustratie van een niet-grondverplaatsende kabelploeg Sea Stallion IV (bron: VSMC)

2.7.3.1.12 Baggeren (“trenchen”)

Waar de vereiste diepte niet bereikt kan worden met de voornoemde technieken omwille van de aanwezigheid van bvb. stijve klei of wanneer er anomalieën zoals rotsblokken of andere objecten verwacht worden, kan er voor het aanleggen van de kabels een geul gebaggerd worden door middel van een sleephopperzuig (Trailing Suction Hopper Dredger (TSHD)) (Figuur 2-58), of een ander baggertuig. Na het installeren van de kabel, zal de geul opgevuld worden door middel van een baggerschip. Voor meer details over de methodologie wordt verwezen naar § 2.7.3.5.3.

.



Figuur 2-58 Illustratie van de sleephopperzuiger Nile River (Baggerwerken Decloedt & Zn) (Bron: www.deme.be)

2.7.3.1.13 Horizontal Directional Drilling

Voor de aanlanding van kabels en de duinkruising kan de techniek van gestuurde horizontale boringen (Horizontal Directional Drilling) worden aangewend. Met een boormachine wordt een boorgat geboord van op een hefeiland, onder het strand en de duinen door waarna de kabels erdoor worden getrokken. Als alternatief kan dit ook via een caisson op het strand.



Figuur 2-59 Illustratie van het doortrekken van de exportkabel onder de duinen (bron: IMDC i.o.v. C-Power, april 2012)

2.7.3.2 De funderingen

2.7.3.2.1 Monopile fundering

In geval geopteerd wordt voor de basisconfiguratie of configuratie 1 kan gekozen worden voor een monopile fundering.

Uitvoeringswijze

Indien voor dit funderingstype gekozen wordt, zijn de **dimensies** naar verwachting als volgt:

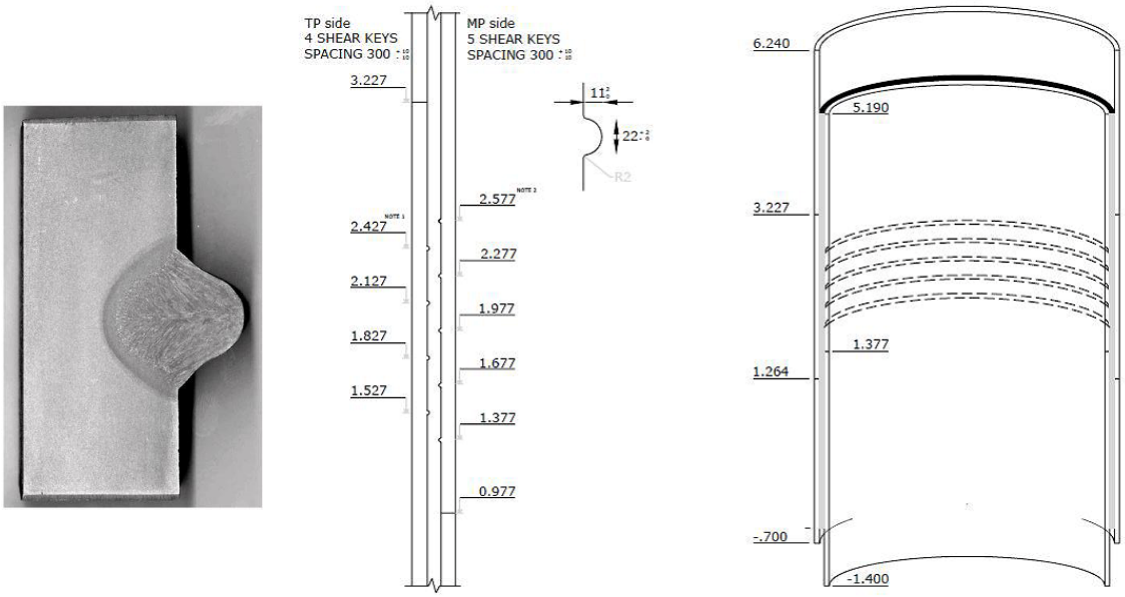
- Paaldiameter: 6,2-7,5 m voor een 6 MW Alstom Haliade en 5,0-6,0 m voor een 3,3 MW Vestas V112 windturbine (basisconfiguratie en configuratie 1);
- Indicatieve inheidiepte: 35 m voor een 6 MW Alstom Haliade en 33 m voor een 3,3 MW Vestas V112 windturbine (basisconfiguratie en configuratie1);
- Indicatieve totale paallengte: 55-80 m voor een 6 MW Alstom Haliade en 3,3 MW Vestas V112 windturbine (basisconfiguratie en configuratie 1);

Benodigd materieel voor het plaatsen van de monopile funderingen:

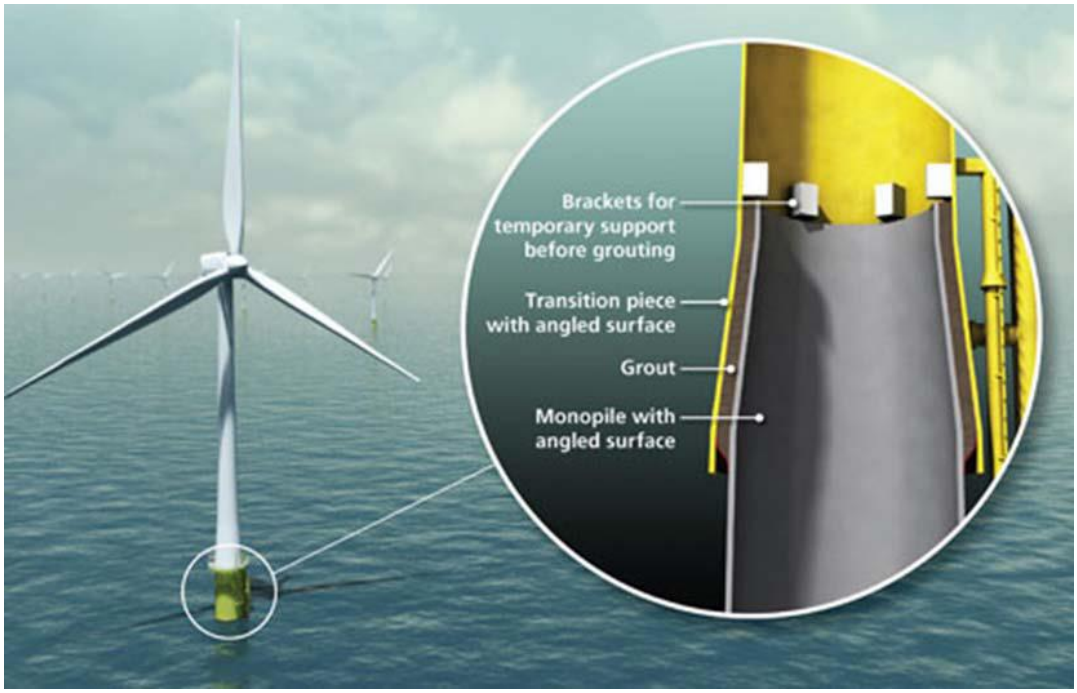
- Jack-up ponton (= hefeiland), jack-up schip of installatievaartuig, uitgerust met:
  - Kabelkraan met grote hijscapaciteit;
  - Elektrische lieren of hydraulische cilinders waarmee het jack-up ponton of jack-up schip zichzelf uit het water tilt;
  - GPS installatie ter bepaling van de juiste positie voor het inheien;
  - Hydraulische heihamer of vibrating techniek;

  - Meetapparatuur ter bepaling van inheidiepte en verticaliteit van de monopile;
  - Behuizingsfaciliteiten voor het personeel.
- Een barge of een jack-up: voor de aanvoer van de stalen palen (monopiles), het transitiestuk, en andere onderdelen. De monopiles kunnen eventueel ook drijvend aangevoerd worden. In de drijvende aanvoer worden op de uiteinden van de palen pile-plugs geplaatst waardoor de paal luchtdicht is en blijft drijven. Deze pile-plugs zijn stoppen die door middel van een hydraulisch systeem het uiteinde van de paal luchtdicht afsluiten. De palen worden vervolgens drijvend naar de site gebracht met sleepboten.
- Transitiestuk: het transitiestuk wordt in de traditionele oplossing vastgezet op de monopile door injectie van grout (krimpvrije mortel) in de smalle holte tussen de monopile en het transitiestuk. Hierbij worden twee concepten van groutconnectie overwogen:
  - Concentrische connectie met shear keys: shear keys zijn stalen uitstulpsels op zowel de monopile als de binnenkant van het transitiestuk (Figuur 2-60). De shear keys hebben gemiddeld een hoogte van 11 mm en een breedte van 22 mm;
  - Conische vorm van zowel monopile als transitiestuk zonder shear keys (Figuur 2-61).

Deze beide types van groutconnectie worden overwogen omwille van de recente onderzoeken m.b.t. verschuivingen van transitiestukken. De transitiestukken bij het Noordzeewind project in IJmuiden (Nederland) vertoonden verzakkingen, waardoor een herziening is gebeurd van de norm voor het ontwerp van de groutconnectie. Hierdoor zijn bovenstaande oplossingen naar voor geschoven als meest optimale.



Figuur 2-60 Illustratie van transitiestuk met concentrische connectie met shear keys



Figuur 2-61 Illustratie van transitiestuk met conische vorm van zowel monopile als transitiestuk zonder shear keys (bron: DNV, 2011)

Mede gelet op de recente operationele moeilijkheden rond dergelijke groutverbinding, zijn vandaag ook een aantal alternatieve verbindingen uitgewerkt:

- Monopile en transitiestuk kunnen ook via een traditionele flensverbinding met bouten op/aan elkaar geplaatst worden
- Ook een rechtstreekse verbinding tussen de verhoogde monopile en de mast van de windturbine (geen transitiestuk) met behulp van een geboute flensconnectie is vandaag mogelijk

Uitvoering: De monopile, het transitiestuk en andere onderdelen worden verscheept naar de offshore locatie. Het jack-up ponton wordt naar de locatie gebracht met een sleepboot (een jack-up schip vaart zelf). Na bepaling van de exacte positie wordt het hefeiland via kabels verankerd. Vervolgens zullen de 4 poten van het hefeiland uitgeschoven worden en hijst het werkplatform zich naar de vereiste hoogte om onafhankelijk van de golfslag operaties te kunnen uitvoeren.

Een funderingspaal wordt van het transportschip (de barge), van de jack-up of uit het water genomen via de hijskraan en wordt op de vereiste coördinaten in het water neergelaten en gepositioneerd. Nadat de positie en verticaliteit van de monopile zijn gecontroleerd, kan het heiblok op de monopile worden geplaatst waarna het heiwerk kan starten en de monopile tot de gewenste diepte wordt ingeheid, al dan niet via een eerste fase van intrillen. Zodra de monopile op diepte is, wordt de ‘as-built’ positie ingemeten. Met behulp van deze gegevens kan het transitiestuk op de juiste wijze op de monopile geplaatst worden. Dit transitiestuk dient om een eventuele scheefstand van de monopile – welke tijdens het heiwerk kan optreden – te corrigeren. Het transitiestuk dient dan ook binnen de toleranties verticaal te worden gesteld. De spleet tussen het transitiestuk en de monopile wordt met grout opgevuld. Na het

aanbrengen van het transitiestuk kan overgegaan worden tot het aanbrengen van voorzieningen die nodig zijn voor de inkomende en uitgaande kabels.

Aanbrengen erosiebescherming

Omwille van de grote hydrodynamische belasting, afkomstig van zowel de (getijde)stroming als van de golven, wordt een aanzienlijke erosie verwacht in de bovenste zandlaag in de directe omgeving van de individuele funderingspalen. Om ondermijning van de fundering te voorkomen wordt lokaal een erosiebescherming aangebracht. Bij het monopile funderingstype zijn twee types erosiebescherming mogelijk: statische of dynamische erosiebescherming.

Indien gekozen wordt voor de **statische erosiebescherming**, dient de windturbinelocatie vóór plaatsing van de fundering vlak gebaggerd te worden (een bodemvlak van 30 m x 60 m met hellingen van 1/5 en 1/8) tot op de diepte van het RSBL (reference seabed level), i.e. de diepte onder de actuele zeebodem tot waar duinen mobiel zijn. Op basis van bathymetrische en seismische gegevens kan het RSBL ingeschat worden. In dit MER wordt er vanuit gegaan dat deze mobiele laag volledig zal weggebaggerd worden op ca. 50% van de locaties tot op een diepte van ca. 4 m (worst-case scenario).

Daarna wordt een eerste bescherming aangelegd: de filter layer is een onderlaag van kleinere stenen (grind met kaliber Dn50 = 50 mm) met een dikte van ca. 100 cm. De diameter van de erosiebescherming bedraagt ca. 5 keer de paaldiameter.

Na aanleg van de filter layer kan de monopile fundering geplaatst worden. Kort nadien volgt de afwerking van de erosiebescherming, namelijk door aanleg van de amour layer, i.e. een toplaag van breukstenen (kaliber van 15 tot 300 kg; Dn50 = 540 mm). De amour layer heeft een dikte van ca. 100 cm. De grootste stenen worden voorzien voor de ondiepste locaties (waar de impact van golfslag het grootst verwacht wordt).

Indien gekozen wordt voor de **dynamische erosiebescherming**, wordt de windturbinelocatie vooraf niet genivelleerd. De monopile fundering wordt zonder voorbereiding van de zeebodem geplaatst en na installatie van de fundering wordt de vorming van een erosieput rondom de paal toegestaan. Deze put wordt vervolgens geheel of gedeeltelijk opgevuld met breukstenen, waarbij eerst een filter laag wordt geplaatst en vervolgens wordt afgestort met een toplaag. In dit MER wordt er uitgegaan van dynamische erosiebescherming op de overige 50% van de locaties.

Ter hoogte van de Blighbank (het Belwind windpark) werd de diepte van de erosieputten gemonitord, enkele dagen na beëindiging van het inheien van de monopiles (5 februari 2010). De eerste monopile werd geïnstalleerd op 8 september 2009. De dieptemetingen van de erosieputten toonden een variatie van 2 tot 6,5 m over de volledige meetperiode van 5 tot 6 maand (Degraer *et al.*, 2010).

Uitvoeringstermijn (werkbare dagen) per windturbine

- Plaatsen monopile en opzetten transitiestuk: ca. 1 dag per fundering (bij geschikt weer), waarvan 4h effectief geheid wordt. Voor de basisconfiguratie (38 funderingen) komt dit neer op een totale installatieperiode van ongeveer 2 maand, voor configuratie 1 is dit ongeveer 4 maand (zonder weerverlet).
- Aanbrengen erosiebescherming: ca. 2-3 dagen per fundering in geval van een statische erosiebescherming; ca. 1 dag per fundering in geval van een dynamische erosiebescherming.

2.7.3.2.2 Multipode fundering (jacket)

In geval geopteerd wordt voor de basisconfiguratie of configuraties 1, 2 of 3, kan een jacket funderingstype ingezet worden.

Uitvoeringswijze

Indien voor dit funderingstype gekozen wordt, zijn de **dimensies** voor elke paal van de jacket naar verwachting als volgt:

- Paaldiameter van de fundering (pinpiles): 1,5-2,25 m voor een 6 MW Alstom Haliade (basisconfiguratie) en een 8 MW Vestas V164 (configuratie 2); 1,3-1,8 m voor een Vestas V112 3,3 MW windturbine (configuratie 1); 1,5-2,5 m voor een 10 MW SeaTitan turbine met 190 m rotordiameter (configuratie 3);
- Indicatieve inheidiepte in de zeebodem: 20-64 m voor alle types;

Het **benodigd materieel** is nagenoeg gelijkaardig aan dat voor de monopile fundering; doch in principe is een minder zware hei-installatie nodig en kan de steenbestorting als erosiebescherming minder uitgebreid zijn.

Uitvoering:

De jacket is een complexe structuur bestaande uit vele individuele stalen balken die zeer nauwkeurig aan elkaar gelast dienen te worden op land.

De vakwerkstructuur of jacket wordt, eens voorgemonteerd en uitgerust met het transitiestuk, op zee op 3 of 4 funderingspalen (pinpiles) vastgezet.

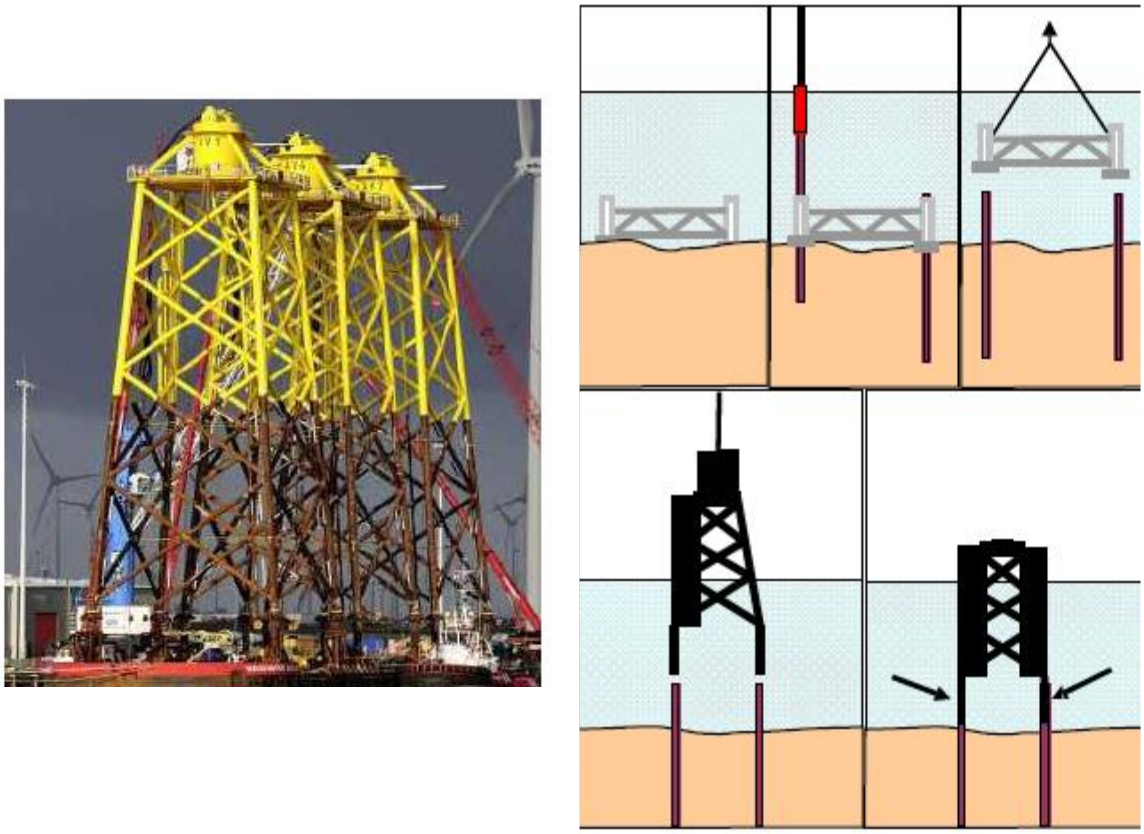
De fundering kan ofwel ‘post-piled’ of ‘pre-piled’ uitgevoerd worden. De meer traditionele manier om jackets te installeren is via *post-piling*, i.e. de funderingspalen worden door kokers gedreven aan de basis van de jacket poten. Nadat de jacket neergelaten is worden de palen in de zeebodem geheid of getrild. De verbinding tussen de kokers en de funderingspalen wordt verzekerd met grout.

Bij de *pre-piled* installatie worden de funderingspalen eerst in de bodem geheid of getrild met een mal. Pas na het inheien wordt de jacket op de zeebodem neergelaten, waar de punten aan de uiteindes van de poten in de palen passen (Figuur 2-62).

Pre-piling is bij offshore installatie van funderingen efficiënter, er kunnen vooraf kleinere schepen gebruikt worden voor het inheien, de grotere dure schepen kunnen dan efficiënter ingezet worden voor het installeren van de jackets op de voorgeïnstalleerde funderingen. Bij post-piling spenderen de dure grote schepen meer tijd per locatie. Post-piling wordt daarom weinig gebruikt voor windparken, in tegen stelling tot de olie- en gasindustrie waar slechts één structuur geïnstalleerd moet worden.

Aangezien er rekening moet gehouden worden met een maximale ‘stick up’ van de pin-piles (max. 8 m), worden meestal voorbereidende egalisatiebaggerwerken voorzien op de footprint van de jacketfundering, op locaties met grote (mogelijk mobiele) zandduinen. Dergelijke lokale, vlakke werkbasis maakt tegelijk het pre-pilen van de funderingspalen met een geleidingsframe veel efficiënter (in tijd en kwaliteit).

De installatie van de pinpiles is verder volledig gelijkaardig aan deze voor de monopile fundering (afgezien van het feit dat de paaldiameters kleiner zijn wat de heibaarheid ten goede komt).



Figuur 2-62 Illustratie van jacket constructies op land en
rechts: de installatie door middel van pre-piling op zee: plaatsing mal, inheien palen in mal, verwijderen mal, plaatsing jacket op de palen

Aanbrengen erosiebescherming

Gezien de beperkte diameter van de verankeringspalen bij een jacketstructuur is het niet aanbrengen van erosiebescherming en het laten ontstaan van de (beperkte) erosiekuil voor dit funderingstypes een optie. Dikwijls wordt op voorhand, ter voorbereiding van het heien van de funderingspalen, de lokale zeebodem genivelleerd op locaties met grote mobiele zandduinen. Zo kan het geleidingsframe bij het heien nauwkeuriger gepositioneerd en het heien zelf meer gecontroleerd gebeuren, waardoor de funderingspalen efficiënter en kwaliteitsvol geplaatst worden. Hierdoor kan de plaatsing van de jacket-structuur achteraf ook efficiënter worden uitgevoerd.

Mede gelet op de specifieke geotechnische karakteristieken van de lokale zeebodem (er wordt op delen van het concessiegebied een minder dikke Quartaire zandafdekking verwacht) – samen met het vooropgestelde nivelleringswerk ter hoogte van de jacket footprint - is de kans groot dat ook bij de jacketfunderingen in dit gebied een erosiebescherming wordt aangebracht.

Gelet op het permanente karakter van een erosiebescherming is de impact van erosiebescherming groter dan bij nivelleren. In dit MER wordt dan ook uitgegaan van een

worst-case scenario waarbij voor alle jacketstructuren een dynamische erosiebescherming wordt voorzien en er dus niet genivelleerd wordt.

Na installatie van de fundering wordt de vorming van erosieputten rondom de individuele palen toegestaan. Deze putten worden vervolgens geheel of gedeeltelijk opgevuld met natuurlijke breukstenen, waarbij eerst een filter laag wordt geplaatst en vervolgens wordt afgestort met een toplaag. De diameter van de erosiebescherming bedraagt ca. 2 keer de footprint aan de zeebodem van de jacketstructuur.

Voor een jacket van de basisconfiguratie is de footprint 20x20 m, de erosiebescherming zal dan 40x40 m bedragen; voor configuratie 1 zal de oppervlakte van de erosiebescherming 30x30 m zijn; bij configuratie 2 is dit 50x50 m en bij configuratie 3 is dit 60x60 m. Deze erosiebescherming kan – in functie van de lokale bodemgesteldheid en de te verwachten bodemdynamiek – in realiteit beperkter zijn in grootte en ruimte.

Uitvoeringstermijn (werkbare dagen) per windturbine

- Heien palen en plaatsen jacket: ca. 2-3 dagen per fundering (bij geschikt weer), waarvan vier keer 3h effectief geheid wordt met tussenpozen van 2 uur. Voor configuratie 1 komt dit neer op een totale installatieperiode van ongeveer 5-8 maand, voor de basisconfiguratie en configuratie 2 is dit ongeveer 3-4 maand, voor configuratie 3 is dit ongeveer 2-2,5 maand (zonder weerverlet).
- Aanbrengen erosiebescherming: ca. 1 dag per fundering in geval van een dynamische erosiebescherming.

2.7.3.2.3 Gravitaire fundering

Voor de basisconfiguratie en configuraties 2 en 3 kan een gravitaire fundering ingezet worden. In geval de gravitaire fundering wordt toegepast, zal deze geheel of gedeeltelijk opgebouwd worden op een bouwlocatie in de haven om vervolgens op een barge of ponton te worden gehesen en naar de opstellingsplaats te worden gebracht. Er mag van uitgegaan worden dat op de bouwlocatie verschillende funderingen tegelijkertijd in aanbouw zullen zijn. De klassieke technieken voor constructies in gewapend beton zullen hier worden gehanteerd (bekisten, wapenen, storten van beton…).

Uitvoeringswijze

Dimensies: Afhankelijk van de hydrodynamische condities en de uitvoeringsmethode is de diameter aan de voet van de GBF fundering tussen 25 en 40 m, de hoogte van een GBF kan variëren tussen 40 en 60 m. De zwaarste uitvoering zal besproken worden naar milieueffecten.

Benodigd materieel: De ‘lege’ fundering wordt via een transportponton of barge naar het windpark gebracht. De gravitaire fundering kan echter zo ontworpen worden dat ze drijft en zodoende naar de locatie gesleept kan worden. Dit reduceert de kosten voor zware liftschepen. De werkzaamheden voor het plaatsen van de gravitaire fundering gebeuren van op een jack-up ponton uitgerust met een zware hijskraan. Materiaal voor erosiebescherming wordt afgezonken met een steenstortschip, bvb. de ‘Thornton 1’ of ‘Vlaanderen XXI’ (DEME, 2008).

Uitvoering:

Een GBF moet ten allen tijde gefundeerd worden in een "niet mobiele" laag en op een goede ondergrond, en dus niet op bvb. een kleilaag die onderhevig is aan vervorming en degradatie.

Om de draagkracht van de zeebodem ter hoogte van de opstellingsplaats van de gravitaire fundering te verhogen zijn er volgende mogelijkheden:

- Grondverbetering/verdichting van de zeebodem ter hoogte van de gravitaire fundering door compacteren en/of injecties;
- Verwijderen (wegbaggeren) van de toplaag van de zeebodem (tot 'reference seabed level') en aanbrengen van een stabiele en vlakke laag zand/grind. De hoeveelheid baggerwerk wordt bepaald door: het verschil tussen RSBL en ASBL ('actual seabed level'), de kwaliteit van de ondergrond, de dikte van de funderingslaag en de mogelijks benodigde inklemming. Voor de Mermaid site is het vandaag niet heel duidelijk hoe mobiel de Quartaire zandlagen zijn. Ook is het niet helemaal geweten wat het (geotechnische) draagvermogen is van de onderliggende Paleogene (Tertiaire) (klei)lagen. In dit MER wordt een funderingsput met diepte van 7,5 m voorgesteld.

De zone ter hoogte van de inplantingplaats van de windturbine wordt tot max. 7,5 m onder de zeebodem uitgebaggerd waardoor een put ontstaat met taluds van ca. 1/5 en 1/8 en aan de basis een oppervlakte van ca. 4.000 m² (50 x 80 m). Nadien wordt een funderingsbed van zand of grind aangelegd van 1,3 m dik.

Op plaatsen waar het Paleogeen (Tertiair) minder diep ligt dan 7,5 m onder het ASBL en dit Paleogeen uit klei bestaat zal sowieso minder diep worden gebaggerd en zal het design van de funderingen locatiespecifiek worden uitgewerkt. Mogelijks is op deze locaties het gebruik van een GBF niet meer mogelijk. De bovenstaande diepte kan dus als een maximum beschouwd worden.

Tegenwoordig worden ook alternatieven onderzocht om de gravitaire fundering rechtstreeks op de erosiebescherming te zetten, zonder voorbereiding van de opstellingsplaats.

De tweede optie, met wegbaggeren van de toplaag, zal de zwaarste milieu-impact hebben en zal in deze MER besproken worden.

De gravitaire fundering is een constructie die geprefabriceerd wordt in de haven (premontagelocatie):

- Ze wordt uitgevoerd in gewapend beton, het verbindingsstuk voor de windturbinetoren is ingegoten;
- De gravitaire fundering is in een bepaalde mate 'hol' om het gewicht minimaal te houden voor hijsen en transport;

De gravitaire fundering wordt in de haven op een barge of ponton geladen en naar het windpark gesleept; ter plaatse wordt de prefabconstructie afgezonken op de vlak gemaakte zeebodem.

De gravitaire fundering wordt vervolgens gevuld met ballast: naast de traditionele ballastmaterialen zand/grind/water kunnen ook andere specifieke ballastmaterialen met hogere densiteiten gebruikt worden. De ballast kan tot 2/3 van het finale gewicht uitmaken.

Daarna volgt de opvulling van de bouwput met het eerder uitgebaggerde zand (backfill) zodat de GBF ingeklemd zit.

Na installatie wordt een steenbestorting als erosiebescherming aangebracht rond de structuur om lokale bodemerosie te vermijden.

De opeenvolging van funderingslaag, backfill en erosiebescherming zijn gevisualiseerd in Figuur 2-63.

Aanbrengen erosiebescherming

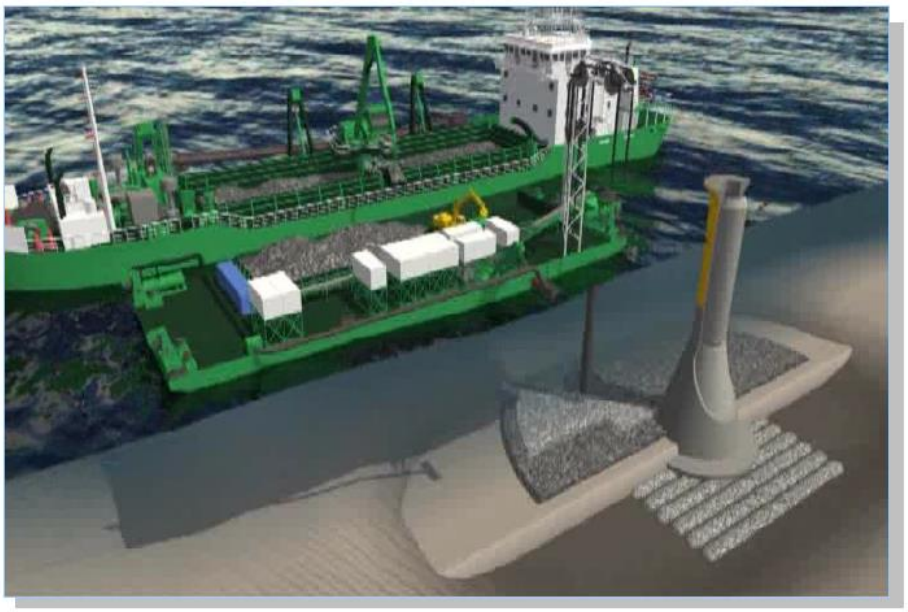
Om erosie rond de gravitaire fundering (en bijgevolg gereduceerde stabiliteit en hogere belasting door stromingen tegen te gaan) wordt rond elke fundering een erosiebescherming aangebracht. Bij een gravitaire fundering wordt een statische erosiebescherming aangebracht:

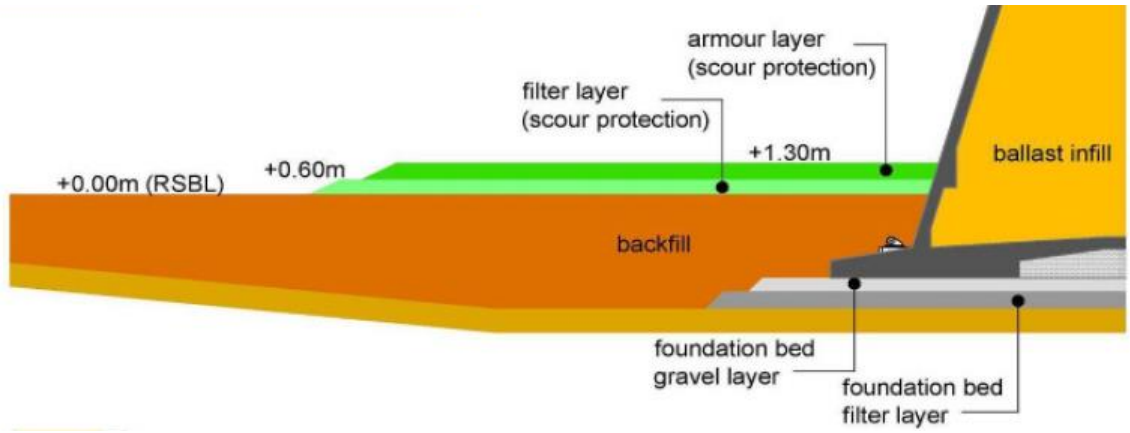
- In eerste instantie wordt de put die is uitgebaggerd terug aangevuld met uitgebaggerd zand (backfill);

Daarboven wordt een specifieke erosiebeschermingsfilter aangebracht in verschillende lagen:

- Filter layer met grind: laagdikte ca. 60 cm; kaliber 2-120 mm; oppervlakte is ongeveer 5 m in diameter meer dan de armour layer.
- Armour layer: steenbestorting met breuksteen: laagdikte ca. 70 cm; mengsel van 5-200 kg; oppervlakte is plaatsafhankelijk ca. 2,5-3 keer de GBF doorsnede aan het zeebodemoppervlak.

De zandbalans wordt besproken in hoofdstuk 5.1: ‘Beschrijving en beoordeling van de effecten op Bodem en Water’.





Figuur 2-63 Illustratie van het aanbrengen van de backfill en erosiebescherming bij een gravitaire fundering (bron: DEME, 2008)

Uitvoeringstermijn (werkbare dagen) per windturbine

- Voorbereiden opstellingsvlak gravitaire fundering: 8-10 dagen per fundering;
- Plaatsen gravitaire fundering: 1-2 dagen per fundering;
- Heraanvullen funderingsput en aanbrengen erosiebescherming: ca. 8-10 dagen per fundering.

2.7.3.2.4 Suction bucket principe

De suction bucket fundering kan gezien worden als een alternatieve uitvoeringswijze bij monopile of jacket structuren (basisconfiguratie en configuraties 1, 2 en 3). Het principe vormt een alternatief voor het inheien of intrillen van de stalen buispalen bij de monopile en jacket fundering. Als dusdanig vormt een suction bucket - eens de bucket geplaatst in de bodem - een zelfde type fundering en blijven dus alle andere uitvoeringsactiviteiten zoals het nivelleren of het al dan niet aanbrengen van erosiebescherming bij monopile en jacket nagenoeg hetzelfde.

Uitvoeringswijze

Dimensies: de typische opbouw van een suction bucket fundering voorziet een brede “rok” (skirt) met een diameter van 15 – 20 m die in de bodem wordt gebracht. Via een overgangsstuk (“lid”) wordt boven de bestaande zeebodem de aansluiting naar de schacht (“shaft”) gerealiseerd. Deze schacht vormt dan de verdere verbinding met de toren waarop de windturbine wordt gemonteerd. De schacht heeft vergelijkbare dimensies met de monopile, terwijl de rok – in functie van de lokale geotechnische bodemcondities – een gepaste diameter en hoogte (10-12 m) krijgt.

Het **benodigd materieel** is volledig gelijkaardig aan dat voor de monopile en multipode jacket fundering. Nagenoeg elk schip kan het zuigproces uitvoeren.

Uitvoering: constructie op land en het transport van de monopile of jacket structuur is hiervoor beschreven. Suction buckets zelf kunnen al drijvend naar de installatielocatie getransporteerd worden (Figuur 2-64). De installatie van dit type fundering is gebaseerd op ‘zuiging’. De volledige bucket (skirt+lid) wordt verticaal op bodem geplaatst. Na de indringing van de bodem onder eigen gewicht, wordt een vacuüm gecreëerd in de bucket waardoor de constructie onder zijn eigen gewicht verder verticaal in de bodem dringt. De rok wordt voorzien van pijpen waarlangs overtollig (grond)water continu wordt afgevoerd door geïnstalleerde pompen (Figuur 2-66 en Figuur 2-67). Dit gecontroleerde proces van onderdruk en waterafpomping verzekert de verticaliteit van de plaatsing. Via de pijpen kan de draagstructuur gestuurd worden wanneer die in de ondergrond dringt. Ter verdere ondersteuning van de bodempenetratie bij lokale bodeminsluitsels of ter assistentie bij de verticaliteitscontrole kan gebeurlijk ook de verweekte bodemlaag onder de onderrand van de rok expliciet worden weggezogen. Na installatie dienen de pompen daarna verwijderd te worden met behulp van tevoren geplaatste takels. Naast een uitgebreide meetcontrole bij de plaatsing (om absolute verticaliteit te verzekeren) gebeurt een visuele controle door middel van een Remote Operated Vehicle (ROV) zodat duikers in de meeste gevallen niet langer nodig zijn.

Tijdens de laatste fase van de installatie kan een kleine hoeveelheid sediment (10-20 m^3) uit de rok gezogen worden om volledig contact tussen zeebodem en rokbovenkant te verzekeren. Indien de pompsnelheid een bepaalde kritische waarde overschrijdt zal er liquefactie optreden van het sediment dat de rok omringt, dit veroorzaakt een zadelvormige uitholling rond de suction bucket (Wang *et al.*, 2006). Het materiaal is vloeibaar gemaakt in zeewater in

verhouding 1/4. Het materiaal wordt in de waterkolom vrijgelaten nabij de zeebodem. Het materiaal is gelijkaardig aan wat tijdens natuurlijke golf- en getijstroming zou bewogen worden.

Aanbrengen erosiebescherming

De grote diameter van de rok die in de bodem wordt geplaatst, wordt ter hoogte van de zeebodem gereduceerd naar de monopile dimensies van de schacht. Afhankelijk van het type overgangselement (“lid”) dient er rond deze constructie ook een zelfde type erosiebescherming te worden voorzien als bij een standaard monopile fundering. Er bestaan echter een aantal ontwerpen waarbij dit niet nodig is (Margheritini & Nezhentseva, 2012)

Uitvoeringstermijn (werkbare dagen) per windturbine

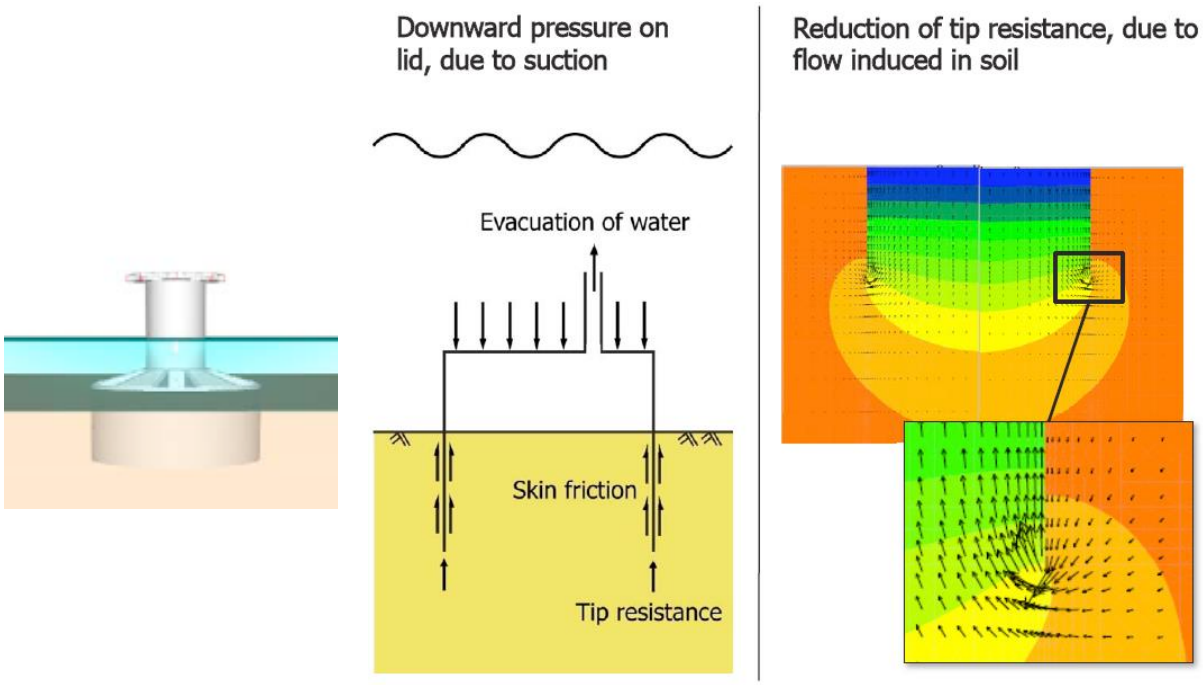
Het suction penetratieproces zelf duurt ongeveer 6-8 uur. De positionering en het neerlaten wordt geschat op 2-4 uur.



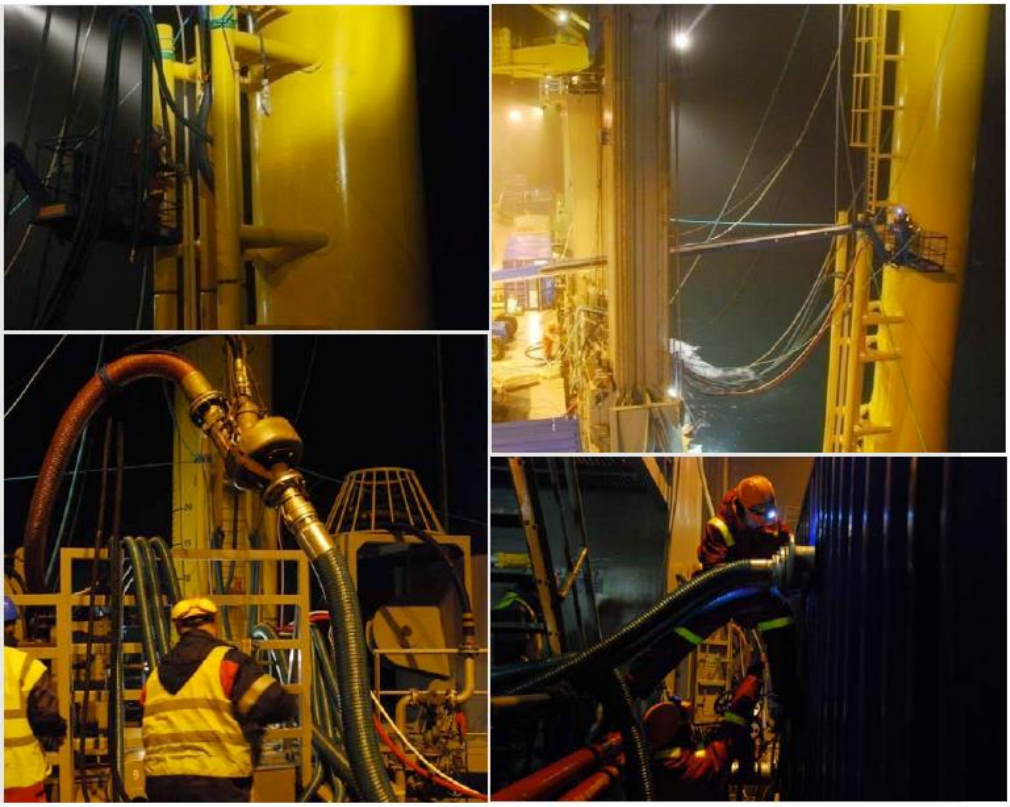
Figuur 2-64 Transport van een suction bucket via het water (bron: Le Blanc Bakmar 2009)



Figuur 2-65 Suction bucket fundering voor OHVS Global Tech 1 (Keppel Verolme Rotterdam)



Figuur 2-66 Illustraties bij het suction bucket principe (bron: Le Blanc Bakmar 2009)



Figuur 2-67 Illustraties bij het suction bucket principe: pompinstallatie (bron: Le Blanc Bakmar 2009)

2.7.3.3 De windturbines

De windturbines komen ofwel rechtstreeks van de producent of worden geprémonteerd in de haven. Voor de premontage van de windturbines en andere onderdelen van het windpark en als werkbasis voor personeel en de installatievaartuigen kan een bouwlocatie in een nabij gelegen haven als 'marshalling harbour" (voor projecten op de Belgische Noordzee zijn dit waarschijnlijk Vlissingen, Oostende of Zeebrugge) worden ingericht.

De constructie van de gondel met alle interne uitrusting, de rotor en de wieken gebeurt in de werkplaatsen van de windturbineconstructeur (Duitsland, Denemarken…). De constructie fabricage van de toren(mast)-delen gebeurt in de werkplaatsen van specifieke onderaannemers (in diverse Europese landen). Het transport van de bovengenoemde windturbineonderdelen vanuit de werkplaatsen van de constructeur naar de bouwlocatie in de haven zal gebeuren per schip en/of per vrachtwagen (afhankelijk van de plaatsen van herkomst en de dimensies van de onderdelen). De componenten van de windturbine worden als volgt op de kade aangeleverd:

- Een enkel, twee of drie voorgemonteerde segmenten van de toren, volledig uitgerust met rustplatforms, ladder, etc.;
- De volledig voorgemonteerde windturbinegondel (met as, mogelijks mechanische transmissie, generator, en krui-inrichting);
- De naaf van de rotor;
- Drie rotorbladen.

De windturbines worden in geheel of gedeeltelijk gemonteerde onderdelen naar de site vervoerd met een (gesleept) jack-up ponton en ter plaatse geassembleerd of worden samengebouwd op een jack-up ponton of installatieschip en geassembleerd naar de site vervoerd. Als alternatief kan de samenbouw van de windturbines ook volledig bij de leverancier worden uitgevoerd, vanwaar de windturbine in zijn geheel rechtstreeks naar de offshore site voor installatie wordt verscheept. Dergelijke assemblage gebeurt als volgt:

- De segmenten van de toren worden op het ponton/schip gezet met behulp van een grote mobiele kraan, en een bijkomende kleine mobiele kraan, die zorgt voor de nodige geleiding om de segmenten zonder beschadiging uit horizontale positie naar verticale positie te brengen. De torensegmenten worden later op de site d.m.v. inwendige boutverbindingen aan elkaar bevestigd. Afhankelijk van het type windturbine en de beschikbare hijscapaciteit kan de toren ook volledig in de haven worden gemonteerd en in zijn geheel naar de site worden gevaren voor installatie;
- Het werkplatform, de hijsinrichtingen en de elektrische infrastructuur die deel uitmaakt van de windturbine zelf, worden gemonteerd;
- Daarna wordt de windturbinegondel met de grote mobiele kraan op het ponton/schip gezet;
- De wieken (bladen) van de windturbine worden op de grond, in horizontale positie, samengebouwd op de hub (naaf), met behulp van een kleine of grote mobiele kraan tot een rotor;
- De rotor wordt dan op de as van de windturbine gemonteerd, met behulp van de grote mobiele kraan. De kleine mobiele kraan zorgt opnieuw voor de nodige geleiding. De kleinere turbinetypes gaat men vaak blad per blad installeren offshore terwijl de turbines vanaf 4-6 MW tot nu toe steeds werden geïnstalleerd met een volledig geassembleerde rotor;

- De windturbine wordt vervolgens op het ponton of installatieschip aan een elektrische voeding aangesloten om de nodige testen te kunnen uitvoeren. Na het testen wordt de windturbine terug losgekoppeld en klaargemaakt voor transport;

Voor de plaatsing van de windturbines op de funderingen wordt verder gewerkt met het installatievaartuig of wordt gebruik gemaakt van een tweede ponton (een jack-up ponton). De installatievolgorde is als volgt :

- Het ene of de meerdere torenelement(en) worden opgehesen door de hijskraan om op de fundering te worden gemonteerd;
- Als de toren of het torenelement staat, worden alle bouten geplaatst en aangedraaid;
- De hijskraan wordt losgekoppeld van de toren of het torenelement;
- De windturbine, met al dan niet voorgemonteerde bladen, wordt opgehesen door de hijskraan en op de toren gemonteerd;
- Als de windturbine staat, worden alle bouten geplaatst en aangedraaid;
- De hijskraan wordt losgekoppeld van de windturbine;
- Het installatievaartuig/ponton wordt verplaatst naar de volgende positie.

Voor wat betreft het assembleren van de windturbines op het transportponton of installatieschip wordt aangenomen dat 1 windturbine per 24h kan worden geassembleerd. Met betrekking tot het plaatsen van de windturbines op de funderingen wordt aangenomen dat er 1 windturbine per 24h kan worden geplaatst (bij geschikt weer). Er zal enkel gewerkt worden in gunstige weersomstandigheden en alle werken zullen uitgevoerd worden in volcontinu dienst (24 u op 24 u, 7 dagen per week).







Figuur 2-68 Illustraties van de installatie van WTG en rotor (bron: DEME, C-Power fase 2)

2.7.3.4 De golfenergieconvertoren (WECs)

2.7.3.4.1 Wavestar

De Wavestar wordt als enige typevoorbeeld verankerd in de bodem door middel van vier monopiles. De uitvoering en het benodigde materiaal zal daardoor gelijkaardig zijn aan de monopiles van de windturbines.

Uitvoeringswijze

Dimensies: De afmetingen zijn op dit moment moeilijk in te schatten en zullen afhangen van de uiteindelijke grootte van het platform. Er wordt uitgegaan van een model met dimensies 80 x 20 m, met standaard monopiles als poten met een diameter van ca. 3-4 m, vergelijkbaar met de diameter van jack-up ponton poten.

Het **benodigd materieel en uitvoering:** een transportponton voortgetrokken door sleepboten brengt de Wavestar naar de exacte locatie. Daar worden de monopiles neergelaten en verder in de bodem ingeheid van op een naastliggend jack-up ponton met heigereedschap. Er wordt vanuit gegaan dat geen dynamische erosiebescherming wordt aangebracht rondom de poten en dat voordien niet genivelleerd wordt.



Figuur 2-69 Transport van een Wavestar model tijdens de installatie in 2009 (bron: wavestarenergy.com)

Uitvoeringstermijn (werkbare dagen) per unit

- Het prototype in Denemarken werd geplaatst op 2 dagen (dichtbij de kust in ondiep water) (bron: wavestarenergy.com)

2.7.3.4.2 Poseidon

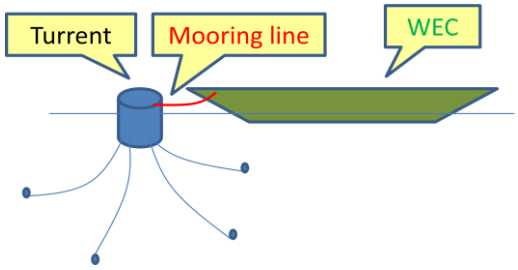
De Poseidon bestaat net als de Wavestar uit een rij vlotters die bevestigd zijn aan een platform. Het platform is hier echter drijvend en hoeft dus niet geheid worden met monopiles.

Uitvoeringswijze

Dimensies: Het model dat als typevoorbeeld in dit MER behandeld wordt heeft een afmeting van 60 m x 60 m.

Het **benodigd materieel en uitvoering:** de platformen worden gebouwd, samengesteld en getest in de haven. Het platform en het ankersysteem kunnen geïnstalleerd en bediend worden van op standaard sleepboten en werk/laadpontons (Figuur 2-71).

De verankering aan de zeebodem gebeurt via een 'turret mooring'. Deze techniek bestaat uit een draaipunt dat zich aan het zeeoppervlak bevindt en met meerdere kabels aan de zeebodem is verankerd (Figuur 2-70). Het draaipunt laat toe om hieraan de Poseidon te bevestigen zodat deze kan draaien om het platform altijd loodrecht op de invallende golfrichting te richten. Dit type verankering wordt ook gebruikt in de olie- en gasindustrie.



Figuur 2-70 Schematisch overzicht van een turret mooring

Aanbrengen erosiebescherming

Rond de verankering wordt geen erosiebescherming voorzien.

Uitvoeringstermijn (werkbare dagen) per unit

Per unit zal ongeveer 1 dag nodig zijn voor de verplaatsing naar het concessiegebied en het plaatsen van de verankering. Er kan overwogen worden om meerdere units per keer te verslepen.



Figuur 2-71 Vervoer van de Poseidon (bron: www.floatingpowerplant.com)

2.7.3.4.3 Weptos

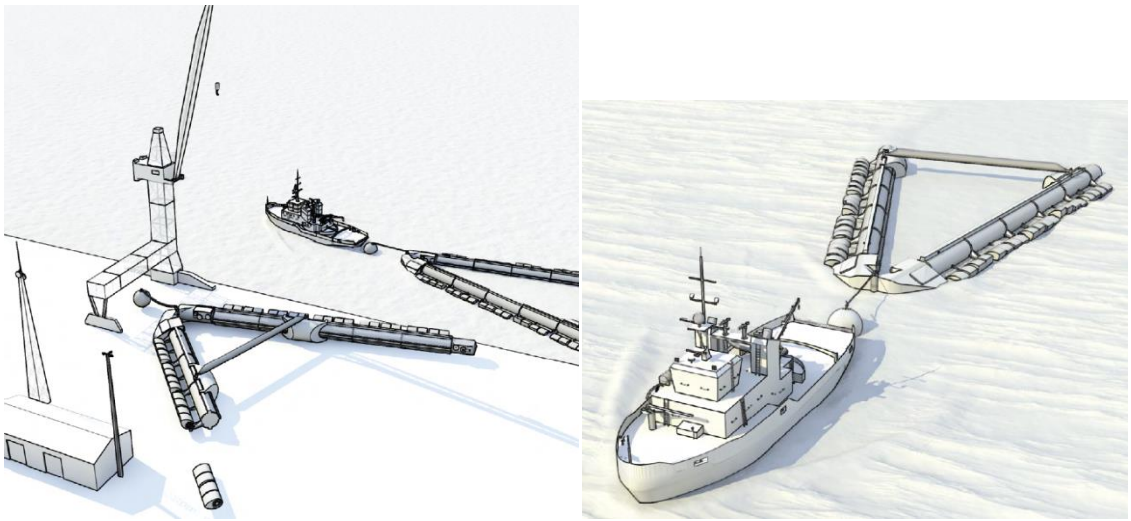
De Weptos bestaat uit kleine vlotters die gemonteerd zijn op een drijvend V-vormig platform.

Uitvoeringswijze

Dimensies: Voor de bespreking van de effecten wordt in dit MER uitgegaan van een typevoorbeeld waarvan de lengte van de 2 'armen' ca. 70 m bedraagt.

Het **benodigd materieel en uitvoering:** Doordat de Weptos bestaat uit vrij kleine onderdelen is het transport over land eenvoudig en goedkoop. De onderdelen worden in de haven ineen gezet waarna de Weptos op zee wordt vervoerd met een sleepboot (Figuur 2-72). Per Weptos is dus slechts 1 scheepsbeweging nodig sinds de sleepboot eveneens de verankering en de verbinding met de kabel kan voorzien. Indien er grote onderhoudswerken of vervangingen van onderdelen nodig zijn, kan de Weptos tijdelijk terug naar land worden gesleept.

De verankering gebeurt vermoedelijk via eenvoudige gravitaire ankers. De producent heeft hierover nog geen informatie vrijgegeven.



Figuur 2-72 Vervoer van de Weptos (bron: www.weptos.com)

Aanbrengen erosiebescherming

Rond de verankering wordt geen erosiebescherming voorzien.

Uitvoeringstermijn (werkbare dagen) per unit

Per unit zal ongeveer 1 dag nodig zijn voor de verplaatsing naar het concessiegebied en het plaatsen van de verankering. Er kan overwogen worden om meerdere units per keer te verslepen.

2.7.3.4.4 FlanSea

De Wave Pioneer is gebaseerd op de point absorber technologie. Een drijflichaam verankerd met een kabel aan de zeebodem volgt de beweging van de golf en zet hierbij de lineaire op- en neergaande beweging om in een rotationele beweging van de lier.

Uitvoeringswijze

Dimensies: Voor dit typevoorbeeld wordt uitgegaan van een Wave Pioneer met een doorsnede van 8 m en een individueel vermogen van 80 kW.

Het **benodigd materieel en uitvoering:** de boei en het verankeringssysteem worden met een boeienlegger of sleepboot naar de locatie gebracht. Mogelijk kunnen meerdere boeien per keer geïnstalleerd worden.



Figuur 2-73 Transport van de FlanSea (bron: Dennis Renson, UGent)

Aanbrengen erosiebescherming

Rond de verankering wordt geen erosiebescherming voorzien.

Uitvoeringstermijn (werkbare dagen) per unit

Per unit zal ongeveer 1 dag nodig zijn voor de verplaatsing naar het concessiegebied en het plaatsen van de verankering. Er kan overwogen worden om meerdere units per keer te verslepen.

2.7.3.4.5 Seabased

Het Seabased bestaat uit een generator die op de zeebodem is bevestigd via een gravity based fundering, en verbonden is met een boei aan het wateroppervlak die op en neer beweegt met de golven. De verschillende generatoren zijn verbonden met een substation onderwater.

Uitvoeringswijze

Dimensies: Voor het typevoorbeeld dat gebruikt wordt in dit MER wordt uitgegaan van een Seabased met een betonnen bodemplaat met doorsnede van 6 m en een boei aan het oppervlak met een diameter van 4 m.

Het **benodigd materieel en uitvoering**: Wegens de beperkte diameter (6-8 m) van de betonnen basisplaat zal het plaatselijk uitgraven van een funderingsput of het lokaal nivelleren van de bodem niet noodzakelijk zijn. De funderingen kunnen immers geplaatst worden op een ondergrond die een helling heeft tot 15%. Van op een transportponton of installatieschip

kunnen verschillende units (tot 40 stuks) gecontroleerd afgezonken worden naar de vooraf bepaalde locaties op de zeebodem en daar gepast verankerd worden. (Dahlsten, 2009).

Aanbrengen erosiebescherming

Wegens de beperkte diameter van de behuizing (ca. 1,5 m) en de betonnen basisplaat (ca. 6 m) zal geen erosiebescherming aangebracht worden rondom de GBF.

2.7.3.4.6 Lifesaver

De Lifesaver is een groot type single point absorber en heeft 5 kabels met 'power take-off units (PTO)', die de bewegingen van de grote ringvormige boei omzetten in elektriciteit.

Uitvoeringswijze

Dimensies: Als typevoorbeeld voor het MER wordt uitgegaan van een model met een doorsnede van 16 m en 5 PTO's.

Het **benodigd materieel en uitvoering:** Er is slechts 1 scheepsbeweging nodig om de Lifesaver te installeren aangezien de WEC en zijn verankering met een sleepboot kan vervoerd worden op zee (Figuur 2-74).



Figuur 2-74 Transport van de Lifesaver (bron: www.boltwavepower.com)

Aanbrengen erosiebescherming

Rond de verankering wordt geen erosiebescherming voorzien.

Uitvoeringstermijn (werkbare dagen) per unit

Per unit zal ongeveer 1 dag nodig zijn voor de verplaatsing naar het concessiegebied en het plaatsen van de verankering. Er kan overwogen worden om meerdere units per keer te verslepen.

2.7.3.5 Elektrische infrastructuur

2.7.3.5.1 Het offshore hoogspanningsstation (OHVS)

Het offshore hoogspanningsstation bestaande uit elektrische componenten zoals transformator(en), schakelapparatuur, stuur- en controlekasten, wordt volledig op land samengebouwd. Het complete station wordt op land bekabeld en getest. Alle apparatuur wordt in een gesloten behuizing ingebouwd die op een metalen draagstructuur rust. Het transport van het OHVS gebeurt normaliter op een barge. Voor de installatie op de fundering wordt een

zwaar hefkraanschip gebruikt (Figuur 2-75), vergelijkbaar met de eerder beschreven tuigen voor de installatie van windturbines. De fundering van het offshore hoogspanningsstation wordt apart geleverd en geïnstalleerd, gelijkaardig aan de funderingen van de windturbines. Net zoals bij de windturbines, kan deze fundering ook een GBF, een jacket fundering of een monopile fundering zijn.



Figuur 2-75 Illustratie van de installatie van een OHVS

2.7.3.5.2 De verbinding met de landkabel (optie C)

De exportkabel voor het windpark wordt vanaf de kust in de richting van het windpark gelegd (optie C - fall-back scenario). Gezien de grote lengte van de kabels en het hoge specifieke gewicht van de kabel per lopende meter, is een speciaal uitgerust kabellegschip vereist voor de installatie van de kabels. Dit schip zal de kabel ophalen op de fabricageplaats vanwaar het schip onmiddellijk naar het aanlandingspunt vertrekt.

De kruising met de duinengordel gebeurt door middel van een gestuurde boring, waarna de maritieme exportkabel verbonden wordt met de landkabel. Op het strand wordt de kabel in een sleuf geplaatst met een diepte van 3 m onder het zand. De bespreking hiervan valt buiten deze vergunningsaanvraag. Van zodra de kabel over een voldoende lengte doorheen de gestuurde boring is getrokken start het effectieve leggen van de kabel zeewaarts.

2.7.3.5.3 Het leggen van de verbindings- en exportkabel(s)

Indien wordt gekozen voor optie A worden de verbindingskabels tussen de respectievelijke clusters van het Mermaid-park en de nabijgelegen Alpha-locatie maximaal gegroepeerd binnen de concessie en lopen ze – eens buiten de domeinconcessie - parallel in een kabelcorridor verder naar het offshore hoogspanningsstation op de Alpha-installatie. Voor optie B worden er 1 of 2 verbindingskabel(s) voorzien tussen het OHVS in het Mermaid-park en de Alpha-installatie. Bij het fall-back scenario (optie C) lopen de exportkabel(s) rechtstreeks van het OHVS in Mermaid tot aan de kust via het BOG-tracé (1-2 parallele kabels in corridor).

Vooreerst wordt een bathymetrische survey uitgevoerd over een breedte van 100 m over de voorgestelde kabeltracés. Bovendien wordt de route ook overvaren met een dreganker, om te verzekeren dat er zich geen ongeïdentificeerde kabels, pijpleidingen of ander objecten bevinden langsheen de tracés. Tegelijk wordt ook de thermische conductiviteit van de lokale zeebodem geverifieerd.

Er wordt van uitgegaan dat de aanvoer van de kabels gebeurt via schepen van de kabellegger (Figuur 2-56). Meestal gebeurt deze aanvoer zelfs rechtstreeks vanaf de kabelproductiesite. Het schip is uitgerust met:

- Een oppervlaktereferentiesysteem: GPS;
- Een onderwaterreferentiesysteem: sonar;
- Eventueel dynamisch positioneersysteem;
- Een onder water ploeg of jet-ingravingsuitrusting.

Tijdens het kabelleggen zal regelmatig een ROV ingezet worden voor visuele inspectie van de kabelconfiguratie en de plaatsing op de zeebodem. Het kabellegschip of barge zal geassisteerd worden door multi-inzetbare schepen voor het neerlaten van de ankers en tijdens sterke stroming.

Over het ganse traject wordt de kabel principieel op minstens 1,0 m onder de lokale zeebodem ingegraven (zowel voor de verbindingskabels als de exportkabels), behalve ter hoogte van de kruising met de vaargeulen waar de diepteligging van de kabel in nauw overleg met de betrokken Vlaamse en federale overheden wordt vastgelegd. Principieel wordt hierbij een minimale dekking van 4 m ten opzicht van de voorziene nautische diepte ter hoogte van de vaargeul Het Scheur als ontwerpregel gehanteerd en 2 m ter hoogte van andere vaargeulen.

Verschillende technologieën kunnen in aanmerking komen voor het installeren van de kabels:

- **Jetting:** In de zeebodem wordt met een water straal onder hoge druk een beperkte sleuf gemaakt waardoor de bodem ter plaatse gefluïdiseerd wordt. De druk hiervan wordt geregeld in functie van de bodemkenmerken. Onder zijn eigen gewicht zakt de kabel onmiddellijk tot op de vereiste diepte in de sleuf. Door de natuurlijke stroming en turbulentie sluit deze sleuf zich op heel korte tijd na het leggen. Deze techniek veroorzaakt een zeer lokale en tijdelijke verstoring van de bodem met een verhoogde turbiditeit tot gevolg. Deze techniek is toepasbaar tot maximaal 2 meter diepte, afhankelijk van de bodemgesteldheid. In realiteit wordt vaak slechts 1 meter diepte bereikt.
- **Ploegen:** Deze techniek bestaat uit een ploeg dewelke achter het kabellegschip wordt bevestigd en de bodem open ploegt tot op de vereiste diepte. De kabel wordt afgerold in de aldus ontstane sleuf dewelke zich op een natuurlijke wijze op korte tijd terug sluit

door de natuurlijke stroming en getijde werking. De maximaal toepasbare diepte bedraagt ongeveer 2 meter. In realiteit wordt vaak slechts 1 meter diepte bereikt.

- **Injectoren:** Injectoren zijn een gecombineerde technologie van jetting en ploegen. Een grote ploeg is uitgerust met hoge druk spuitkoppen dewelke zowel voor als onder de ploeg de bodem los woelen waardoor er zich een gleuf achter de ploeg vormt. Door de combinatie van beide technologieën zijn grotere dieptes haalbaar, in functie van de bodemkenmerken zelfs tot 8 meter diepte. Ook hier sluit de sleuf zich op korte termijn op een natuurlijke wijze. De diepte is instelbaar langsheen het traject.
- **Baggeren (trenchen):** indien jetten of ploegen technisch niet haalbaar is (omwille van lokale bodemgesteldheid of andere randvoorwaarden), zal er een geul gebaggerd worden door middel van een Trailing Suction Hopper Dredger (TSHD). Hierbij worden de anomalieën samen verwijderd met het baggermateriaal en wordt een vrije sleuf aangelegd waarin de kabel nadien zonder grote hindernissen gelegd kan worden. Vervolgens wordt de geul terug opgevuld (backfill). Hetzelfde zand als dat van de uitgravingswerken kan hiervoor gebruikt worden. Een tijdelijke zandstockageplaats dient voorzien te worden en zal door de BMM aangewezen worden. Aangezien het om een officiële stortzone zal gaan, mag het zand gewoon geklept worden vanaf het baggerschip. De bodembreedte van de sleuf bedraagt om baggertechnische redenen minimum 5 m. De helling van het talud is sterk afhankelijk van de karakteristieken van de aanwezige grond. In zanderige bodems met een kleifractie is een aanname van 1/5 aan de veilige kant. De diepte van de geul is afhankelijk van de vereiste ingraafdiepte van de kabel en de hersedimentatie.
- **Baggeren + jetting of ploegen**: Aangezien de haalbare diepte van de klassieke jetting en ploeg methodes gelimiteerd is tot een maximale diepte van ongeveer 1-2 meter is een combinatie van een voorgebaggerde sleuf met één van deze technieken wenselijk om de minimale diepte in de vaargeul te kunnen garanderen als alternatief voor injectoren.

De meest waarschijnlijke methode is baggeren of jetten buiten de vaargeulen en een combinatie van baggeren en ploegen of jetten in de vaargeul. Er valt te verwachten dat het gebruik van injectoren of het uitbaggeren van een sleuf een grotere milieuverstoring veroorzaken dan jetting.

Buiten de vaargeul kan de exportkabel (150 kV-220 kV-380 kV) bijvoorbeeld begraven worden op de vereiste diepte door middel van een ploeg (bvb. de Sea Stallion IV). De ploeg wordt vanaf het kabellegschip (bvb. de Stemat Oslo Multi-inzetbare kraan barge) neergelaten en glijdt op ski's op een afstand van ongeveer 100 m achter het schip over de zeebodem. In principe is deze methode een 'post-lay 'begraafmethode omdat de kabel eerst op de zeebodem gelegd wordt en dan pas begraven op de vereiste diepte.

Omdat er mogelijks nog nieuwe technieken voor het leggen van elekrische vermogenkabels op de markt kunnen komen, zal ook hiervoor beroep gedaan worden op de BBT.

2.7.3.5.4 Het leggen van de parkkabels

Individuele turbines worden in 4-6 lijnstrengen van 66 kV parkkabels (bij 33 kV parkkabels betreft het 9-12 strengen) met elkaar verbonden en aangesloten ofwel op een traditioneel OHVS-platform binnen het windpark (Optie B) ofwel rechtstreeks naar het nabijgelegen transformatorstation (Alpha) (Optie A). Afhankelijk van de gekozen kabel, kunnen er meer of minder turbines per lijnstreng aangesloten worden. De parkkabels kruisen elkaar niet en liggen

op tussenafstanden van minimum 50 m, zoals beschreven in KB van 12 maart 2002. De totale lengte aan parkkabel voor WTG's varieert tussen ca. 35 km voor 24 windturbines (conf. 3, 66 kV) en ca. 50 km voor 80 windturbines (conf. 1, 33 kV).

Individuele WEC's worden ingelijnd volgens de preliminaire bekabelingschema's in § 2.6.6. De elektrische aansluiting van de WEC-installatie gebeurt ofwel op de schakelapparatuur van een WTG, ofwel rechtstreeks op het OHVS indien de WEC velden in de directe omgeving liggen.

De parkkabels van WTG's en WEC's (33 kV of 66 kV) zullen tot de vereiste diepte begraven worden waar mogelijk. Bij de WEC basistypes Poseidon, Weptos, FlanSea en Lifesaver zal een deel van de elektrische bekabeling vrij in de waterkolom hangen, tussen het vlottende bovengedeelte en de funderingsbasis/verankering op de zeebodem. Bij Wavestar en Seabased zal de volledige elektrische bekabeling begraven kunnen worden.

De techniek die hiervoor gebruikt wordt zal bepaald worden in functie van de resultaten van de analyse van de grondmonsters uit het geotechnisch onderzoek. Vandaag kunnen we vermoeden dat dit door middel van jetting zal gebeuren. Gezien de zone binnen het windpark niet meer toegankelijk zal zijn voor andere doeleinden wordt voorgesteld om – mede gelet op de te verwachten bodemgesteldheid (ondiep gelegen kleilagen) - deze kabels op een diepte van 1 meter onder de bodem te leggen. Tegenwoordig kunnen de jetting systemen van op afstand bediend worden door gebruik te maken van een speciaal ontwikkelde 'heavy duty' ROV met jetting apparatuur. Na lancering vliegt de ROV vrij in de waterkolom richting kabel, in plaats van gesleept te worden zoals vroeger gebeurde.

Ter hoogte van de turbines worden de kabels binnen in een buis, de zogenaamde J-Tube, vanaf de zeebodem omhoog gebracht. Dit is een stalen buis aan de zijde van de windturbine die met een bocht vertrekken ter hoogte van de erosiebescherming en die de kabel naar de binnenzijde van de turbine leiden boven de hoogwaterlijn. Op de bodem heeft deze J-Tube een flexibel stuk om het aanlanden van de kabel te vergemakkelijken. Waar de kabel de J-tube aan de onderzijde verlaat, wordt rond de kabel een flexibele bescherming aangebracht om de kabel te ondersteunen. Dit flexibel stuk van maximaal een tiental meter wordt indien nodig samen met de kabel met steenbestorting bedekt tot op dezelfde afstand als de erosiebescherming rond de funderingspaal. Dit wil zeggen dat het kabelleggen zelf geen bijkomende erosiebescherming impliceert ter hoogte van de aanlanding in de turbines.

In geval er geen erosiebescherming voorzien is zullen de kabeldelen die blootgesteld blijven beschermd worden met breuksteen of manueel ingegraven worden (ROV/duiker). De rotsbescherming zal gelijkaardig zijn aan deze voorgesteld voor de armour laag van de eventuele erosiebescherming.

2.7.3.5.5 Aansluiting op Alpha-locatie

De parallelle verbindingskabels op 66 kV (optie A of optie B) komen aan op het nog aan te leggen Alpha-station op de Lodewijkbank. In het offshore Alpha-station wordt - onder Elia-bevoegdheid - de geleverde energie, geproduceerd door het Mermaid windpark, opgetransformeerd naar 220 kV of 380 kV voor verdere injectie in het hoogspanningsnet. Het verdere technische ontwerp (zowel naar elektrische als civieltechnische infrastructuur) van het Alpha-station is in handen van Elia als bevoegde transmissienetbeheerder en vandaag nog volop in ontwikkeling, zodat verdere detaillering naar aansluiting op het Alpha-transformatorplatform hier niet kan weergegeven worden. In de betreffende

inplantingsplannen wordt het Alpha-station dan ook louter schematisch aangeduid door een “projectgebied Alpha”, zoals vooropgesteld in MER BOG (IMDC, 2013d).

Zowel de opbouw en inrichting van het transformatorplatform op het Alpha-station als de verdere exportkabel naar het land vanuit het offshore Alpha-transformatorstation vallen als dusdanig volledig onder de bevoegdheid van Elia als transmissienetbeheerder en dus ook buiten de scope van dit MER.

2.7.3.5.6 Het kruisen van vaargeulen, kabels en pijpleidingen

Er worden principieel twee kabeltracés buiten het energiepark voorgesteld: een aansluiting op de Alpha-installatie als onderdeel van het BOG-project van Elia op de Lodewijkbank (zie kaarten in hoofdstuk 4 ‘Alternatieven’)) via meerdere verbindingskabels (optie A) of via een OHVS met 1 of 2 verbindingskabels (optie B). Indien de Alpha-installatie niet gerealiseerd zou worden, bestaat er een fall-back scenario (optie C), waarbij de exportkabels rechtstreeks naar land via de westzijde van de concessiezones lopen (Northwester2, Belwind, SeaStar, Northwind, Rentel, C-Power en Norther), volgens het tracé vooropgesteld als exportkabeltraject tussen Alpha en de kust. Optie C is als dusdanig al in extenso besproken en naar milieueffecten beschreven en beoordeeld in de MER/MEB-studie rond het BOG-project (IMDC, 2013d). Het reeds bestudeerde en hier gedeeltelijk overgenomen tracé naar land kruist, in volgorde van energiepark tot land:

- de operationele TAT 14(I) telecommunicatiekabel
- de Interconnector gasleiding
- de Franpipe gasleiding
- de niet-operationele Rioja 3 telecommunicatiekabel
- de operationele SEA-ME WE3 seg. 10.4 telecommunicatiekabel
- de Concerto 1S telecommunicatiekabel
- de niet-operationele Rembrandt 2 telecommunicatiekabel
- de exportkabels van C-power
- de vaargeul ‘Scheur’

Bij aansluiting op de nabijgelegen Alpha-installatie op de Lodewijkbank dienen de verbindingskabels van het Mermaid energiepark achtereenvolgens de TAT 14 (I) telecommunicatiekabel, de Interconnector en Franpipe gasleidingen en de Rioja 3 en SEA-ME WE3 seg. 10.4 telecommunicatiekabels te kruisen. Het kruisen van kabels en pijpleidingen gebeurt steeds maximaal onder een hoek van 90° om de overlap tot een minimum te herleiden.

Kruising met de vaargeul

Het kruisen met de vaargeul is enkel van toepassing indien wordt gekozen voor het fall-back scenario (optie C) waarbij de exportkabel rechtstreeks naar land gaat en niet aansluit op Alpha.

Wat betreft het kruisen van de vaargeul wenst THV Mermaid zich te conformeren aan de veiligheidsvoorschriften zoals beschreven in bijlage 2.1.2. van het KB van 12 maart 2002 over het leggen van offshore kabels, d.w.z. dat voor de kruising met de zeevaartroutes de diepte bepaald wordt in functie van de bestaande en toekomstige toestand, en de randvoorwaarden en bijzondere voorwaarden die door het Vlaams Gewest worden gesteld (Vlaamse Overheid, Departement Mobiliteit en Openbare werken, Haven- en Waterbeleid).

Bij wijze van illustratie wordt hieronder de actueel gangbare uitvoeringstechniek beknopt omschreven.

Vóór het kabellegschip ter hoogte van de vaargeul passeert zal dus een sleuf uitgebaggerd worden. De sleuf zal minstens 10 m breed zijn aan de bodem en zal stabiele hellingen hebben (1/3-1/4). De sleuf zal reeds tot de vereiste diepte gebaggerd worden. Om te verzekeren dat de vereiste minimumdiepte van de sleuf bereikt is zal aan de start van de kabellegwerken een multibeam meetcampagne uitgevoerd worden. In het geval er zich lokale zandafzettingen in de sleuf zouden bevinden, zullen bijkomende baggerwerkzaamheden worden uitgevoerd. Na het leggen van de kabel zal de voorgebaggerde sleuf opgevuld worden met een deel van het eerder weggebaggerde materiaal dat tijdelijk gestockeerd wordt op een dumplocatie bepaald door BMM, tot de vereiste bedekking bereikt wordt.

De uitgevoerde stortingen op de vergunde stortzone mogen geen verondiepingen met zich meebrengen. In- en napeilingen op de gebruikte stortzones zullen hiertoe worden uitgevoerd: in het bijzonder wanneer er gebruik wordt gemaakt van de baggerstortzone Sierra Ventana. Deze zone zal niet aan de noordelijke zijde worden gebruikt. Dit om te vermijden dat de Westpitroute aan de zuidelijke zijde wordt gecompromitteerd.

Vooraleer de voorbereidende werken en het kabelleggen zelf te starten, zal er contact worden opgenomen met de afdeling Scheepvaartbegeleiding, waarbij een werkvergadering zal gepland worden met alle betrokken operationele overheidsdiensten van de Federale en Vlaamse overheid, waaronder de nautische dienstchef van de afdeling Scheepvaartbegeleiding van MDK, de Gemeenschappelijke Nautische Autoriteit (GNA), de havenautoriteiten / havenkapiteinsdiensten, Mermaid zelf en de uitvoerder van de werken.

De baggerwerken geven steeds voorrang aan alle verkeer in de vaarroute. De baggerwerken zullen uitgevoerd worden vóór de kabellegwerken van start gaan.

Kruising van kabels en pijpleidingen

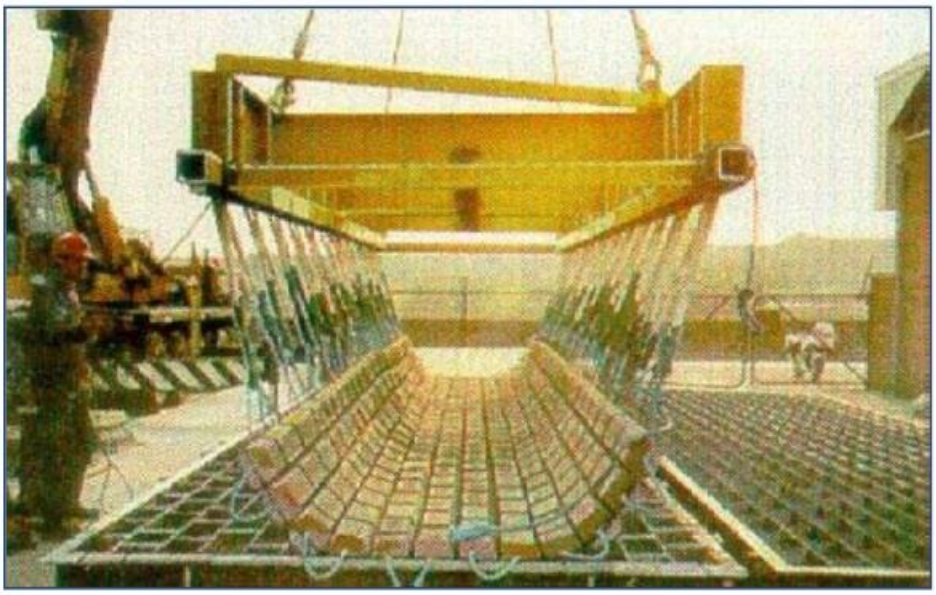
Wat betreft de kruising van pijpleidingen en kabels heeft Mermaid naast de bepalingen van het KB ook rekening gehouden met de ICPC (2007) aanbevelingen. Allereerst worden er met de eigenaars van desbetreffende kabels en pijpleidingen overeenkomsten gesloten waarin de technische randvoorwaarden worden vastgelegd.

Het principe van de kruising zal afhankelijk van de lokale condities uitgevoerd worden met matten en/of bestorting. In elk geval wordt er maximaal gestreefd naar een bundeling van de kabels ter hoogte van de kruisingen in een kabelcorridor van maximaal 350 m breed in het geval van optie A (4-6 verbindingskabels) en maximaal 100 m breed voor optie B (1-2 verbindingskabels).

De diepteligging van de te kruisen telecomkabels (TAT 14(I), Rioja 3 en SeaMeWe3 S10.4) is theoretisch minimaal 2 m in zandige bodem en 1 m in kleiige bodems (in overeenstemming met de voorschriften van het KB van 12 maart 2012). In deze gevallen zal eerst een filterlaag worden aangebracht, waarna de voorziene kabels van Mermaid ter hoogte van de kruising worden geplaatst met aan beide zijden een veiligheidsmarge van 5 m (de kabel zal dus over een afstand van 10 m bovenop het lokale zeebed liggen). Deze vrijliggende elektrische kabel kan lokaal (over deze lengte op de zeebodem) extra beschermd worden met bijvoorbeeld een beschermende huls (bv. Uraduct) rond de betreffende elektrische kabel. Vervolgens wordt de kabel, over de lengte van de kabel waar de beoogde diepteligging niet wordt behaald, afgestort met een erosiebescherming van 1 m dik. Als de te kruisen kabel lokaal niet op een diepte van minimaal 50 cm ligt (onderhevig aan wijzigingen na overleg met de eigenaars van

de kabels), kan er een beschermingsmat (of gelijkwaardig) op de desbetreffende kabel worden aangebracht alvorens de Mermaid bekabeling te leggen (Figuur 2-76). De beschermingsmat is typisch een flexibele mat bestaande uit bijvoorbeeld betonelementen verbonden door touw met hoge sterkte. Een alternatief hierbij kunnen zogenaamde GOSA-matten zijn: gevezelde open steenasfalt vormt hierbij een relatief dunne, plaatvormige, flexibele, stroom- en golfbestendige bekleding. Het afstorten van de kabel gebeurt analoog aan de situatie waar de kabel wel voldoende diep ligt.

In het aanvraagdossier worden 2 opties voorgesteld voor het aanbrengen van de erosiebescherming voor de kruising met telecomkabels: ofwel 1 groot stortvlak waarbij alle parallelle kabels samen worden beschermd, ofwel afzonderlijke erosiebescherming per kabel.



Figuur 2-76 Voorbeeld van een beschermingsmat

De kruising van de gasleidingen (Interconnector en Franpipe) is gelijkaardig aan deze van de telecomkabel, behalve de te houden veiligheidsafstand voor jetten of ploegen die aan weerszijden van de gasleiding minimum 50 m bedraagt. Principieel loopt de erosiebescherming van de gasleiding door aan weerszijden tot 50 m van de gasleiding.

Afhankelijk van de werkelijke diepte van de kabels en/of gasleiding zou het nodig kunnen blijken om een metalen ondersteuningsstructuur te installeren om een voldoende afstand tussen de elektriciteitskabel en de kabels of pijpleiding te garanderen. Dit is echter een beperkt lokale structuur met enkel een ondersteuningsfunctie. Deze zal enkel aangebracht worden indien detailonderzoek de noodzaak hiervan aantoont.

Technische specificaties omtrent ontwerp en uitvoering van dergelijke kruisingen worden verder in detail expliciet uitgewerkt bij de geïntegreerde milieuvergunningsaanvraag. De uiteindelijke technieken zullen in samenspraak met de eigenaars van de bestaande leidingen worden bepaald en worden uitgevoerd volgens de meest geschikte en beschikbare technieken.

2.7.3.6 Transportbewegingen tijdens de constructiefase

Elke transportbeweging bevat zowel de heen- als terugvaart, dus de dubbele afstand kust-concessiegebied. Het aantal bewegingen werd berekend op basis van het aantal windturbines per configuratie plus één hoogspanningsstation per configuratie en het aantal WEC's voor 1 basisveld, voor 20 MW en 61 MW.

De keuze om eventueel gebruik te maken van het suction bucket principe heeft geen effect op het aantal transportbewegingen bij de voorbereiding, aanvoer van onderdelen of aanbrengen van erosiebescherming, daar dit principe enkel als alternatief voor het inheien of intrillen bij monopile en jacket gezien wordt, en dus alle andere uitvoeringsactiviteiten hetzelfde blijven.

2.7.3.6.1 Transportbewegingen voorbereiding offshore bouwlocatie

Voor de helft van de monopile funderingslocaties en voor alle funderingslocaties wanneer gekozen wordt voor gravitaire fundering, dient de offshore bouwlocatie vooraf klaargemaakt te worden. Deze voorbereiding vereist het transport van twee schepen bij monopile en GBF: een baggerschip (voor de nivellering) en een stortschip (voor het plaatsen van funderingsbed bij gravitaire fundering of filter laag bij statische monopile). Er wordt verondersteld dat de twee schepen elk drie funderingen kunnen voorbereiden vooraleer terug te moeten keren naar de haven.

Tabel 2-9 Overzicht geraamd aantal transportbewegingen voorbereiding bouwlocatie per configuratie

Configuratie	Aantal turbines +OHVS	Funderingstype		Aantal transportbewegingen
Basisconfiguratie	38+1	Monopile	Statische erosiebescherming	13
			Dynamische erosiebescherming	n.v.t.
		Jacket		n.v.t.
		GBF		26
Configuratie 1	80+1	Monopile	Statische erosiebescherming	28
			Dynamische erosiebescherming	n.v.t.
		Jacket		n.v.t.
Configuratie 2	38+1	Jacket		n.v.t.
		GBF		26
Configuratie 3	24+1	Jacket		n.v.t.
		GBF		17

2.7.3.6.2 Transportbewegingen aanvoer funderingen en transitiestukken

Voor de aanvoer van de funderingen voor de turbines en het OHVS naar de offshore bouwlocatie wordt gebruik gemaakt van een barge of jack-up, waarbij een aantal funderingen worden aangeleverd per transport. Het aantal is zeer sterk afhankelijk van enerzijds de dimensies van de funderingsonderdelen en anderzijds van de dimensies van het transportmiddel. De nieuwste generatie jack-ups (bvb. Neptune of Innovation van DEME) kunnen 4-6 monopiles vervoeren. We gaan uit van de worst-case situatie, nl. 4 jackets of

monopile funderingen per transport. Gezien de afmetingen van een traditionele gravitaire fundering worden deze per stuk aangeleverd. Monopiles, suction buckets en gravitaire funderingen kunnen eventueel ook drijvend aangevoerd worden. Een overzicht van het geraamd aantal transportbewegingen per configuratie wordt weergegeven in Tabel 2-10. De funderingen zullen aangevoerd worden vanaf de plaats van hun fabricage. Dit kan een zelf ingerichte site zijn langsheen de Belgische kust of een bestaande site in één van de buurlanden bvb. Frankrijk.

Tabel 2-10 Overzicht geraamd aantal transportbewegingen voor de aanvoer van funderingen per configuratie

Configuratie	Aantal turbines +OHVS	Funderingstype	Aantal transportbewegingen
Basisconfiguratie	38+1	Monopile	10
		Jacket	10
		GBF	39
Configuratie 1	80+1	Monopile	21
		Jacket	21
Configuratie 2	38+1	Jacket	10
		GBF	39
Configuratie 3	24+1	Jacket	7
		GBF	25

Indien het monopile funderingstype toegepast wordt, dienen eveneens transitiestukken afzonderlijk naar de offshore bouwlocatie getransporteerd te worden. Bij het jacket funderingstype is het transitiestuk ingebouwd in de vakwerkstructuur en het gravitaire funderingstype vereist geen transitiestuk tussen de fundering en de mast van de windturbine.

De aanvoer van transitiestukken kan net zoals voor de aanvoer van de funderingen plaatsvinden met een barge of jack-up, waarbij 4 transitiestukken per transport aangeleverd worden, of met een groot installatieschip, waarbij 10 transitiestukken per keer aangevoerd worden. Een overzicht van het geraamd aantal transportbewegingen per configuratie wordt weergegeven in Tabel 2-11.

Tabel 2-11 Overzicht geraamd aantal transportbewegingen voor de aanvoer van transitiestukken per configuratie

Configuratie	Aantal turbines +OHVS	Funderingstype	Aantal transportbewegingen met barge of jack-up	Aantal transportbewegingen met groot installatieschip
Basisconfiguratie	38+1	Monopile	10	4
		Jacket	n.v.t.	n.v.t.
		GBF	n.v.t.	n.v.t.
Configuratie 1	80+1	Monopile	21	9
		Jacket	n.v.t.	n.v.t.

Configuratie 2	38+1	Jacket	n.v.t.	n.v.t.
		GBF	n.v.t.	n.v.t.
Configuratie 3	24+1	Jacket	n.v.t.	n.v.t.
		GBF	n.v.t.	n.v.t.

2.7.3.6.3 Transportbewegingen aanvoer erosiebescherming

In de voorliggende MER-analyse wordt verondersteld dat rondom alle monopile, jacket en gravitaire funderingen een erosiebescherming wordt aangelegd (MER-omhullende).

In het geval van gravitaire fundering zijn er bijkomende activiteiten: opvulling met ballast en backfill. Voor het opvullen van de gravitaire fundering met ballast worden extra transporten voorzien indien het gestockeerde gebaggerde materiaal uit de bouwput niet geschikt of onvoldoende is als ballast. Er wordt verondersteld dat drie funderingen gevuld kunnen worden vooraleer terug te moeten keren naar de stockeerplaats of de haven.

De aanvoer en aanleg van de erosiebescherming zelf gebeurt met één steenstortschip. Er wordt verondersteld dat het steenstortschip drie funderingen van een erosiebescherming kan voorzien vooraleer terug te moeten keren naar de haven. In geval van statische bescherming bij monopile dient enkel nog de armour laag aangebracht te worden in dit stadium, filter en armour laag in geval van dynamische bescherming bij monopile en jacket fundering, filter en armour laag in geval van gravitaire fundering.

Een overzicht van het geraamd aantal transportbewegingen per configuratie wordt weergegeven in Tabel 2-12.

Tabel 2-12 Overzicht geraamd aantal transportbewegingen voor de aanvoer van erosiebescherming per configuratie

Configuratie	**Aantal turbines +OHVS**	**Funderingstype**		**Aantal transportbewegingen**
Basisconfiguratie	38+1	Monopile	Statische erosiebescherming	13
			Dynamische erosiebescherming	13
		Jacket		13
		GBF		26
Configuratie 1	80+1	Monopile	Statische erosiebescherming	27
			Dynamische erosiebescherming	27
		Jacket		27
Configuratie 2	38+1	Jacket		13
		GBF		26
Configuratie 3	24+1	Jacket		9
		GBF		17

2.7.3.6.4 Transportbewegingen aanvoer geassembleerde windturbines, offshore hoogspanningsstations en meteomast

De windturbines worden ofwel in onderdelen (turbinegondel, toren, rotorbladen) naar de site vervoerd met een (gesleept) jack-up ponton en ter plaatse geassembleerd en geïnstalleerd met behulp van een tweede jack-up ponton dat ter plaatse blijft en zich enkel tussen de turbineposities beweegt.

Ofwel worden de turbines samengebouwd op een gesleept jack-up ponton of een installatieschip en geassembleerd naar de site vervoerd. In het geval van een jack-up ponton is ook hier een tweede ponton nodig voor de installatie van de turbines. In het geval van een installatieschip gebeurt de installatie van op het schip zelf.

De nieuwste generatie jack-up pontons kan gemiddeld drie complete turbines per keer verschepen. Een groot installatieschip kan tot tien geassembleerde turbines tegelijk vervoeren. Hierbij bestaat de optie om de locatie van de haven waar de turbines ingescheept worden verder weg van de Belgische kust te kiezen.

Ook het offshore hoogspanningsstation en de meteomast worden onshore geassembleerd en als geheel naar de site vervoerd. Dit kan eveneens op een jack-up ponton (per stuk), waarbij een tweede ponton nodig is voor de installatie of op een installatieschip dat de installatie zelf verzorgt. De meteomast wordt op het hoogspanningsstation geplaatst en wordt er samen mee getransporteerd.

Een overzicht van het geraamd aantal transportbewegingen per configuratie en per transportalternatief wordt weergegeven in Tabel 2-13.

Tabel 2-13 Overzicht geraamd aantal transportbewegingen voor de aanvoer van windturbines, de offshore hoogspanningsstations en de meteomast per configuratie

Configuratie	Aantal turbines +OHVS	Funderingstype	Aantal transportbewegingen met twee pontons*	Aantal transportbewegingen met groot installatieschip
Basisconfiguratie	38+1	Monopile	15	4
		Jacket	15	4
		GBF	15	4
Configuratie 1	80+1	Monopile	29	9
		Jacket	29	9
Configuratie 2	38+1	Jacket	15	4
		GBF	15	4
Configuratie 3	24+1	Jacket	10	3
		GBF	10	3

* het tweede hulpponton gaat slechts 1x heen en terug tussen kust en concessiegebied

2.7.3.6.5 Transportbewegingen bij installatie van WEC-systemen

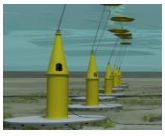
Tabel 2-14 geeft weer hoeveel transportbewegingen er ingeschat worden voor de installatie van WEC's om een basisveld van 5 MW en een totaal geïnstalleerd vermogen van 20 MW en 61 MW te realiseren.

Voor de Wavestar wordt naast het transport met het transportponton en twee sleepboten ook nog het transport voor het inheien van de poten voorzien (1 jack-up ponton).

Voor de Poseidon, Weptos, FlanSea en Lifesaver wordt de transportbeweging van 1 sleepboot per unit verondersteld als conservatieve benadering. Waarschijnlijk kunnen meerdere units per keer met 1 sleepboot versleept worden.

40 stuks Seabased WEC's kunnen per keer met een transportponton of installatieschip vervoerd en afgezonken worden (Dahlsten, 2009). Nivelleren en erosiebescherming wordt voor de kleine GBF basisplaat niet noodzakelijk geacht.

Tabel 2-14 Aantal transportbewegingen voor installatie van WEC's

Inplantingsconfiguratie windturbines		**Basisconf. 38 x 6MW WTG**	**Conf. 1 80 x 3,3MW WTG**	**Conf. 2 38 x 8 MW WTG**	**Conf. 3 24 x 10MW WTG**
Oppervlakte basisveld WECs tussen 4 windturbines		**337.500 m²**	**112.500 m²**	**337.500 m²**	**675.000 m²**
Wavestar 	1 basisveld	7 units x 4 = 28	2 units x 4 = 8	7 units x 4 = 28	14 units x 4 = 56
	20 MW	4 velden 112	13 velden 104	4 velden 112	2 velden 112
	61 MW	11 velden 308		11 velden 308	6 velden 336
Poseidon 	1 basisveld	9 units x 1 = 9	3 units x 1 = 3	9 units x 1 = 9	18 units x 1 = 18
	20 MW	4 velden 36	11 velden 33	4 velden 36	2 velden 36
	61 MW	12 velden 108		12 velden 108	6 velden 108
Weptos 	1 basisveld	8 units x 1 = 8	2 units x 1 = 2	8 units x 1 = 8	16 units x 1 = 16
	20 MW	8 velden 64		8 velden 64	4 velden 64
	61 MW				12 velden 192
FlanSea 	1 basisveld	60 units x 1 = 60	20 units x 1 = 20	60 units x 1 = 60	120 units x 1 = 120
	20 MW	5 velden 300	13 velden 260	5 velden 300	2 velden 240
	61 MW	12 velden 720		12 velden 720	6 velden 720
Seabased 	1 basisveld	160 units : 40 = 4	53 units: 40 = 2	160 units : 40 = 4	320 units : 40 = 8
	20 MW	5 velden 20	13 velden 18	5 velden 20	2 velden 16
	61 MW	12 velden 48		12 velden 48	6 velden 48

Inplantingsconfiguratie windturbines		Basisconf. 38 x 6MW WTG	Conf. 1 80 x 3,3MW WTG	Conf. 2 38 x 8 MW WTG	Conf. 3 24 x 10MW WTG
Lifesaver 	1 basisveld	13 units x 1 = 13	4 units x 1 = 4	13 units x 1 = 13	26 units x 1 = 26
	20 MW	4 velden 52	13 velden 42	4 velden 52	2 velden 52
	61 MW	12 velden 156		12 velden 156	6 velden 156

Voor een geïnstalleerd vermogen van 20 MW zal de FlanSea het meeste transportbewegingen vergen indien slechts 1 boei per keer zal getransporteerd worden (300). Wegens zijn afmetingen en het heien vraagt ook de installatie van 20 MW Wavestar units een groot aantal transportbewegingen (112). De Poseidon en Seabased vergen het minste transport bij een installatie van 20 MW (resp. 36 en 20 bewegingen).

2.7.3.6.6 Transportbewegingen voor de aanleg van kabels

Zowel de verbindingskabels- en parkkabels worden in één beweging gelegd en ingejet of ingeploegd door een kabellegschip. Voor de verbindingskabels vanaf de OHVS (optie B) en de exportkabels (optie C) bestaat naast jetten en ploegen eveneens de mogelijkheid om de kabels te trenchen (baggeren).

De totale lengte van de parkkabels bedraagt maximaal zo'n 50 km voor 33 kV parkkabels bij het maximaal aantal windturbines (configuratie 1) en zo'n 35 km bij 66 kV parkkabels. De lengte aan parkkabels voor de WEC's wordt ingeschat op ca. 2 tot 9 km per basisveld afhankelijk van het type (kortste afstand voor Wavestar, langste voor Seabased, cf. § 2.6.6.3 en 2.6.6.4 voor inplantingsschetsen).

Bij de gebeurlijke rechtstreekse verbinding naar de nabijgelegen Alpha-installatie (optie A) wordt een extra kabellengte van om en bij 20-22 km voorzien voor elk van de 4-6 lijnstrengen (verbindingskabels) tussen het park en het station. Voor optie B (1-2 verbindingskabels vanaf OHVS tot aan de Alpha-installatie) is het kabeltracé zo'n 20 km lang. De lengte van de exportkabel voor het fall-back scenario (overeenkomend met het traject van het BOG-project) is ongeveer 55 km (tot aan land). Hierbij volgen de voorziene exportkabel(s) precies het kabeltraject zoals ingetekend voor het BOG-project van Elia. Alle relevante technische specificaties en de bijhorende milieu-effecten zijn ten gronde bestudeerd, gevalideerd en beoordeeld in de MER/MEB-studie voor het BOG-project (IMDC, 2013d).

Extra transportbewegingen worden voorzien voor assisterende schepen. Het aantal transporten wordt geschat op 16 indien wordt gejet of geploegd. Indien de verbindingskabels vanaf de OHVS (optie B) worden getrenched, zal ongeveer 750.000 m³ sediment gebaggerd dienen te worden (ca. 20 km, 2 kabels, per kabel trench met bodembreedte 5 m, 20 m aan oppervlak, 1-1,5 m diep) en tijdelijk gestockeerd in een zone toegewezen door BMM (bvb. 3a of 3b ter hoogte van Sierra Ventana, ca.30 km van de concessiezone). Het beunvolume van het ingezette baggerschip zal het aantal transportbewegingen bepalen. Voor een sleephopperzuiger met beunvolume 18.000 m³ zullen ongeveer 50 scheepsbewegingen nodig zijn.

Bij het tracé naar land worden bovendien minstens 8 kabels en leidingen gekruist en 1 keer de vaargeul (Het Scheur). Het tracé naar de Alpha-installatie zal minstens 3 kabels en 2 gasleidingen kruisen.

Voor de kruising met de vaargeul wordt 1 extra transportbeweging voorzien met een baggerschip voor het baggeren van de sleuf en 1 extra transportbeweging voor het terugstorten van de specie die tijdelijk op bvb. S1 werd gedumpt. Voor het kruisen van kabels of leidingen worden extra scheepsbewegingen voorzien voor de plaatsing van de beschermingsmatten en steenbestorting. Er wordt verondersteld één barge met beschermingsmatten en één steenstortschip minstens 3 kruisingen met kabels en gasleidingen kan uitvoeren.

2.7.3.6.7 Transportbewegingen personeel

Personeelstransport per schip gedurende de constructiefase worden geraamd op 100 transporten, onafhankelijk van de gekozen configuratie. De transportbewegingen voor het personeel vinden plaats over de gehele duur van de constructiefase. Er wordt uitgegaan van het feit dat het personeel aan boord blijft bij de installatieschepen.

2.7.4 Exploitatiefase (2018-2038)

2.7.4.1 Organisatie – algemeen

De exploitatie zal verlopen conform de geldende regelgeving betreffende veiligheid, gezondheid en milieu. Voor de dagelijkse exploitatie van het windpark zal men beroep doen op een centraal controlecenter. Een team van gekwalificeerde technici zal worden belast met preventieve en curatieve onderhoudstaken.

Mermaid staat in voor de supervisie van de technische werkzaamheden van de windturbineleverancier en van andere dienstverleners, de kwaliteitsbewaking van uitgevoerde werken, het netbeheer, het vermarkten van de geproduceerde elektriciteit en certificaten, het juridisch-financieel-administratieve beheer van de vennootschap, etc.

2.7.4.2 Bedrijfszekerheid van de windturbines

De bedrijfszekerheid van de windturbines en golfenergieconvertoren wordt bepaald door de beschikbaarheid en de bereikbaarheid. Op land is de bedrijfszekerheid van windturbines circa 97% tot 98%. Op offshore locaties kan dit lager zijn doordat storingen niet altijd direct verholpen kunnen worden vanwege de lagere bereikbaarheid door:

- De afhankelijkheid van de beschikbare transportmiddelen;
- De relatief lange reistijd;
- De afhankelijkheid van weers- en zeecondities en seizoensinvloeden.

De mogelijke beschikbaarheid van de windturbine op zich kan gemaximaliseerd worden door:

- Een zeer doorgedreven monitoring- en besturingssystemen (SCADA systeem);
- De redundante uitvoering van systemen/componenten;
- Een uitgekiende planning van de preventieve onderhoudsbeurten.

De bedrijfszekerheid voor de windturbines en WEC's wordt contractueel vastgelegd.

2.7.4.3 Afstandscontrole en besturing

Het Mermaid energiepark wordt uitgerust met een afstandscontrole- en besturingssysteem (SCADA). Hiertoe wordt een centrale, geautomatiseerde eenheid voorzien. Deze eenheid zal via een glasvezelverbinding, geïntegreerd in de transportkabels, communiceren met een bewakingscentrum op de wal. Dezelfde centrale eenheid zal via de glasvezelverbinding in de verbindingskabels tussen de windturbines communiceren met iedere afzonderlijke windturbine. De afstandsbediening laat het melden van storingen toe, alsook het corrigeren van sommige storingen van op afstand en het monitoren van de nodige werkingsparameters, met het oog op preventief onderhoud.

Een gelijkaardig system kan opgezet worden voor de WEC's. De Lifesaver bvb. kan autonoom werken of van op afstand bestuurd worden via een real-time 'User Interface'. Tijdens inspecties aan boord gebeurt de controle lokaal. Bijkomende back-up wordt voorzien door twee onafhankelijke monitoringsystemen, die alle kritische variabelen opvolgen.

2.7.4.4 Onderhoud funderingen en windturbines

Voor wat betreft de funderingen worden preventieve maatregelen genomen, hoofdzakelijk bestaande uit het aanbrengen van de nodige coatings aan de buitenzijde van de funderingspalen en het voorzien van een kathodische bescherming. Ook kan er een continue monitoringsprogramma worden voorzien van de bodemerosie rond de funderingspalen.

Ook voor wat betreft de windturbines moet het onderhoud zoveel als mogelijk op preventieve basis worden uitgevoerd, steunende op statistieken en vooral continue metingen/opvolging van de relevante werkingsparameters.

Een jaarlijkse visuele inspectie (boven de waterlijn) wordt standaard voorzien. Daarbij wordt gekeken naar zichtbare oppervlaktebeschadigingen, deuken, roestvorming.... Tijdens deze visuele inspectie wordt er onder andere ook gekeken naar de toestand van reddingsmiddelen en navigatieverlichting.

Een beperkte stock aan (kleine) reserveonderdelen wordt voorzien.

Om de meerdere jaren wordt het onderwatergedeelte door een ROV geïnspecteerd, waarbij wordt gecontroleerd op visuele gebreken en corrosie, en de werking van de kathodische bescherming wordt nagekeken. Deze controle houdt verband met de certificeringeisen. De invoer van de voedingskabels wordt visueel gecheckt.

Om de meerdere jaren wordt een groot onderhoud uitgevoerd, waarbij herstel en vernieuwing van het schilderwerk boven de waterlijn is inbegrepen.

Uit recente ervaring met de operationele parken op de (Belgische) Noordzee blijkt dat de eerste jaren de onderhoudsfrequentie duidelijk hoger ligt: bijna dagelijks komen onderhoudstransporten voor.

Ook dit onderhoudsaspect maakt meestal inherent deel uit van het contract en/of de onderhandeling rond het windturbinepakket (fabricage-levering-installatie-exploitatie).

2.7.4.5 Onderhoud van de WEC's

Om de operationele "vrijheid" maximaal te vrijwaren tijdens exploitatie van het energiepark, wordt expliciet een buffercorridor van 150 m voorzien rond de WTG-funderingen (2 x 75 m aan weerszijden van de fundering) als afbakening van de mogelijke velden voor WEC-inplanting, i.e. een zone voorzien voor toegang van onderhoudsschepen naar de WTG's en de WEC's.

Bij het basistype Seabased kunnen individuele WEC's losgekoppeld en vervangen worden zonder dat de andere onderdelen van het park beïnvloed worden. Dit vereenvoudigd het onderhoud en reparaties.

Bij de Poseidon kan het verankeringssysteem snel en makkelijk losgekoppeld worden van de rest van het platform, waardoor onderhoud makkelijker wordt. Het platform kan op die manier ook eenvoudig versleept worden naar de kust voor reparaties zonder dat het verankeringssysteem moet opgehaald worden. Bovendien kan het platform zo georiënteerd worden dat onderhoudsschepen het platform kunnen naderen langs de zijde waar de golfhoogte gereduceerd is.

Gelet op de premature staat van ontwikkeling van de verschillende WEC-systemen, dient hier zeker de nodige aandacht en voorziening te worden getroffen voor een nauwgezette opvolging en aanpassing (optimalisatie) naar de operationele werking van deze WEC's.

2.7.4.6 Onderhoud van de elektrische installatie

De dekking van de exportkabel zal op een continue wijze gecontroleerd worden door een temperatuursmeting d.m.v. de optische vezels die ingebouwd worden in de exportkabel. Indien de dekking van de exportkabel te groot wordt ten gevolge van bijvoorbeeld bewegende zandduinen, zal het aangevoerde zand verwijderd moeten worden of indien de dekking te klein wordt, zal zand moeten aangevoerd worden zodat de originele ingraafdiepte behouden blijft. Hetzelfde geldt voor de park kabels met dit verschil dat de temperatuursmeting slecht enkele malen per jaar gebeurt.

Bijkomend aan de controle van de dekking van de kabels d.m.v. temperatuursmetingen zullen ook op geregelde tijdstippen kabelsurveys worden uitgevoerd. In functie van de gemeten informatie via de optische vezelmetingen, zal een kabelsurvey van het gehele park uitgevoerd worden tijdens de uitbating van het park.

Op de elektrische kabels kunnen gebeurlijk herstelwerkzaamheden noodzakelijk zijn. Het onderhoudspakket wordt hierbij mede bepaald door de al dan niet aanwezigheid van redundantiekabels voor de park-, verbindings- of exportkabels. Alle herstelmaatregelen dienen alvast zo snel mogelijk worden uitgevoerd om de beschikbaarheid van het windpark te maximaliseren. Het herstellen van een kabel verloopt als volgt (volgens de huidige BBT):

- Via een impuls - echo meting aan één van de kabeluiteinden, of met behulp van de inwendige optische vezels, wordt bepaald waar het kabeldefect zich bevindt. Dit kan met een nauwkeurigheid van beter dan 1%;
- Met een akoestische detectie wordt de exacte plaats van het defect bevestigd.
- De kabel wordt dan 50 tot 100 m aan beide zijden van het defect opengelegd;
- Op de plaats van het defect wordt de kabel doorgeknipt en beide delen worden naar het zee oppervlak gebracht.
- Door het indringen van water zal een gedeelte van de kabel beschadigd zijn en zal moeten verwijderd worden;
- Daarna worden de beide kabeldelen met een stuk reservekabel en twee moffen aan elkaar verbonden;
- De herstelde kabel wordt terug op de bodem van de zee gebracht, waarna hij wordt ingegraven met de gekende technieken.

In het geval van een defect aan een parkkabel, kan er afhankelijk van de plaats van het defect en/of de weersomstandigheden beslist worden om de gehele kabel te vervangen i.p.v. te herstellen.

Het onderhoud van de elektrische infrastructuur in de windturbines en golfgeneratoren zelf kan worden gecombineerd met de jaarlijkse inspectie op de windturbines en WEC's, of zal op zijn minst grondig worden gepland op basis van de observatie van op afstand van de werking ervan.

Het transformatorstation zal onderhouden worden conform de procedures die internationaal van toepassing zijn en die gebaseerd zullen zijn op de voorschriften van de leveranciers van de geïnstalleerde componenten. Ook hier zal het onderhoud gepland worden op basis van de observatie van op afstand van de werking van het OHVS.

Hierbij wordt verondersteld dat de meetmast inherent deel uitmaakt van het OHVS.

2.7.4.7 Toegang voor het onderhoudspersoneel

Er zal toegang tot de windturbines en WEC's zijn met behulp van een onderhoudsschip, eventueel kan de mogelijkheid voor toegang met behulp van helikopters worden voorzien bij de windturbines (bijvoorbeeld bij nood, of bij dringende interventies in slechte weersomstandigheden). In dit laatste geval zouden personeelsleden via het 'top-mounted' platform via helikopter kunnen worden geëvacueerd in geval van nood.

2.7.4.8 Aangepaste werk- en vaartuigen

Voor de werkzaamheden die op land worden uitgevoerd (bij de windturbineleverancier of bij Mermaid) worden de klassieke werktuigen en uitrusting gehanteerd.

Er bestaan twee mogelijkheden betreffende de inzet van een onderhoudsschip:

- Een eerste optie bestaat erin om met een schip van op het land (bijvoorbeeld vanuit de haven van Oostende) in functie van de noodwendigheden af en aan te varen naar het energiepark (eerste operationele jaren kan dit dagelijks zijn);
- Bij de tweede optie – het floating service concept – blijft een groot schip (een hotelschip) gedurende enkele weken ter hoogte van het energiepark. Vertrekkend vanuit dit moederschip wordt vervolgens met kleinere schepen onderhoud van de afzonderlijke turbines, WEC's of het OHVS uitgevoerd. Om de twee weken keert het moederschip terug naar land voor aflossing van de crew.
- Een derde optie – het serviceschip – blijft een groot schip uitgerust met kraan en windturbine toegangssysteem (bvb. gecompenseerde loopbrug van Ampelmann) enkele weken op zee ter hoogte van het energiepark. Onderhoudsteams kunnen rechtstreeks de windturbines betreden vanaf het schip en materiaal kan met de kraan op de windturbines geplaatst worden. Een dergelijk schip is uitgerust met een performant dynamische positioneringsysteem.
- Een vierde optie bestaat erin de uitvalsbasis (accommodatie, werkplaats en voorraadmagazijn) dichter bij het energiepark (op zee) te voorzien. Een mogelijkheid is deze uitvalsbasis te voorzien op het OHVS van Mermaid of het Alpha station op de tip van de Lodewijkbank (BOG,Elia).

Enkel bij zware breuk (vervangen van een volledige rotor, of gondel, generator, hoofdtransformator…) zal een 'jack-up' met hijsinrichting worden ingezet.

2.7.4.9 Transportbewegingen tijdens de exploitatiefase

Uit ervaring met de reeds gerealiseerde windparken (Belwind en C-Power) bleek dat het aantal transportbewegingen overeenkomt met het aantal werkbare dagen op zee (significante golfhoogte onder 1,5 m), en dit gedurende de gehele exploitatiefase. Gedurende 69-73% van een jaar heerst er een significante golfhoogte onder 1,5 m, voor resp. 12 of 24h vensters, dus gedurende ongeveer 255 dagen per jaar (Westhinder meetreeks 1990-2012).

2.7.5 Ontmantelingsfase

2.7.5.1 Algemeen

Na afloop van de exploitatieperiode van 20 jaar, zal het windpark ontmanteld worden of wordt een verlenging van de vergunningen aangevraagd. Op het Belgisch deel van de Noordzee is tot nu toe nog geen enkel windpark ontmanteld, dus praktische werkervaring is niet beschikbaar. Daardoor zullen volgende documenten als richtlijn gebruikt worden: DECC (2011), DTI (2006), DEFRA (2002), IMO (1989), UNCLOS (1982) en de OSPAR richtlijnen voor offshore windparken.

Andere relevante wetgeving zijn de afvalrichtlijnen uitgegeven door de Britse regering (UK Government, 2005) , de ‘London Convention 1972‘ en het 1996 protocol (IMO, 1972, 1996) over de preventie van mariene vervuiling door afvaldumping.

2.7.5.2 Verwijdering van de turbines

De windturbines zullen verwijderd en ontmanteld worden door de installatie en transport methodologie zoals hierboven beschreven in omgekeerde volgorde uit te voeren. De onderdelen die ontmanteld zullen worden zijn: de gondel, de rotor en de mast, met al zijn onderdelen zoals ladders e.d.

Voor de ontmanteling zal er voorbereidend werk gebeuren zoals het verwijderen van losse onderdelen en vloeistoffen (oliën en transformatorvloeistoffen), de installatie en certificatie van hefpunten en het 'hot bolting’ van bouten om het verwijderen van bouten te vergemakkelijken.

2.7.5.3 Verwijdering van de funderingen

Voor de ontmanteling van een jacket of monopile fundering wordt gestart met het doorsnijden van de structuur net boven de zeebodem. Daarna wordt de volledige structuur verscheept met een transportponton naar een recyclage- en verwerkingsbedrijf voor verdere ontmanteling. De steunpalen of monopiles worden afgezaagd op een diepte van 2 m onder de zeebodem eens het bovenliggend zand en de groutspecie verwijderd is. Een deel van de fundering blijft dus in de bodem achter.

Wanneer de monopile of jacket werden geplaatst door middel van het suction bucket principe, kan de fundering eenvoudig en volledig verwijderd worden. Onder druk wordt de gehele draagstructuur dan van de bodem gelicht (§ 2.6.2.4). Eventuele uitschuringsholtes rond de funderingen, zullen binnen enkele dagen na het verwijderen van de poten zich natuurlijk opvullen.

Het al dan niet verwijderen van de stenen erosiebescherming wordt in onderling overleg met de bevoegde overheden beslist in functie van de ecologische habitatwaarde.

Bij een GBF wordt de fundering leeggemaakt en vrijgemaakt. Vervolgens wordt de fundering ter plaatse op zee gesloopt en worden de onderdelen naar land getransporteerd voor verwijdering en recuperatie.

De afvalverwerking zal uitgevoerd worden in overeenstemming met de relevante wetgeving op dat moment. Er zal geprobeerd worden om alle verwijderde materialen (staalstructuren, ijzer, koper,…) en componenten te hergebruiken, te recycleren of op land te bergen. Tijdens het ontmantelingsproces zal THV Mermaid erop toezien dat er geen afvalmateriaal op zee wordt gedumpt.

2.7.5.4 Verwijdering van de WECs

De WECs zullen verwijderd en ontmanteld worden door de installatie en transport methodologie zoals hierboven beschreven in omgekeerde volgorde uit te voeren. Het aantal transportbewegingen zal dus maximaal hetzelfde zijn als tijdens de constructiefase.

Een zelfde exploitatieduur als deze voor de windturbines wordt nu vooropgesteld voor de WEC-systemen; doch de voortschrijdende inzichten en evolutie van de BBT in deze systemen maakt dat rond WEC-installaties vandaag nog niet helemaal duidelijk is hoe lang de systemen operationeel zullen/kunnen blijven.

Op basis van de huidige inzichten en de hier beschouwde systemen kan de ontmanteling hier ook opgedeeld worden in het verwijderen van de drijvende constructies (gewoon weghalen na “los”koppelen), de verbindingselementen naar de fundering (kabels-kettingen) en het verwijderen van de fundering (ankers, betonnen blokken,..).

2.7.5.5 Verwijdering van de bekabeling

In het Koninklijk besluit van 12 maart 2002 betreffende o.m. de regels voor het leggen van elektriciteitskabels in de territoriale zee wordt geen verplichting opgelegd om de mariene kabels te verwijderen. Wel wordt er op gewezen dat de ‘definitieve afstand in optimale en veilige omstandigheden en met respect voor het milieu’ dient te gebeuren (Art.5-11°).

De keuze voor het al of niet verwijderen van de elektrische kabels en de uitvoeringswijze moet op het einde van de exploitatie bepaald worden in samenspraak met de vergunningverlener en dit op basis van:

- Technisch-financiële evaluatie van de beschikbare technologieën;
- Ecologische criteria.

Voor de eventuele elektrische installaties op land wordt eveneens een ontmanteling voorzien.

2.7.5.6 Transportbewegingen tijdens de ontmantelingsfase

De windturbines en WEC’s zullen verwijderd en ontmanteld worden door de installatie en transport methodologie zoals hierboven beschreven in omgekeerde volgorde uit te voeren. Het aantal transportbewegingen zal dus maximaal hetzelfde zijn als tijdens de constructiefase.

3. JURIDISCHE EN BELEIDSMATIGE RANDVOORWAARDEN

3.1 JURIDISCHE RANDVOORWAARDEN

3.1.1 Algemeen

Vooraleer een windpark tot stand kan worden gebracht, dient een machtiging voor de bouw van het windpark en een vergunning voor de exploitatie van het opgerichte windpark, inclusief de elektriciteitskabels in zee, te worden verkregen (zie Bijlage A).

Het wettelijk kader inzake voormelde bouwmachtiging en exploitatievergunning wordt gevormd door de volgende Wet en twee Koninklijke Besluiten :

- Wet van 20 januari 1999 (publicatie Belgisch Staatsblad 12 maart 1999) ter bescherming van het mariene milieu in de zeegebieden onder de rechtsbevoegdheid van België, zoals meermaals gewijzigd, hierna de Wet Mariene Milieu genoemd
- Koninklijk Besluit van 9 september 2003 houdende de regels betreffende de milieueffectenbeoordeling in toepassing van de wet van 20 januari 1999 ter bescherming van het mariene milieu in de zeegebieden onder de rechtsbevoegdheid van België (publicatie Belgisch Staatsblad 17 september 2003)
- Koninklijk Besluit van 7 september 2003 houdende de procedure tot vergunning en machtiging van bepaalde activiteiten in de zeegebieden onder de rechtsbevoegdheid van België (publicatie Belgisch Staatsblad 17 september 2003)

Samengevat houdt deze regelgeving een milieueffectenbeoordeling (MEB) in door de BMM, die gebaseerd is op het milieueffectenrapport (MER) ingediend door de aanvrager.

Analoog is ook een machtiging nodig voor het aanleggen van de elektriciteitskabels in zee en volgt uit het Koninklijk Besluit van 12 maart 2002 (publicatie Belgisch Staatsblad 9 mei 2002) met betrekking tot de voorschriften voor het leggen van elektriciteitskabels in de territoriale zee en de exploitatie van niet-levende rijkdommen, dat voor het leggen en exploiteren van kabels een milieueffectenrapport bij de vergunningsaanvraag dient gevoegd te worden. De machtiging die deze aanleg toelaat, wordt beheerst door het volgende wettelijk kader:

- Wet van 13 juni 1969 inzake de exploratie en de exploitatie van niet-levende rijkdommen van de territoriale zee en het continentaal plat, zoals meermaals gewijzigd (publicatie Belgisch Staatsblad 8 oktober 1969)
- Wet van 22 april 1999 betreffende de exclusieve economische zone van België in de Noordzee (publicatie Belgisch Staatsblad 10 juli 1999)
- Koninklijk Besluit van 12 maart 2002 betreffende de nadere regels voor het leggen van elektriciteitskabels die in de territoriale zee of het nationaal grondgebied binnenkomen of die geplaatst of gebruikt worden in het kader van de exploratie van het continentaal plat, de exploitatie van de minerale rijkdommen en andere niet-levende rijkdommen daarvan of van de werkzaamheden van kunstmatige eilanden, installaties of inrichtingen die onder Belgische rechtsmacht vallen (publicatie Belgisch Staatsblad 9 mei 2002)

Voorliggend MER behandelt de milieueffecten van zowel de bouw, exploitatie en ontmanteling van de windturbines en WEC's, als van de kabellegging en eventuele verwijdering van de kabels van zowel Mermaid als Northwester 2. Artikel 28 van de Wet Mariene Milieu (20/01/1999) laat immers toe één geïntegreerd MER in te dienen aangezien het hier gaat over verschillende activiteiten van dezelfde aard. De BMM zal echter wel 2 afzonderlijke MEB's opstellen zodat per park advies kan gegeven worden. Mermaid en Northwester 2 dienen ook afzonderlijk een aanvraag en het MER in, die worden gericht aan de minister bevoegd voor het Mariene Milieu. Het MER is opgesteld in overeenstemming met het Koninklijk Besluit van 9 september 2003 (zoals gewijzigd bij KB 26 december 2013), met betrekking tot de regels betreffende de milieueffectenbeoordeling in toepassing van de Wet Mariene Milieu.

Alvorens een windpark te kunnen oprichten, dient men over het recht te beschikken om een bepaald deel van de zeebodem en het daarboven liggend deel van de zee te gebruiken. Die rechten worden verleend via de domeinconcessie. Het wettelijk kader inzake voormelde domeinconcessie wordt gevormd door:

- De Wet van 29 april 1999 betreffende de organisatie van de elektriciteitsmarkt, zoals meermaals gewijzigd (publicatie Belgisch Staatsblad 11 mei 1999)
- Koninklijk Besluit van 20 december 2000 betreffende de voorwaarden en de procedure voor de toekenning van domeinconcessies voor de bouw en de exploitatie van installaties voor de productie van elektriciteit uit water, stromen of winden, in de zeegebieden waarin België rechtsmacht kan uitoefenen overeenkomstig het internationaal zeerecht, zoals meermaals gewijzigd (publicatie Belgisch Staatsblad 30 december 2000) (wijzigingen in KB 17/05/2004, 28/09/2008 en 03/02/2011).

In dit Koninklijk besluit wordt bepaald dat domeinconcessies voor windenergieparken in Belgische mariene wateren kunnen worden verleend voor een bepaalde duur, die is beperkt tot ten hoogste 20 jaar (met een mogelijke verlenging tot maximaal 30 jaar). De afgeleverde domeinconcessie blijft geschorst totdat iedere bijkomende vergunning of machtiging is verleend.

De oorspronkelijke domeinconcessie is verleend aan Mermaid (MB 20/07/2012). Op 8 oktober 2012 hebben Mermaid en Northwester 2 een gemeenschappelijk schrijven gestuurd aan de afgevaardigde van de Staatssecretaris van Energie houdende een gemeenschappelijke aanvraag tot gedeeltelijke overdracht van de domeinconcessie aan Northwester 2. De Staatssecretaris van Energie heeft binnen de termijn van 50 werkdagen niet aan Mermaid betekend dat deze verrichting onverenigbaar is met het behoud van de domeinconcessie. De overdracht heeft dus effectief plaatsgevonden zoals beschreven in art. 20 van het KB van 20 december 2000. De Staatssecretaris van Energie heeft de gedeeltelijke overdracht bevestigd in een brief aan Northwester 2 van 25 juni 2013.

3.1.2 Wetgeving in België

De wet van 13 juni 1969 inzake de exploratie en exploitatie van niet-levende rijkdommen van de territoriale zee en het Continentaal Plat (publicatie Belgisch Staatsblad 8 oktober 1969) werd gedeeltelijk herzien in de Wet Mariene Milieu en in de wet van 22 april 1999 betreffende de exclusieve economische zone. In art. 4 van de wet van 13 juni 1969 staat vermeld dat voor het leggen van kabels en pijpleidingen een machtiging vereist is die wordt verleend volgens de regels die de Koning bepaalt.

De Wet Mariene Milieu vormt een mijlpaal in de mariene wetgeving. Deze wet bepaalt verschillende principes die de gebruikers van de Belgische mariene wateren dienen in acht te nemen. Daartoe behoren de volgende internationaal erkende principes:

- het voorzorgsprincipe
- het preventieprincipe
- het principe van duurzaam beheer
- het vervuiler-betaalt-principe
- het herstelprincipe

Die principes moeten bijgevolg in acht genomen worden tijdens de bouw, uitbating en ontmanteling van de windparken alsook tijdens het uitvoeren van de werken en de bekabeling.

Aansluitend bij het 5de principe (herstelprincipe) wordt het beginsel van objectieve aansprakelijkheid vastgelegd. Dit bepaalt dat bij elke schade of milieuverstoring van de zeegebieden veroorzaakt door bijvoorbeeld een ongeluk of een inbreuk op de wetgeving, deze verplicht moet hersteld worden door diegene die de schade of milieuverstoring heeft veroorzaakt, zelfs al heeft hij geen fout begaan.

Naast de algemene beginselen, hierboven opgesomd, werd in de wet op de bescherming van het mariene milieu ook de basis gelegd voor de instelling van mariene reservaten en de bescherming van planten en dieren.

De wet van 20 juli 2012 wijzigt de Wet Mariene Milieu. Concreet werden in de wet de bepalingen ingevoegd die het mogelijk maken om een marien ruimtelijk plan (MRP) te kunnen aannemen voor de Belgische zeegebieden. Het ontwerp van het MRP lag ter inzage voor publieke consultatie van 2 juli t.e.m. 29 september 2013. In december 2013 werd het definitieve MRP goedgekeurd door de Ministerraad. Het MRP voorziet in een windparkzone en een zone voor een installatie voor het transport van elektriciteit (‘stopcontact op zee’). In deze laatste zone zou het geplande Elia Alpha-eiland met OHVS worden aangelegd.

Verder worden in Art. 25 van de Wet Mariene Milieu de activiteiten opgesomd, waaronder de activiteiten van burgerlijke bouwkunde zoals het oprichten van windturbines en WEC’s, die onderworpen zijn aan een voorafgaande vergunning of machtiging verleend door de minister.

Voor de bouwmachtiging en exploitatievergunning zijn ook de volgende Koninklijke Besluiten (KB) van belang:

- KB van 7 september 2003 (publicatie Belgisch Staatsblad 17 september 2003, zoals gewijzigd bij KB van 26 december 2013) houdende de procedure tot vergunning en machtiging van bepaalde activiteiten in de zeegebieden onder de rechtsbevoegdheid van België. Een vergunning wordt verleend voor een termijn van hoogstens 20 jaar (art. 41 § 1). Een machtiging wordt verleend voor de termijn vereist voor de voltooiing van de gemachtigde activiteit (max. 5 jaar, met uitzonderlijk verlenging met 5 jaar) (art. 41 § 1); Art. 19 van dit koninklijk besluit stelt dat: “Wanneer de aanvraag een activiteit met grensoverschrijdende dimensie betreft, zendt het bestuur een exemplaar van de aanvraag naar de bevoegde overheden van een lidstaat van de Europese Unie of Verdragsluitende Partij bij het Verdrag van ESPOO in de gevallen waar door het bestuur is vastgesteld dat de voorgenomen activiteit aanzienlijke effecten kan hebben op de mens of het milieu in deze lidstaat of Verdragsluitende Partij en in de gevallen waar de bevoegde overheden van deze lidstaat of Verdragsluitende Partij hierom verzoeken omdat de voorgenomen activiteit er vermoedelijk aanzienlijke effecten zal hebben.”

Gezien de ligging van de projecten op de grens met Nederland is dit artikel bijgevolg van toepassing.

- KB van 9 september 2003 (publicatie Belgisch Staatsblad 17 september 2003, zoals gewijzigd bij KB van 26 december 2013) houdende de regels betreffende de milieueffectenbeoordeling in toepassing van de wet van 20 januari 1999 ter bescherming van het mariene milieu in de zeegebieden onder de rechtsbevoegdheid van België specificeert de te volgen procedure en de inhoud van het milieueffectenrapport;

De wet betreffende de exclusieve economische zone van België in de Noordzee van 22 april 1999 (publicatie Belgisch Staatsblad 10 juli 1999) breidt de Belgische jurisdictie uit buiten de territoriale wateren voor een aantal zaken op het vlak van milieu en milieubescherming, beheer en exploitatie van levende en niet-levende rijkdommen, en de opwekking van energie uit water, wind en stromen. Deze wet is ook van toepassing op de te leggen kabels voor het windpark.

Op federaal vlak is ook het KB van 12 maart 2002 (publicatie Belgisch Staatsblad 9 mei 2002) betreffende het leggen van elektriciteitskabels op het Continentaal Plat onder de rechtsbevoegdheid van België van belang.

Op basis van de bovengenoemde wetten en besluiten is een machtiging vereist voor de bouw van een windpark, voor de exploitatie van een windpark is een vergunning vereist. Er is eveneens een machtiging vereist voor de te leggen kabels en er is ook een machtiging vereist als er geulen moeten worden gegraven, evenals een vergunning voor de exploitatie van de kabels. Zoals eerder genoemd is een MER een essentieel onderdeel van de machtigings- en vergunningsaanvraag.

Vervolgens zijn ook een aantal Koninklijke Besluiten van kracht met betrekking tot de bescherming van soorten en habitats die hun oorsprong vinden in de Wet Mariene Milieu en de Europese Habitat- (92/43/EEG) en Vogelrichtlijn (79/409/EEG) (zie ook § 3.1.3.1):

- Het KB van 21 december 2001 betreffende de bescherming van de soorten in de zeegebieden onder de rechtsbevoegdheid van België: hier worden verschillende beschermingsmaatregelen voorgelegd ter bescherming van wilde/bedreigde flora en fauna, voor de instandhouding van de natuurlijke habitats en de biodiversiteit en ter voorkoming van schade aan gewassen, visgronden en andere vormen van eigendom.
- Het KB van 14 oktober 2005 betreffende de instelling van speciale beschermingszones en speciale zones voor natuurbehoud in de zeegebieden onder de rechtsbevoegdheid van België:
    - Binnen het KB werden oorspronkelijk drie Speciale Beschermingszones (SBZ's) en twee Speciale Zones voor Natuurbehoud ingesteld: drie Vogelrichtlijngebieden (SBZ-V's of SPA's, Special Protection Areas) en twee Habitatrichtlijngebieden (SBZ-H of SAC's, Special Areas of Conservation). De Vogelrichtlijngebieden zijn een zone van 110,01 km² te Nieuwpoort (SBZ-V1), een zone van 144,80 km² te Oostende (SBZ-V2) en een zone van 57,71 km² ter hoogte van Zeebrugge (SBZ-V3) en dit op basis van het voorkomen van vier beschermde vogelsoorten (fuut, grote stern, visdief en dwergmeeuw). De twee Habitatrichtlijngebieden waren oorspronkelijk de 'Trapegeer Stroombank' (181 km²) en de 'Vlakte van de Raan' (19,17 km²).

In het arrest nr. 179.254 van de Raad van State van 1 februari 2008 vernietigde de Raad van State echter de aanduiding van de Vlakte van de Raan als Speciale Zone voor Natuurbehoud. Vervolgens is het gebied 'Trapegeer Stroombank' geïntegreerd in een Speciale Zone voor Natuurbehoud, genaamd "Vlaamse Banken" (1099,93 km²) die in het KB van 14 oktober 2005 werd ingevoegd via KB van 16 oktober 2012;

- Het KB definieert die speciale beschermingszones als de zones die als speciale beschermingzones worden aangewezen in Art. 7 § 2 van de Wet Mariene Milieu en Art. 4 van de Vogelrichtlijn;
- Het KB (art. 5) verbiedt volgende activiteiten binnen de Speciale Beschermingszones: activiteiten van burgerlijke bouwkunde, industriële activiteiten en activiteiten van publicitaire en commerciële ondernemingen;
- Het KB (art. 6) eist een passende beoordeling voor elk plan of project dat niet direct verband houdt met of nodig is voor het beheer van het gebied, maar dat afzonderlijk of in combinatie met andere plannen of projecten significante gevolgen kan hebben voor zo'n gebied en dit volgens de procedure van het KB 9 september 2003. De beoordeling dient rekening te houden met de instandhoudingsdoelstellingen van het betrokken gebied;
- Het KB geeft aan dat de minister voor de Speciale Beschermingszones en de Speciale Zone voor Natuurbehoud gebruikersovereenkomsten afsluit en hij binnen de 3 jaar de eerste beleidsplannen opstelt.

- Het KB van 14 oktober 2005 betreffende de voorwaarden, sluiting, uitvoering en beëindiging van gebruikersovereenkomsten en het opstellen van beleidsplannen voor de beschermde mariene gebieden in de zeegebieden onder de rechtsbevoegdheid van België:
  - Een beleidsplan houdt minstens volgende gegevens in: informatie over de van toepassing zijnde beschermingsmaatregelen, informatie over de gebruikersovereenkomst en andere relevante maatregelen, de resultaten van de monitoring, beoordeling van het effect van de opgenoemde maatregelen;
  - Verder kan het beleidsplan ook voorstellen inhouden tot een herziening van de van toepassing zijnde bescherming in het gebied of tot instelling van nieuwe mariene beschermde gebieden en hun beschermingsmaatregelen.
- Het KB van 5 maart 2006 tot instelling van een gericht marien reservaat, de 'Baai van Heist' (6,76 km²). Dit reservaat grenst aan Speciale Beschermingszones (SBZ-V3) aan de oostelijke strekdam van Zeebrugge en sluit aan op het bestaande Vlaamse natuurreservaat Baai Van Heist (zie kaart in Bijlage E). Het KB eist een passende beoordeling voor elk plan of project dat niet direct verband houdt met of nodig is voor het beheer van het gebied, maar dat afzonderlijk of in combinatie met andere plannen of projecten significante gevolgen kan hebben voor zo'n gebied en dit volgens de procedure van het KB 9 september 2003. Het KB geeft aan dat de minister gebruikersovereenkomsten afsluit en binnen de 3 jaar een eerste beleidsplan opstelt.

De domeinconcessiegebieden situeren zich niet binnen één van voorgenoemde beschermde gebieden. Het milieueffectenrapport voorziet 2 alternatieve kabeltracés: één met aanlanding ter hoogte van de Westelijke Strekdam te Zeebrugge of aansluiting op de Alpha-installatie van Elia. Indien gekozen wordt voor het kabeltracé naar land, doorkruist deze de speciale beschermingszone SBZ-V3 (Zeebrugge).

Op basis van het KB 14 oktober 2005 (art. 6) dient een passende beoordeling opgemaakt te worden voor de aanleg van het kabeltracé daar zij mogelijks significante gevolgen kan hebben voor het beschermd gebied. Indien uit de passende beoordeling blijkt dat het project een significant negatieve invloed kan hebben op het beschermde gebied moet in de eerste plaats gezocht worden naar alternatieve oplossingen. Indien er geen alternatieve oplossingen voorhanden zijn, dient aangetoond te worden dat het project wordt uitgevoerd om dwingende redenen van groot openbaar belang, met inbegrip van redenen van sociale of economische aard. Mits de nodige compenserende maatregelen kan eventueel toch een toestemming verleend worden.

Verder voorziet de wet betreffende de organisatie van de elektriciteitsmarkt van 29 april 1999, zoals meermaals gewijzigd (bij wet van 1/06/2005, 8/01/2012, 15/12/2009, 26/03/2014, 8/05/2014, 15/05/2014) in het uitwerken van een ondersteunend systeem dat de elektriciteitsproductie op basis van hernieuwbare energiebronnen moet stimuleren. Dit is gebeurd via het KB van 16 juli 2002, zoals meermaals gewijzigd (wijziging in KB 5/10/2005, 31/10/2008; 17/08/2013 en 4/04/2014), dat voorziet in de bijzondere bepalingen betreffende de toekenning van groenestroomcertificaten voor de elektriciteit geproduceerd met aanwending van hernieuwbare energiebronnen.

In analogie met de Kaderrichtlijn Water (2000/60/EG) is op 17 juni 2008 de Europese Kaderrichtlijn Mariene Strategie (2008/56/EG) opgesteld (zie § 3.1.3.1.1). In 2010 werd deze Europese Kaderrichtlijn Mariene Strategie gedeeltelijk omgezet in het Belgisch recht door het KB van 23 juni 2010 betreffende de mariene strategie voor de Belgische zeegebieden. Tevens werd de Kaderrichtlijn Water gedeeltelijk omgezet in het Belgisch recht door het KB van 23 juni 2010 betreffende de vaststelling van een kader voor het bereiken van een goede oppervlaktewatertoestand. De nieuwe regeling trad in werking op 23 juli 2010 en geldt voor de kustwateren. Het nieuwe besluit bevat geen echte concrete maatregelen, maar legt in hoofdzaak de verplichtingen van de bevoegde federale diensten vast. De Europese Kaderrichtlijn Mariene Strategie streeft ook tegen 2020 een goede milieutoestand (GMT) na voor de mariene wateren. De omschrijving van deze goede milieutoestand voor de Belgische mariene wateren is in juli 2012 aan de Europese Commissie voorgelegd (Belgische Staat, 2012).

Tenslotte, werd in het KB van 11 april 2012 (publicatie Belgisch Staatsblad 1 juni 2012) een veiligheidszone ingesteld rond kunstmatige eilanden, installaties en inrichtingen voor de opwekking van energie uit o.a. winden in de zeegebieden onder Belgische rechtsbevoegdheid. Dit KB heeft enkel betrekking op de toegang rondom en in de windparken en legt geen beperkingen op wat betreft de inplanting van het park. Vanaf de exploitatieperiode wordt een veiligheidszone van 500 m ingesteld vanaf de buitengrens van een windpark en individuele windturbines. Voor een windturbine dient gerekend te worden vanaf de buitendiameter van de rotorbladen, voor een windpark wordt gerekend vanaf coördinaten van de toegekende domeinconcessie. De veiligheidszone van 500 m geldt ook voor de totale Belgische windparkzone.
Binnen deze veiligheidszone is de toegang verboden, uitgezonderd voor o.a. oorlogsschepen,

middelen van de concessiehouder zelf, onderzoeksschepen, onderhoudsschepen van kabels en pijpleidingen en schepen in nood.

3.1.3 Internationale wetgeving

3.1.3.1 Europese richtlijnen

- De EIA ("Environmental Impact Assessment") richtlijn (85/337/EG) gewijzigd bij richtlijn 97/11/EG, 2003/35/EG en 2009/31/EG. Deze richtlijn is van toepassing op de milieueffectenbeoordeling van openbare en particuliere projecten die aanzienlijke gevolgen kunnen hebben voor het milieu. Onder projecten worden bouwwerken, ingrepen in de natuur en landschappen en ook ontginningen van bodemschatten verstaan.

  Voor projecten die een aanzienlijk milieueffect kunnen hebben, door hun aard, omvang of ligging, moeten de lidstaten de nodige maatregelen treffen om een beoordeling van hun effecten op te tekenen, alvorens een vergunning wordt verleend.

  Bij de milieueffectenbeoordeling worden de directe en indirecte effecten van een project op passende wijze geïdentificeerd, beschreven en beoordeeld naar de volgende factoren:

  - mens, dier en plant;
  - bodem, water, lucht, klimaat en landschap;
  - materiële goederen en het culturele erfgoed;
  - de samenhang tussen de in het eerste, tweede en derde punt genoemde factoren.

- De SEA ("Strategic Environmental Assessment") richtlijn (2001/42/EG). Het doel van de SEA richtlijn is om te garanderen dat mogelijke milieu-impacten van bepaalde plannen of projecten geïdentificeerd zijn vooraleer ze toegelaten worden, en in overweging worden genomen bij een eventuele uitvoering ervan. Dit gebeurt aan de hand van een milieubeoordeling waarvoor de SEA systematische gebruiken/regels opstelt. SEA zal verplicht zijn voor een brede waaier aan plannen en projecten (vb. bosgrond, energie, industrie, transport, afvalmanagement, toerisme, landgebruik), die significante milieueffecten kunnen veroorzaken. De richtlijn voorziet ook een extensieve publieke participatie in het beslissingsproces van de regering over verschillende ontwikkelingssectoren.

- De Europese richtlijn (2001/77/EG) van 27 september 2001 over de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen op de interne elektriciteitsmarkt werd vervangen door de Europese richtlijn Hernieuwbare Energiebronnen (2009/28/EG). Voor wat België betreft lag de doelstelling voor het aandeel van elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen op 6% tegen 2010. Naar de toekomst toe is de doelstelling voor België opgetrokken naar 13% hernieuwbare energie tegen 2020. In de Europese richtlijn (2009/28/EG) wordt ook een vermindering van de broeikasuitstoot vastgelegd op 20% tegen 2020. Naar België vertaalt zich dit in een uitstootvermindering van 15% tegen 2020 (zie 3.2.1 en 3.2.2).

- De Kaderrichtlijn Mariene Strategie 2008/56/EG (KRMS) werd op 17 juni 2008 goedgekeurd en trad op 15 juli 2008 in werking. Het is een van de belangrijkste wettelijke instrumenten van de Europese Unie (EU) voor de bescherming van het mariene milieu en de bijbehorende ecosystemen en biodiversiteit. Het werd ontwikkeld als de juridische follow-up van de Thematische strategie inzake de bescherming en het behoud van het Mariene milieu dat op 25 oktober 2005 door de Europese Commissie werd voorgesteld. De strategie heeft ten doel Europa's zeeën en oceanen te beschermen en te herstellen.

  De KRMS stelt een kader vast om maatregelen te nemen om uiterlijk in 2020 een goede milieutoestand van het mariene milieu te bereiken of te behouden. Hieronder wordt de omschrijving gegeven van de goede milieutoestand (GMT) van de Belgische mariene wateren wat betreft fauna, flora en biodiversiteit, hydrografische eigenschappen en onderwatergeluid. De omschrijving van deze GMT is voorgelegd in juli 2012 (Belgische Staat, 2012).
- Aanbeveling van het Europese Parlement en de Raad van 30 mei 2002 betreffende de uitvoering van een geïntegreerd beheer van kustgebieden in Europa (2002/413/EG) en de mededeling van de commissie aan de Raad en het Europese Parlement over geïntegreerd beheer van kustgebieden: Een strategie voor Europa (COM(2000) 547 definitieve versie) van 27 september 2000.
- De EG-Vogelrichtlijn (79/409/EEG en gecodificeerde versie 2009/147/EG) en de EG-Habitatrichtlijn (92/43/EEG) ter bescherming van bedreigde vogelsoorten en hun natuurlijke leefmilieu. Ter verduidelijking van de implicaties van de vogel- en habitatrichtlijngebieden wordt verder een korte bespreking gegeven. Voor een situering van de gebieden die als EG-Vogel- en Habitatrichtlijngebied afgebakend werden, wordt verwezen naar de discipline fauna en flora (§ 5.4) en Bijlage E.

Geselecteerde Habitatrichtlijngebieden en Vogelrichtlijngebieden vormen een ecologisch netwerk: het NATURA 2000 netwerk. Dit is een netwerk van gebieden met soorten en/of habitats van communautair belang, en vormt de ruggengraat van het Europese milieubeleid m.b.t. beschermde gebieden. Het beheer van deze beschermde gebieden moet het behoud en herstel van de habitats en soorten garanderen, en moet, indien mogelijk, rekening houden met socio-economische factoren.

3.1.3.1.1 Kaderrichtlijn Mariene strategie: omschrijving goede milieutoestand

De definitie van de GMT wordt uitgedrukt als een kwalitatieve beschrijving van hoe de GMT er zou uitzien, wanneer die voor elk van de beschrijvende elementen zou worden bereikt. Dit wordt dan geschraagd door een reeks van meer gedetailleerde kwantitatieve milieudoelen op basis van vastgelegde milieudrempels/limieten met betrekking tot de toestand, de druk of de impact (Art. 10). Waar geen kwantitatieve milieudoelen konden worden bepaald, werd er gebruik gemaakt van kwalitatieve of trendgebaseerde doelen.

In juli 2010 heeft de Europese Commissie criteria en 11 kwalitatief beschrijvende elementen (descriptors) uitgebracht voor een goede milieustatus voor gebruik door de lidstaten.

Deze 11 beschrijvende elementen zijn:

1. Biodiversiteit
2. Niet-inheemse soorten
3. Commerciële visbestanden
4. Mariene voedselketens
5. Eutrofiëring
6. Integriteit van de zeebodem
7. Hydrografische eigenschappen
8. Verontreiniging
9. Verontreinigende stoffen in zeevruchten
10. Zwerfvuil op zee
11. Energie, waaronder onderwatergeluid.

Deze kwalitatief beschrijvende elementen voor de omschrijving van de goede milieutoestand zijn opgenomen als bijlage I bij het KB van 23 juni 2010 betreffende de mariene strategie voor de Belgische zeegebieden. Hieronder worden enkele van deze beschrijvende elementen kort toegelicht. Deze zijn kwantitatief gedefinieerd in de omschrijving van de Goede Milieutoestand en vaststelling van milieudoelen voor de Belgische mariene wateren (Belgische Staat, 2012).

Recent (05-06/2014) werd in een publieke consultatie een voorstel van monitoringsprogramma op het BDNZ rond deze Kaderrichtlijn Mariene Strategie voorgelegd. Dit meetprogramma zal uitgevoerd worden om de gestelde doelstellingen rond Goede Milieutoestand van de Belgische mariene wateren op te volgen, te analyseren en te evalueren.

Biodiversiteit, voedselketens en integriteit van de zeebodem

De gewenste toestand van het ecosysteem kan onder meer worden beschreven door zijn biodiversiteit. Gezien biodiversiteit zowel de functionele als de structurele aspecten van alle niveaus van de biologische organisatie dekt, omvat ze tevens de toestand van de commerciële visbestanden en voedselketens. Integriteit van de zeebodem verwijst expliciet naar zowel de fysisch-chemische en biologische troeven van de zeebodem, inclusief de inherente structuur en processen.

De GMT voor biodiversiteit, voedselketens en integriteit van de zeebodem wordt bereikt wanneer:

- De habitattypes en de grootte, de spreiding en de toestand van de samenstellende soorten minimaal voldoen aan de onder de Initiële beoordeling van Belgische wateren (2012) beschreven toestand.
- De Goede toestand volgens de Kaderrichtlijn Water (meer bepaald Goede Ecologische Toestand), de Habitat- en vogelrichtlijnen (meer bepaald gunstige staat van instandhouding) en het OSPAR verdrag (meer bepaald ecologische kwaliteitsdoelen) is bereikt. Zeldzame en bedreigde habitattypes en soorten, die in de bestaande regelgeving en verdragen zitten vervat, zijn beschermd zoals in die regelgeving en die verdragen wordt beoogd.

- De diversiteit binnen de verschillende componenten van de ecosystemen (meer bepaald plankton, benthos, vissen, zeevogels en zeezoogdieren) blijft behouden.
- Levensvatbare populaties van soorten gevrijwaard zijn, wat betreft de belangrijkste langlevende soorten die zich slechts traag voortplanten, evenals voor de toppredatorsoorten in alle habitattypes.
- De habitattypes op structureel en functioneel vlak gevarieerd en productief zijn.
- De fysieke verstoring van de zeebodem wordt beperkt tot een duurzaam minimumniveau waarbij rekening wordt gehouden met de relatieve gevoeligheid van de habitattypes.

Niet-inheemse soorten

De GMT voor niet-inheemse soorten wordt bereikt wanneer er zich geen nieuwe introductie van door de mens geïntroduceerde niet-inheemse soorten voordoet en evenmin een betekenisvolle stijging van de relatieve dichtheid van niet-inheemse soorten in verhouding tot de Initiële beoordeling van 2012. Met soorten waarover taxonomische onenigheid bestaat en waarvoor de veranderingen als gevolg van een permanente introductie, met inbegrip van de voortplanting, verwaarloosbaar zijn, wordt geen rekening gehouden.

Hydrografische eigenschappen

De GMT voor hydrografische eigenschappen wordt bereikt wanneer:

- De aard en de omvang van alle veranderingen op langere termijn van de heersende hydrografische eigenschappen als gevolg van menselijke activiteiten (van individuen en van gemeenschappen) in het mariene milieu geen uitgesproken negatieve impact hebben op soorten, populaties of een ecosysteemniveau.
- Dit minimaal inhoudt dat de wijzigingen in stromingspatronen ten gevolge van de betrokken menselijke activiteiten zo zijn dat de erosie en de sedimentatie in evenwicht blijven.
- De impact als permanent wordt beschouwd als aan een van de volgende voorwaarden – met betrekking tot de bodemstress op een 14-daagse springtij/doodtij cyclus berekend volgens gevalideerde wiskundige modellen – wordt voldaan:
    - Er is een toename van meer dan 10% van de gemiddelde schuifspanning op de bodem
    - De variatie van de ratio tussen de duur van sedimentatie en de duur van erosie ligt buiten het “-5%; + 5%” bereik.
- Deze overweging vragende impact blijft binnen een afstand gelijk aan de vierkantswortel van het door de activiteit bezette oppervlak en berekend vanaf de inherente uiterste grens.

Energie, waaronder onderwatergeluid

In het kader van de KRMS werd er een indicator bepaald die van toepassing is op het heien van palen onderwater (Tasker *et al.*, 2010). Het is de verhouding van het aantal dagen per jaar waarin in een bepaalde oppervlakte de antropogene geluidsbron (hier dus het heien) ofwel het SEL van 183 dB (re 1µPa²s) ofwel het geluidsniveau van 224 dB_{p-p} (re 1 µPa) overschrijdt (gemeten op 1 m) (Tasker *et al.*, 2010). Het aantal dagen dat deze niveaus overschreden mogen worden werd echter niet bepaald.

Voor de Belgische mariene wateren wordt de GMT bereikt indien de toevoer van energie, waaronder onderwatergeluid, op een niveau is dat het mariene milieu geen schade berokkent (KRMS, Art. 9), en wanneer impulsgeluiden en regionale geluidsbronnen met lage frequentie geen negatieve impact hebben op mariene organismen.

De milieudoelen naar de toekomst toe en daarmee samenhangend indicatoren zijn (KRMS, Art. 10):

- Het niveau van antropogene impulsgeluiden is kleiner dan 185 dB re 1 µPa (nul tot max. SPL) op 750 m van de bron. (Beschikking 2010/477/EU van de Commissie, geëxpliciteerd)
- Geen positieve tendensen in de jaarlijkse gemiddelde omgevingslawaainiveaus binnen de 1/3-octaafbanden 63 en 125 Hz. (Beschikking 2010/477/EU van de Commissie)

3.1.3.1.2 De Vogelrichtlijn

In 1979 werd door de Europese Commissie de Vogelrichtlijn uitgevaardigd (Richtlijn 79/409/EEG, 2 april 1979; in 2009 werd een gecodificeerde versie uitgebracht nl. richtlijn 2009/147/EG). Deze richtlijn voorziet in een bevordering van een betere bescherming van vogels in de Europese Gemeenschap en de instandhouding van alle natuurlijk in het wild levende vogelsoorten op het Europese grondgebied.

Volgens Art. 4 van de Vogelrichtlijn moeten in de leefgebieden van de soorten uit Bijlage I speciale beschermingsmaatregelen getroffen worden opdat deze soorten daar waar zij nu voorkomen, kunnen voortbestaan en zich kunnen voortplanten. Bovendien moet men ook de broed-, rui-, overwinterings- en rustplaatsen van enkele niet op Bijlage I voorkomende trekvogelsoorten beschermen. De lidstaten moeten de naar aantal en oppervlakte voor de instandhouding van deze soorten meest geschikte gebieden als speciale beschermingszones aanwijzen en beheren, waarbij rekening wordt gehouden met de bescherming die deze soorten behoeven (Art. 4 lid 1). Deze soorten dienen ook door andere maatregelen beschermd te worden, zoals een verbod om op deze vogels te jagen of ze opzettelijk te verstoren (Art. 5).

Criteria die als basis dienden voor het opnemen van soorten in de Bijlage I zijn de volgende:

- Soorten die dreigen uit te sterven;
- Soorten die gevoelig zijn voor bepaalde wijzigingen van het leefgebied;
- Soorten die als zeldzaam worden beschouwd omdat hun populatie klein is of omdat zij slechts plaatselijk voorkomen;
- Andere soorten die omwille van specifieke kenmerken van hun leefgebied speciale aandacht verdienen.

De Belgische overheid heeft op tweeërlei wijze uitvoering gegeven aan de verplichtingen van de Vogelrichtlijn (zie ook § 3.1.2). In de eerste plaats voorziet het KB van 21 december 2001 in de bescherming van soorten in de zeegebieden onder de rechtsbevoegdheid van België en ten tweede heeft de federale overheid drie Speciale Beschermingszones voor Vogels (SBZ-V) in de Belgische mariene wateren goedgekeurd (KB 14 oktober 2005).

3.1.3.1.3 De Habitatrichtlijn

In 1992 werd door de Europese Commissie de Habitatrichtlijn uitgevaardigd (Richtlijn 92/43/EEG, 21 mei 1992). Deze Richtlijn bevat een Bijlage met belangrijke habitats (waaronder zandbanken), en een Bijlage met belangrijke soorten (zonder de vogels) die in de Europese Gemeenschap beschermd moeten worden. Eén van de middelen om deze soorten en habitats efficiënt te beschermen, is het aanduiden van Habitatrichtlijngebieden (of SAC's, Special Areas of Conservation).

Via het KB 14 oktober 2005 waarbij twee Speciale Zones voor Natuurbehoud (SBZ-H) voor de Belgische mariene wateren werden aangeduid, heeft de federale overheid deze richtlijn vertaald in nationale wetgeving (zie ook § 3.1.2). In het arrest nr. 179.254 van de Raad van State van 1 februari 2008 vernietigde de Raad van State echter de aanduiding van de Vlakte van de Raan als Speciale Zone voor Natuurbehoud. Vervolgens is een Speciale Zone voor Natuurbehoud, genaamd "Vlaamse Banken" (1099,94 km²) in het KB van 14 oktober 2005 ingevoegd via KB van 16 oktober 2012.

Vanuit het standpunt van dit soort projecten is het interessant om het art. 6.3 en 6.4 van de Habitatrichtlijn aan te halen:

Art. 6.3. Voor elk plan of project dat niet direct verband houdt met of nodig is voor het beheer van het gebied, maar afzonderlijk of in combinatie met andere plannen of projecten significante gevolgen kan hebben voor zo'n gebied, wordt een passende beoordeling gemaakt van de gevolgen voor het gebied, rekening houdend met de instandhoudingdoelstellingen van dat gebied.

Gelet op de conclusies van de beoordeling van de gevolgen voor het gebied en onder voorbehoud van het bepaalde in lid 4, geven de bevoegde nationale instanties slechts toestemming voor dat plan of project nadat zij de zekerheid hebben verkregen dat het de natuurlijke kenmerken van het betrokken gebied niet zal aantasten en nadat zij in voorkomend geval inspraakmogelijkheden hebben geboden.

Art. 6.4. Indien een plan of project, ondanks negatieve conclusies van de beoordeling van de gevolgen voor het gebied, bij ontstentenis van alternatieve oplossingen, om dwingende redenen van groot openbaar belang, met inbegrip van redenen van sociale of economische aard, toch moet worden gerealiseerd, neemt de Lidstaat alle nodige compenserende maatregelen om te waarborgen dat de algehele samenhang van Natura 2000 bewaard blijft. De Lidstaat stelt de Commissie op de hoogte van de genomen compenserende maatregelen.

Wanneer het betrokken gebied een gebied met een prioritair type natuurlijke habitat en/of een prioritaire soort is, kunnen alleen argumenten die verband houden met de menselijke gezondheid, de openbare veiligheid of met voor het milieu wezenlijke gunstige effecten dan wel, na advies van de Commissie, andere dwingende redenen van groot openbaar belang worden aangevoerd.

3.1.3.2 Internationale verdragen en overeenkomsten

Naast de hierboven beschreven nationale regelgeving en Europese richtlijnen zijn een aantal internationale verdragen en reglementeringen van belang. Zonder in detail te willen treden over de inhoud ervan, worden ze hieronder kort opgesomd.

- COLREG inzake het voorkomen van aanvaringen (1972);
- Het SOLAS-verdrag inzake veiligheid van mensenlevens op zee (1974/1978);
- Het VN Zeerechtverdrag of UNCLOS (1982) inzake het gebruik van de oceanen en hun grondstoffen. Kuststaten hebben soevereine rechten in de Exclusieve Economische Zone (EEZ) met betrekking tot natuurlijke rijkdommen en bepaalde economische activiteiten, en het uitoefenen van jurisdictie over marien wetenschappelijk onderzoek en milieubescherming. Art. 60 en Art. 17 zijn specifiek gericht op installaties in de EEZ. Zo kan waar nodig een veiligheidszone tot 500 m opgelegd worden rond installaties en kunstmatige eilanden om de veiligheid van scheepvaart en de installaties zelf te garanderen. Deze installaties en veiligheidszones er rond mogen echter de internationale vaarroutes niet hinderen en onschuldige doorgang van schepen mag niet belemmerd worden. De gedefinieerde Belgische windparkconcessie voldoet aan deze voorwaarden.
- Het GNB-verdrag, verdrag inzake het Gemeenschappelijk Nautisch Beheer in het Scheldegebied (Middelbrug, 21 december 2005). Het GNB-verdrag vormt de bekroning van een nautische samenwerking tussen Nederland en Vlaanderen die in 1839 is gestart, met de uitdaging om het veiligheids- en vlotheidsniveau verder te verbeteren, ondanks de schaalvergroting van de scheepvaart. De door het verdrag opgerichte Gemeenschappelijke Nautische Autoriteit (GNA) oefent het dagelijks nautisch beheer uit onder toezicht van de Permanente Commissie (PC). Art. 12 vermeldt o.a. dat de Verdragsluitende Partijen elkaar tijdig informeren over belangrijke beleidsvoornemens en plannen die van invloed kunnen zijn op het nautisch beheer in het Scheldegebied.
- De UNESCO Conventie voor de bescherming van het onderwatererfgoed (2001) wil door middel van internationale samenwerking de bescherming van erfgoed onder water garanderen, omdat andere zeerechtverdragen dat onvoldoende doen. Met ratificatie door Frankrijk, België, het Verenigd Koninkrijk en Nederland zou meteen het erfgoed in het zuidelijke deel van de Noordzee van een efficiënte bescherming genieten. Voorlopig hebben enkel Frankrijk en België, als enige Noordwest-Europese landen deze conventie geratificeerd (5 augustus 2013). De nieuwe wet betreffende de bescherming van het cultureel erfgoed onder water van 4 april 2014 beschrijft de afhandeling van toekomstige en eerdere ontdekkingen. De wet is van kracht sinds 1 juni 2014. Sindsdien werd de wet van 9 april 2007 betreffende de vondst en de bescherming van wrakken opgeheven.
- Het Verdrag van Malta (1992) beoogt het cultureel erfgoed dat zich in de bodem bevindt beter te beschermen. Het gaat om archeologische resten als nederzettingen, grafvelden, en gebruiksvoorwerpen. Uitgangspunt van het verdrag is dat het archeologische erfgoed integrale bescherming nodig heeft en krijgt.
- Internationale conventie inzake controle van schadelijke aangroeiwerende systemen op schepen (2001).

Vanuit het oogpunt van de natuurbescherming zijn de volgende verdragen, overeenkomsten en reglementeringen van belang:

- De Vijfde Internationale Conferentie over de Bescherming van de Noordzee (Bergen-Noorwegen, 20-21 maart 2002), waarin de aanpak van het ecosysteem voor de verdere ontwikkeling van de Noordzee duidelijk naar voren wordt geschoven;
- Het Protocol van Kyoto bij het Raamverdrag van de Verenigde Naties inzake klimaatverandering (UNFCCC) van 11 december 1997 om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen. Een wereldwijde klimaatstrategie, die een beperking van de emissie van broeikasgassen inhoudt, is overeengekomen in het kader van de United Nations Climate Convention (1992), en zijn implementatie in het Kyoto Protocol (1997). Voor België betekent dit een reductie van 7,5% van de uitgestoten broeikasgassen tegen 2012 ten opzichte van 1990. In december 2008 werd door het Europees Parlement het energie/klimaatpakket goedgekeurd waarbij de doelstelling voor België wordt opgetrokken naar 15% emissievermindering tegen 2020. De klimaatconferentie in Durban (12/2011) werd afgesloten met een politiek akkoord over een mogelijk verlengstuk van het Kyoto Protocol na december 2012, echter zonder de drie belangrijkste landen: Canada, Rusland en Japan. Op de klimaattop van Doha van december 2012 (COP 18) werd het verlengstuk van het Kyoto Protocol tot in 2020 goedgekeurd door de meeste Europese landen en Australië, maar niet door enkele belangrijke vervuilers zoals de VS, Rusland, Canada en Japan. Op de klimaattop van Warschau van november 2013 (COP 19) werd opgeroepen het uitstoten van broeikasgassen te verminderen, maar er werden geen harde verplichtingen opgelegd. Evenmin werd een basis gelegd voor nieuwe milieudoelstellingen van de Verenigde Naties die in 2015 zouden moeten ingaan.
- Het OSPAR-verdrag van 1992 voor de bescherming van het mariene milieu van de NO-Atlantische Oceaan (25/03/1998) heeft als belangrijkste doel:
    - Het voorkomen en beëindigen van de verontreiniging van het mariene milieu;
    - Het beschermen van het zeegebied tegen de nadelige effecten van menselijke activiteiten om de gezondheid van de mens te beschermen en het mariene ecosysteem in stand te houden;
    - Indien mogelijk de aangetaste zeegebieden te herstellen;
    - Bescherming van het mariene ecosysteem en de biologische biodiversiteit (Bijlage V – 1998);
- Het ESPOO-verdrag van 1991 “Convention on environmental impact assessment in a transboundary context” voorziet dat voor projecten met grensoverschrijdende effecten het land waar die effecten zich voordoen geconsulteerd dient te worden. Het verdrag is getekend en geratificeerd door zowel België als Nederland. Aangezien de uiteindelijk geplande omvang van het project dusdanig groot is vergeleken met andere projecten, dat de locatie op de grens gepland is en dat er effecten kunnen optreden die grensoverschrijdend zijn, betekent dat het verdrag van toepassing is, en dat Nederland bijgevolg dient geconsulteerd te worden. De bevoegde nationale instanties zorgen ervoor dat deze procedure wordt gevolgd.

- De RAMSAR conventie (1971-1975) over internationaal belangrijke watergebieden voor vogels en de bescherming van die gebieden (beperkt tot op een diepte van 7 m). Voor een situering van deze beschermingsgebieden wordt naar Bijlage E verwezen;
- Het Verdrag van Bonn (1979) inzake bescherming van trekkende wilde diersoorten en de verwante ASCOBANS-overeenkomst (1992) ter bescherming van kleine walvisachtigen in de Noordzee en de Oostzee;
- Het Verdrag van Bern (1979) inzake behoud van wilde dieren en planten en hun natuurlijke leefmilieu;
- Het Verdrag inzake Biodiversiteit van Rio de Janeiro door België ondertekend en goedgekeurd (11/05/1995, gepubliceerd 2/04/1997). De conventie erkent dat biologische diversiteit meer omvat dan planten, dieren, micro-organismen en hun ecosystemen, het gaat ook over mensen en hun voedselzekerheid, medicijnen, gezonde lucht en water, en een proper en gezond milieu om in te leven. Het doel van de CBD - Conventie (Convention on Biological Diversity) is:
    - het behouden van de biologische diversiteit;
    - het duurzaam gebruik van zijn componenten;
    - het eerlijk verdelen van de opbrengsten die voortkomen uit de natuurlijke rijkdommen;
- Hoofdstuk 17 van Agenda 21 (VN programma) met betrekking tot de bescherming van zee- en kustgebieden;

Van minder direct belang zijn de volgende conventies en verdragen gerelateerd aan operationele lozingen en vervuiling ten gevolge van een ongeval:

- Het OPRC (1990) omtrent het paraat zijn, de samenwerking en de bestrijding van olievervuiling;
- Het MARPOL 73/78 Verdrag en de bijlagen I (olie) en V (scheepsvuilnis). Dit Internationaal Verdrag stelt zich ten doel zeeverontreiniging door schepen te beperken en te voorkomen. Voor bijlage I en bijlage V is de Noordzee een ‘Speciale Zone’;
- MARPOL bijlage VI bevat normen voor de emissies naar de lucht van zeeschepen. De volgende normen zijn van toepassing sinds 1 juli 2010:
    - Het zwavelgehalte in brandstofolie mag nu maximaal 3,5% bedragen (sinds 1 januari 2012). Deze limiet zal progressief aangepast worden tot 0.5% vanaf januari 2020. In de zogenoemde SECA-gebieden (SO_2 emission control areas) mag dit slechts maximaal 1,0% bedragen en slechts 0,1% tegen 2015. De Baltische zee en de Noordzee zijn aangewezen als SECA.
    - Een aanscherping voor schepen die langer dan 2h in de havenbekkens liggen, naar 0,1% zwavel werd in 2010 ingevoerd (EU zwavelrichtlijn).
    - Voor de NOx -uitstoot van motoren van na 1 januari 2011 zijn eveneens normen vastgesteld. De verwachting is dat dit leidt tot een NO_x -reductie van ca. 30%. Deze normen zijn gerelateerd aan het toerental.

- De internationale conventies omtrent burgerlijke aansprakelijkheid inzake schade door vervuiling met olie (International Conventions on Civil Liability for Oil Pollution Damage ook gekend als CLC 1969 en CLC 1992) omtrent de verplichte verzekering van de tankereigenaar;
- De internationale conventies voor de oprichting van een Internationaal Fonds voor de Compensatie van Olievervuilingsschade (IOPC Fund 1971 en 1992) ter aanvulling van de CLC 1969 en CLC 1992;
- De Internationale conventie omtrent de burgerlijke aansprakelijkheid voor vervuilingsschade door bunkerolie (maart 2001). Deze conventie werd van kracht op 21 november 2008;
- De London Convention (1972) en 1996 Protocol omtrent het voorkomen van mariene vervuiling door afvaldumping.
- Het Akkoord van Bonn (1983) tussen de Noordzeestaten en de EG inzake wederzijdse hulp en samenwerking in bestrijding van (olie)vervuiling, en bewaking en controle ter voorkoming van overtreding van reglementen ter bescherming en bestrijding van pollutie.

3.2 BELEIDSMATIGE RANDVOORWAARDEN

3.2.1 Doelstellingen voor Europa

De vooruitzichten voor ontginning en gebruik van de huidige energievormen en de steeds stijgende vraag naar energie leiden tot een Europese beleid dat enerzijds gericht is op een reductie van het energieverbruik en anderzijds op een streven naar het gebruik van nieuwe duurzame energievormen. De redenen daarvoor zijn velerlei, maar enkele belangrijke zijn:

- De Europese Unie streeft ernaar zoveel mogelijk zelf in te staan voor haar energievoorziening en bijgevolg zoveel mogelijk onafhankelijk te zijn van de buitenlandse energiemarkt. Op dit ogenblik is de Unie sterk gebonden aan de markt buiten de Unie voor haar huidige energievoorziening. De Conferentie van Rio van 1992 heeft de aanzet gegeven tot een duurzame ontwikkeling met als doel een betere verdeling van de bronnen (sociale billijkheid) en een levenskwaliteit die schade toebrengt noch aan het milieu noch aan de toekomst van de volgende generaties. De zwakke punten van fossiele brandstoffen evenals de problemen met kernenergie die aan het licht zijn gekomen, noodzaken tot een waardering van andere en nieuwe energievormen;
- In december 2008 werd door het Europees Parlement het energie/klimaatpakket goedgekeurd (omgezet in richtlijn in april 2009: 2009/28/EG) waarmee het wettelijk kader werd gecreëerd om de doelstellingen die in 2007 door de Lentetop werden vooropgesteld, te realiseren:

  - De broeikasgasuitstoot tegen 2020 met 30% te verminderen t.o.v. het referentiejaar 1990 als bijdrage tot een globaal en omvattend klimaatakkoord;
  - De broeikasgasuitstoot tegen 2020 met minstens 20% te verminderen t.o.v. het referentiejaar 1990 in afwachting van een dergelijk akkoord;
  - Tegen 2020 aan 20% van de energievraag met hernieuwbare energie te voldoen.
- In januari 2014 werd het nieuwe klimaatplan voor 2030 van de Europese Commissie voorgesteld. Het Europees Parlement moet het plan echter nog goedkeuren. Volgende doelstellingen werden vooropgesteld:
  - Een reductie van de uitstoot van broeikasgassen tegen 2030 met 40% tegenover 1990;
  - Een aandeel van 27% hernieuwbare energie voor de hele EU. Per land geldt er echter geen bindende norm;
  - Een nieuwe doelstelling inzake de energie-efficiënte is uitgesteld tot de herfst van 2014. De Commissie wacht nog een evaluatie af van de vorige richtlijn.

Voor de doelstellingen tegen 2020 werd er overeenstemming bereikt over de verdeling van deze inspanningen over de 28 lidstaten. Voor België betekent dit dat in de sectoren die niet onder de emissiehandel vallen, de uitstoot in 2020 met 15% moet verminderen ten opzichte van 1990 en dat 13% van het finale energieverbruik van hernieuwbare energiebronnen afkomstig moet zijn. De emissies van de industrie worden op Europees vlak aangepakt binnen het emissiehandelssysteem, waar de veiling van emissierechten geleidelijk aan wordt opgetrokken. Verder werden nog maatregelen genomen om de uitstoot van auto's te verminderen en om een kader te creëren voor de opslag van CO_2 in de ondergrond. Op de klimaattop van Warschau van november 2013 (COP 19) werd opgeroepen het uitstoten van broeikasgassen te verminderen, maar er werden geen harde verplichtingen opgelegd. Een basis voor nieuwe milieudoelstellingen van de Verenigde Naties die in 2015 zouden moeten ingaan, werd niet gelegd.

Het is ook van belang om de doelstellingen van de Europese Unie te vermelden voor een geïntegreerd kustzonebeheer, de bescherming van de (zee)biodiversiteit en de reductie van de zeevervuiling.

De mededelingen van de EG met betrekking tot het geïntegreerd kustzonebeheer (COM(2000) 547 definitief en COM(2000) 545) wijzen op het belang van een aantal principes (breed perspectief op lange termijn, het plaatselijke perspectief, het werken met natuurlijke processen, de betrokkenheid van alle partners, actoren en besturen, en de correcte mix van instrumenten) waarmee rekening gehouden moet worden bij het beheer en de ontwikkeling van de kustzone. De principes van duurzame ontwikkeling zijn hier bijgevolg eveneens van belang.

De Europese Kaderrichtlijn Mariene strategie (2008/56/EG) van 17 juni 2008 stelt een kader vast om maatregelen te nemen om uiterlijk in 2020 een goede milieutoestand van het mariene milieu te bereiken of te behouden. Hierbij moet ook de impact van verschillende gebruikers van de Noordzee in beschouwing genomen worden.

3.2.2 Doelstellingen voor België en Vlaanderen

Op basis van het huidig protocol van Kyoto moet ook België zijn broeikasgassenemissie reduceren. Onder de Burden Sharing Agreement tussen de Europese lidstaten, afgesloten volgens artikel 4 van het Kyoto Protocol heeft België een reductiedoelstelling vastgelegd van 7,5% ten opzichte van 1990 voor de periode 2008-2012. Zoals reeds vermeld in voorgaande paragrafen, werd in december 2008 door het Europees Parlement het energie/klimaatpakket goedgekeurd waarbij de doelstelling voor België wordt opgetrokken naar 15% emissievermindering tegen 2020 en waarbij 13% van het finale energieverbruik van hernieuwbare energiebronnen afkomstig moet zijn. In 2013 werd het Derde Vlaams Klimaatsbeleidsplan voor de periode 2013-2020 opgesteld. Daarin wordt op Vlaamse niveau invulling gegeven aan de 'niet-ETS doelstelling', i.e. een vermindering van de uitstoot van broeikasgassen in de niet-Effort Sharing Decision sectoren met minstens 15% ten opzichte van 2005.

Het aandeel van de hernieuwbare energiebronnen in Vlaanderen bedroeg eind 2012 ca. 5,5% (www4.vlaanderen.be, 2013). Begin 2010 bracht EDORA (de Franstalige beroepsfederatie voor hernieuwbare energie) een studie uit over het realiseerbaar potentieel in 2020 voor hernieuwbare energie in België (EDORA, 2010). In deze studie wordt het routeplan tot het behalen van de doelstelling van 13% hernieuwbare energie beschreven dat ontwikkeld werd voor het invullen van het Nationale Actieplan dat elke lidstaat moest indienen bij de Europese Commissie tegen uiterlijk 30 juni 2010. De studie toont aan dat 16 tot 18% van de bruto energievraag in België uit hernieuwbare energiebronnen kan komen tegen 2020. Van de vraag naar elektriciteit – goed voor een kwart van ons energieverbruik – zou bijna voor 28% uit hernieuwbare bronnen kunnen komen, vooral dankzij windturbines op land en op zee en via zonnepanelen. De studie voorziet ondermeer 2.800 MW opgesteld vermogen aan windturbines op zee. Om dit toekomstbeeld te verwezenlijken zijn aangepaste en dringende beleidsmaatregelen vereist. Zo zal het noodzakelijk zijn voor het installeren van 2.800 MW windturbines op zee om snel een nieuw concessiegebied open te stellen specifiek voor offshore windenergie.

Zowel op federaal als op Vlaams niveau blijven de groenestroomcertificaten de belangrijkste steunmaatregel ter bevordering van hernieuwbare energie. Zeker nu de fiscale aftrek voor energiebesparende maatregelen drastisch wordt afgebouwd. Al zal dit mogelijk gecompenseerd worden door maatregelen van de Vlaamse Overheid. Het Vlaamse Gewest heeft in het Elektriciteitsdecreet van 17 juli 2000 (onder meer gewijzigd bij decreet van 18 december 2009 en het zogenaamde Groenestroomdecreet van 8 mei 2009) het systeem van groenestroomcertificaten opgenomen dat gestart is op 1 januari 2002. Dit verplicht de elektriciteitsleveranciers om een gedeelte van de geleverde stroom in te vullen met groene stroom. De groenestroomquota zijn vastgelegd in het Groenestroomdecreet van 8 mei 2009 (publicatie 26 juni 2009) en nemen toe in de tijd: 7% in 2012 tot 13% in 2021. Een leverancier kan aan die verplichting voldoen door zelf groene stroom te produceren of door groenestroomcertificaten aan te kopen op de markt. Zij zullen jaarlijks groenestroomcertificaten moeten voorleggen, en dit voor het opgelegde minimum percentage van hun leveringen. Indien de leverancier niet voldoet aan deze opgelegde minima, dan wordt hem een administratieve geldboete opgelegd.

Op het federale niveau zijn de specifieke maatregelen ter bevordering van elektriciteitsproductie op basis van hernieuwbare energiebronnen vervat in het KB van 16 juli 2002, zoals laatst gewijzigd op 4 april 2014, betreffende de instelling van mechanismen voor

de bevordering van elektriciteit opgewekt uit hernieuwbare energiebronnen. Volgens artikel 2 van het wijzigingsbesluit van 31 oktober 2008 is de netbeheerder verplicht, in het kader van zijn taak van openbare dienstverlening, groenestroomcertificaten aan te kopen die zijn afgeleverd krachtens dit besluit en krachtens de elektriciteitsdecreten en -ordonnantie, van de groenestroomproducent die hierom verzoekt, tegen een minimale prijs die bepaald is in functie van de gebruikte productietechnologie.

Door de laatste wijziging (04/04/2014) van het KB van 16 juli 2002 betreffende de mechanismen voor bevordering van hernieuwbare energiebronnen, werd het ondersteuningssyteem grondig hervormd:

- Voor offshore windenergie geproduceerd door installaties die het voorwerp uitmaken van een in artikel 6 van de wet bedoelde domeinconcessie, waarvan de financial close ten laatste op 1 mei 2014 heeft plaatsgevonden:
  - 107 €/MWh voor de productie van elektriciteit opgewekt met de eerste 216 MW geïnstalleerde capaciteit;
  - 90 €/MWh voor de productie van elektriciteit die voortvloeit uit een geïnstalleerde capaciteit boven de eerste 216 MW.
- Voor offshore windenergie geproduceerd door installaties die het voorwerp uitmaken van een in artikel 6 van de wet bedoelde domeinconcessie, waarvan de financial close na 1 mei 2014 plaatsvindt, een minimumprijs vastgelegd aan de hand van de volgende formule : Minimumprijs = LCOE - [elektriciteitsreferentieprijs - correctiefactor]
  waarin :
  - De LCOE gelijk is aan 138 €/MWh;
  - De correctiefactor is gelijk aan 10 % van de elektriciteitsreferentieprijs.

Voor offshore installaties die elektriciteit produceren uit water of stromen (zoals WEC's) bedraagt de prijs 20 €/MWh.

Deze aankoopverplichting begint bij de inwerkingstelling per productie-eenheid van offshore windenergie voor een periode van 20 jaar.

Daarnaast biedt de wet van 29 april 1999 betreffende de organisatie van de elektriciteitsmarkt, laatst gewijzigd op 15 mei 2014, een rechtszeker kader voor de ontwikkeling van offshore windparken, door volgende maatregelen:

- De verplichting voor de beheerder van het nationaal transmissienet van elektriciteit om groenestroomcertificaten aan te kopen tegen een minimumprijs en deze daarna te verkopen;
- De verplichtingen van de netbeheerder met betrekking tot de productieafwijking.

Door de wijziging van deze wet (8 mei 2014 - Wet houdende diverse bepalingen inzake energie) wordt de ondersteuning van export kabel eveneens aangepast. In artikel 7 § 2 van de wet worden twee leden ingevoegd tussen het eerste en het tweede lid luidende:

> Installaties, voor de productie van elektriciteit uit wind in de zeegebieden waarin België zijn rechtsmacht kan uitoefenen overeenkomstig het internationaal zeerecht, die het voorwerp uitmaken van een in artikel 6 bedoelde domeinconcessie, verleend na 1 juli 2007, kunnen de minister verzoeken om niet aan te sluiten op een installatie noodzakelijk voor de transmissie van elektriciteit in de zeegebieden waarin België rechtsmacht kan uitoefenen overeenkomstig het

internationaal zeerecht, bedoeld in artikel 13/1. Indien de Koning, bij besluit vastgesteld na overleg in de Ministerraad, toestemming verleent om niet aan te sluiten, staat de netbeheerder in voor één derde van de kostprijs van de onderzeese kabel met een maximumbedrag van 25 miljoen euro volgens de modaliteiten bepaald in deze paragraaf en wordt de minimumprijs voor de geproduceerde windenergie, zoals vastgelegd voor installaties waarvan de financial close plaatsvindt na 1 mei 2014 overeenkomstig het koninklijk besluit van 16 juli 2002 betreffende de instelling van mechanismen voor de bevordering van elektriciteit opgewekt uit hernieuwbare energiebronnen, verhoogd met 12 €/MWh.

Voor de in het tweede lid bedoelde installaties die aansluiten op een installatie noodzakelijk voor de transmissie van elektriciteit in de zeegebieden waarin België rechtsmacht kan uitoefenen overeenkomstig het internationaal zeerecht bedoeld in artikel 13/1, maar zich op een afstand van meer dan 9 kilometer bevinden van deze installatie, staat de netbeheerder in voor een door de Koning, op voorstel van de commissie en na advies van de netbeheerder, te bepalen deel van de kostprijs van de onderzeese kabel ter aansluiting op deze installatie.

Gelet de afstand van het transformatorplatform tot het Alpha station zullen zowel Mermaid als Northwester2 kunnen genieten van het laatste ingevoegde lid.

Het huidig nucleaire energiebeleid is daarenboven gericht op een afbouw van het bestaande nucleaire energiepark op relatief korte termijn (2015-2025) (deactivering van kerncentrales ouder dan 40 jaar) (wet van 31 januari 2003, publicatie 28 februari 2003). Dit betekent dat een bijkomende druk zal ontstaan om hernieuwbare energiebronnen te gebruiken voor elektriciteitsproductie om een te groot conflict met de Kyoto doelstellingen te voorkomen.

Naast de doelstellingen betreffende de energieproductie en -consumptie, en de doelstelling inzake de uitstoot van broeikasgassen en klimaatveranderingen dienen ook andere beleidsdoelstellingen gecontroleerd te worden. Vooral de Belgische of Vlaamse beleidsdoelstellingen inzake geïntegreerd kustzonebeleid en de mariene vervuiling lijken hier relevant. Dit heeft onder andere geleid tot de oprichting van het Coördinatiepunt voor Geïntegreerd Beheer van Kustgebieden en de Kustwacht.

3.2.3 Het aandeel van de geleverde energie door Mermaid en Northwester 2 in de federale verplichting inzake hernieuwbare energie en CO_2 uitstoot

De bouw van energieparken Mermaid en Northwester 2 zal een positieve bijdrage leveren aan de federale beleidsdoelstellingen op twee vlakken: de uitstoot van CO_2 zal verminderen onder de vorm van ‘vermeden emissies’ en het project zal bijdragen tot de beleidsdoelstelling van 13% hernieuwbare energie.

Het nationale streefcijfer voor elektriciteitsverbruik in 2020 is 110.000 GWh (CONCERE-ENOVER, 2010). Het nationaal streefcijfer voor 2020 voor het aandeel elektriciteit uit hernieuwbare bronnen is 20,9%, wat overeenstemt met een elektriciteitsproductie van 23.000 GWh. De doelstelling van de bijdrage van windenergie aan de totale hernieuwbare doelstelling voor België in het jaar 2020 is 10.500 GWh/jaar (Tabel 2-1).

Rekening houdend met een geproduceerd vermogen van ongeveer 36% van het geïnstalleerd vermogen, zullen de windturbines in Mermaid 750 tot 1.000 GWh/jaar produceren en in Northwester 2 700 tot 950 GWh/jaar. Dit betekent ongeveer 7,1 tot 9,5% van de windenergiedoelstelling voor ons land tegen 2020 voor Mermaid en 6,7 tot 9% voor Northwester 2. De WEC's in Mermaid zullen 24 tot 72 GWh/jaar produceren.

Bovendien zal de bouw van de parken helpen de uitstoot van CO_2 te verminderen onder de vorm van 'vermeden emissies'. In hoofdstuk 5.2 'Klimaat en atmosfeer' zal bepaald worden welke emissies vermeden worden door deze projecten. De vermeden emissies zijn diegene die ontstaan bij een 'klassieke installatie' voor een vergelijkbare elektriciteitsproductie (om een vergelijkbare energiebehoefte te dekken), en die bij de installatie van een windpark niet meer zullen geproduceerd worden. Bij de berekening van de 'vermeden emissies' werd bovendien rekening gehouden met de CO_2 uitstoot en het energieverbruik bij de productie, transport en constructie van de windturbines, WEC's en bekabeling.

4. BESCHRIJVING VAN DE ALTERNATIEVEN

4.1 CONFIGURATIEALTERNATIEVEN

4.1.1 Mermaid

Alle beschouwde alternatieven voor de verdere MER-studie, worden steeds verondersteld als ingetekend in de concessiezone zoals besproken in hoofdstuk 2 (maximale impact).

Voor de beschrijving van de milieueffecten wordt geopteerd om naast de basisconfiguratie met 38 windturbines van 6 MW, drie alternatieve configuraties te bespreken (met elk hun range van vermogen en rotordiameter en een maximaal aantal turbines), waarbij voor elk van de configuraties telkens een typevoorbeeld zal onderzocht worden op vlak van milieu-impact.

Naast de basisconfiguratie, zullen de volgende drie omhullende configuraties beschreven worden, die zich in de eerste plaats onderscheiden in aantal turbines en individueel vermogen:

0. Basisconfiguratie: 57-32 WTG's in het initiële concessiegebied, met rotordiameter (RD) 120-155 m - individueel vermogen 4-7 MW. Als typevoorbeeld geldt de Alstom Haliade (38 WTG's, 6 MW, 150 m RD).
1. Configuratie 1: 80-64 WTG's in het uitgebreide concessiegebied, met rotordiameter 110-130 m - individueel vermogen 3-5 MW. Als typevoorbeeld geldt de Vestas V112 (80 WTG's, 3,3 MW, 112 m RD).
2. Configuratie 2: 61-38 WTG's in het uitgebreide concessiegebied met rotordiameter 150-180 m - individueel vermogen 5-8 MW. Een typevoorbeeld is de Vestas V164 (38 WTG's, 8 MW, 164 m RD).
3. Configuratie 3: 29-24 WTG's in het uitgebreide concessiegebied met rotordiameter 165-190 m - individueel vermogen 8-10 MW. Als typevoorbeeld geldt de SeaTitan (24 WTG's, 10 MW, 190 m RD).

Op die manier wordt de optie met het minimaal geïnstalleerd vermogen besproken (basisconfiguratie), de optie met maximaal aantal mogelijke WTG's (configuratie 1), de optie met maximaal geïnstalleerd totaal vermogen (configuratie 2) en de optie met minimaal aantal mogelijke WTG's met maximale rotordiameter (configuratie 3).

Samenvattend wordt voor de park lay-out rekening gehouden met een vermogensrange van 3 MW tot 10 MW per turbine met een totaal geïnstalleerd vermogen tussen 224 en 320 MW, en zullen drie typevoorbeelden turbines uitgewerkt worden in het MER. De basis en drie alternatieve inplantingsconfiguraties worden weergegeven in Bijlage C.

Per configuratie zijn meerdere funderingstypes mogelijk. De volgende combinaties zullen verder bestudeerd worden in het MER:

Tabel 4-1 Weerhouden combinaties van parkconfiguratie en type fundering voor Mermaid (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering)

Configuratie	Aantal turbines	Rotordiameter	Individueel vermogen	Totaal geïnstalleerd vermogen	Funderingstype	Erosiebescherming
Basisconfiguratie	57-32 38	120-155 m 150 m	4-7 MW 6 MW	228-224 MW 228 MW	Monopile	Ja: Statisch/dynamisch
					Jacket	dynamisch
					GBF	ja
					Suction bucket	Idem MP en JF
Configuratie 1	80-64 80	110-130 m 112 m	3-5MW 3,3 MW	240-320 MW 264 MW	Monopile	Ja: Statisch/dynamisch
					Jacket	dynamisch
					Suction bucket	Idem MP en JF
Configuratie 2	61-38 38	150-180 m 164 m	5-8 MW 8 MW	305-304 MW 304 MW	Jacket	dynamisch
					GBF	ja
					Suction bucket	Idem MP en JF
Configuratie 3	29-24 24	165-190 m 190 m	8-10 MW 10 MW	232-240 MW 240 MW	Jacket	dynamisch
					GBF	ja
					Suction bucket	Idem MP en JF

4.1.2 Northwester 2

Voor Northwester 2 is de aanpak voor de beschrijving van de milieueffecten dezelfde. Naast de basisconfiguratie, zullen de drie omhullende configuraties beschreven worden, met dezelfde typevoorbeelden en funderingstypes. Enkel het aantal turbines en bijgevolg het totaal geïnstalleerd vermogen wijkt af van Mermaid:

0. Basisconfiguratie: 53-30 WTG's in het initiële concessiegebied, met rotordiameter (RD) 120-155 m - individueel vermogen 4-7 MW. Als typevoorbeeld geldt de Alstom Haliade (35 WTG's, 6 MW, 150 m RD).
1. Configuratie 1: 70-56 WTG's in het uitgebreide concessiegebied, met rotordiameter 110-130 m - individueel vermogen 3-5 MW. Als typevoorbeeld geldt de Vestas V112 (70 WTG's, 3,3 MW, 112 m RD).
2. Configuratie 2: 59-37 WTG's in het uitgebreide concessiegebied met rotordiameter 150-180 m - individueel vermogen 5-8 MW. Een typevoorbeeld is de Vestas V164 (37 WTG's, 8 MW, 164 m RD).
3. Configuratie 3: 27-22 WTG's in het uitgebreide concessiegebied met rotordiameter 165-190 m - individueel vermogen 8-10 MW. Als typevoorbeeld geldt de SeaTitan (22 WTG's, 10 MW, 190 m RD).

Ook hier wordt de optie met het minimaal geïnstalleerd vermogen besproken (basisconfiguratie), de optie met maximaal aantal mogelijke WTG's (configuratie 1), de optie

met maximaal geïnstalleerd totaal vermogen (configuratie 2) en de optie met minimaal aantal mogelijke WTG's met maximale rotordiameter (configuratie 3).

Samenvattend wordt voor de park lay-out van Northwester 2 rekening gehouden met een vermogensrange van 3 MW tot 10 MW per turbine met een totaal geïnstalleerd vermogen tussen 210 en 296 MW, en zullen dezelfde typevoorbeelden turbines uitgewerkt worden in het MER. De basis en drie alternatieve inplantingsconfiguraties worden weergegeven in Bijlage C.

Volgende combinaties van parkconfiguratie en funderingstype zullen verder bestudeerd worden in het MER:

Tabel 4-2 Weerhouden combinaties van parkconfiguratie en type fundering voor Northwester 2 (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering)

Configuratie	Aantal turbines	Rotordiameter	Individueel vermogen	Totaal geïnstalleerd vermogen	Funderingstype	Erosiebescherming
Basisconfiguratie	53-30 35	120-155 m 150 m	4-7 MW 6 MW	212-210 MW 210 MW	Monopile	Ja: Statisch/dynamisch
					Jacket	dynamisch
					GBF	ja
					Suction bucket	Idem MP en JF
Configuratie 1	70-56 70	110-130 m 112 m	3-5 MW 3,3 MW	210-280 MW 231 MW	Monopile	Ja: Statisch/dynamisch
					Jacket	dynamisch
					Suction bucket	Idem MP en JF
Configuratie 2	59-37 37	150-180 m 164 m	5-8 MW 8 MW	295-296 MW 296 MW	Jacket	dynamisch
					GBF	ja
					Suction bucket	Idem MP en JF
Configuratie 3	27-22 22	165-190 m 190 m	8-10 MW 10 MW	216-220 MW 220 MW	Jacket	dynamisch
					GBF	ja
					Suction bucket	Idem MP en JF

4.2 ALTERNATIEVEN VOOR WEC'S IN MERMAID

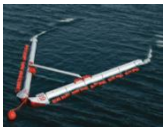
Het potentieel aan energie van het Mermaid domeinconcessiegebied wordt verder benut door voor een nominaal vermogen van minstens 20 MW met golfenergieconvertoren in te plannen in de vrije zones tussen de windturbines. In de WTG basisconfiguratie (38 x 6 MW) is de vrije zone een basisveld van 750 x 450 m. Binnen dit basisveld wordt dan – in functie van het respectievelijke WEC-systeem- getracht een dusdanige configuratie in te tekenen zodat een streefwaarde van 5 MW aan geïnstalleerd vermogen wordt gehaald. Als basisoplossing wordt een geïnstalleerd vermogen van 20 MW vooropgesteld in 4 basisvelden en wordt als bovengrens een inplanting over 12 velden (totaal geïnstalleerd vermogen van 60-61 MW) gesuggereerd.

In kader van dit MER worden enkele mogelijke typevoorbeelden geselecteerd als meest haalbaar op het BDNZ die zouden kunnen worden ingezet in Mermaid (§ 4.4.3). Deze

typevoorbeelden zijn compatibel met de locatie van Mermaid, het golfmilieu in het BDNZ en zijn gebaseerd op de beschikbare technologieën.

In Tabel 2-5 wordt per type WEC een overzicht gegeven van het theoretisch aantal WEC's (units) er binnen een basisveld kunnen geïnstalleerd worden en hoeveel velden er nodig zijn om een geïnstalleerd vermogen van 20 MW en 61 MW te bereiken. Deze oefening werd gemaakt voor alle WTG inplantingsconfiguraties.

Tabel 4-3 Theoretisch aantal units en basisvelden nodig per type WEC en WTG configuratie om 20 MW en 61 MW geïnstalleerd vermogen te bereiken. Rode velden duiden opties aan die technisch gezien niet haalbaar zijn.

Inplantingsconfiguratie windturbines		**Basisconf. 38 x 6MW WTG**	**Conf. 1 80 x 3,3MW WTG**	**Conf. 2 38 x 8 MW WTG**	**Conf. 3 24 x 10MW WTG**
Oppervlakte basisveld WECs tussen 4 windturbines		**337.500 m²**	**112.500 m²**	**337.500 m²**	**675.000 m²**
Wavestar 	1 basisveld	7 units x 800 kW	2 units x 800 kW	7 units x 800 kW	14 units x 800 kW
	20 MW	4 velden 28 units	13 velden 26 units	4 velden 28 units	2 velden 28 units
	61 MW	11 velden 77 units	39 velden 78 units	11 velden 77 units	6 velden 84 units
Poseidon 	1 basisveld	9 units x 600 kW	3 units x 600 kW	9 units x 600 kW	18 units x 600 kW
	20 MW	4 velden 36 units	11 velden 33 units	4 velden 36 units	2 velden 36 units
	61 MW	12 velden 108 units	33 velden 99 units	12 velden 108 units	6 velden 108 units
Weptos 	1 basisveld	8 units x 350 kW	2 units x 350 kW	8 units x 350 kW	16 units x 350 kW
	20 MW	8 velden 64 units	19 velden 57 units	8 velden 64 units	4 velden 64 units
	61 MW	22 velden 176 units	57 velden 171 units	22 velden 176 units	12 velden 192 units
FlanSea 	1 basisveld	60 units x 80 kW	20 units x 80 kW	60 units x 80 kW	120 units x 80 kW
	20 MW	5 velden 300 units	13 velden 260 units	5 velden 300 units	2 velden 240 units
	61 MW	12 velden 720 units	39 velden 780 units	12 velden 720 units	6 velden 720 units
Seabased 	1 basisveld	160 units x 30 kW	53 units x 30 kW	160 units x 30 kW	320 units x 30 kW
	20 MW	5 velden 800 units	13 velden 689 units	5 velden 800 units	2 velden 640 units
	61 MW	12 velden 1920 units	39 velden 2067 units	12 velden 1920 units	6 velden 1920

Inplantingsconfiguratie windturbines		Basisconf. 38 x 6MW WTG	Conf. 1 80 x 3,3MW WTG	Conf. 2 38 x 8 MW WTG	Conf. 3 24 x 10MW WTG
Lifesaver 	1 basisveld	13 units x 400 kW	4 units x 400 kW	13 units x 400 kW	26 units x 400 kW
	20 MW	4 velden 52 units	13 velden 42 units	4 velden 52 units	2 velden 52 units
	61 MW	12 velden 156 units	37 velden ~~148 units~~	12 velden 156 units	6 velden 156 units

Uit Tabel 2-5 kan reeds geconcludeerd worden dat binnen configuratie 1 met 80 windturbines er geen 61 MW zal kunnen gerealiseerd worden (voor geen enkel type WEC) wegens het hoge aantal benodigde aantal velden.

Doordat de technologie van de WEC's relatief nieuw is, is het zeer waarschijnlijk dat er in Mermaid eerst een testfase wordt uitgevoerd waarin één of meerdere types WEC's geïnstalleerd worden in het basisveld. Deze testfase vormt een logische eerste stap naar een succesvolle implementatie van golfenergie in dit deel van de Noordzee. Hierbij dient ook het cumulatief effect van een combinatie wind-golf energie verder onderzocht te worden Op basis van een grondige, integrale analyse van dergelijke piloot-systemen zullen geschikte vervolgtrajecten worden gedefinieerd waarbij een technisch-commercieel optimum kan worden bepaald voor verdere ontwikkeling.

4.3 ALTERNATIEVE KABELTRACÉS EN SPANNINGSNIVEAU VAN DE KABELS

4.3.1 Belgian Offshore Grid van Elia

In het Federaal Ontwikkelingsplan 2010-2020 (versie dd. 01/09/2011) dat door Elia werd opgesteld in samenwerking met FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie en met het Federaal Planbureau, is vermeld dat Elia de mogelijkheid onderzoekt om een vermaasd net op zee uit te bouwen met centrale aansluitingspunten, het zogenaamde Belgian Offshore Grid (BOG). Dergelijk net biedt voordelen naar:

- Betrouwbaarheid, dankzij redundantie door de gecreëerde vermazing
- Optimalisering in de investeringen bij aanleg van exportkabels
- Reductie van het aantal aanlandingen van exportkabels en aansluitingen op het landnet.

Als meest belovende optie wordt hier voorgesteld:

- Twee platforms, één met aansluiting tot 900 MW in 220 kV wisselstroom en één met aansluiting tot 350 MW
- Onafhankelijk van elkaar op het onshore 380 kV net aan te sluiten via 220 kV kabels

Hiertoe is expliciet de ontwikkeling van twee aansluitingspunten (Alpha en Beta) in de Noordzee voorzien die hoogst waarschijnlijk via 220 kV exportkabels onshore aansluiten op het Stevin-station. Dergelijk technisch concept voorziet in een volwaardig hoogspanningsstation van het GIS-type dat transformatoren bevat om inkomende

verbindingskabels op 66 kV, 33 kV of 220 kV vanuit de nog te ontwikkelen respectievelijke windparken te ontvangen en “door te schakelen” naar het onshore distributienet.

Het voorziene offshore connectiepunt Beta wordt mogelijk een OHVS in de Norther concessiezone. Het connectiepunt Alpha zal ontwikkeld worden als een station op de Lodewijkbank in de concessiezone bestemd voor ‘stopcontact op zee’ in het Marien Ruimtelijk Plan (FOD Leefmilieu, 2013).

Bovenstaande BOG-project werd reeds in extenso beschreven en naar milieueffecten beoordeeld in de recente MER en MEB studies Belgian Offshore Grid (IMDC, 2013d, BMM, 2014b).

De onshore aansluiting van Elia is ingetekend binnen in het Stevin–project voorziene nieuw te bouwen hoogspanningsstation in Zeebrugge (zie Bijlage D.4). Dit project maakt deel uit van de uitbouw van het Elia-elektriciteitsnetwerk in de kustregio waarbij o.a. de nodige faciliteiten worden voorzien om de geleverde stroom van de windparken op zee vlot naar de grote verbruikerscentra te voeren (Vlaams Regeerakkoord, juli 2009). Met het project Stevin voorziet Elia immers in een expliciete netversterking om aan drie behoeften te voldoen:

- Het project maakt het mogelijk om de geproduceerde elektrische energie van windparken op zee aan land te brengen en verder naar het binnenland te transporteren
- Het project creëert de mogelijkheid tot een verdere interconnectie van het Belgische net met een onderzeese verbinding naar het Verenigd Koninkrijk en een verdere uitbreiding naar de Noordzee en de duurzame energiemix uit Noord-Europa
- De uitbreiding van het 380 kV-net naar de kust is strikt nodig om de zekerheid van elektriciteitsbevoorrading in de Westvlaamse regio te verbeteren (inclusief de strategisch economische ontwikkeling van de groeipool rond de haven van Zeebrugge)

Actuele planningsstudies (voorlopige vaststelling tot Gewestelijk Ruimtelijk Uitvoeringsplan GRUP) voorzien de inplanting van dit hoogspanningsstation Stevin op het militair domein ten oosten of ten westen van de N31 en begrensd door de kustweg ten noorden. Vanuit dit hoogspanningsstation wordt – binnen hetzelfde Stevin-project - dan ook de verder landinwaartse 380 kV-verbinding (ontdubbeld met een vermogen van 2 x 3000 MVA) naar Zomergem voorzien.

4.3.2 Kabeltracé scenario’s

Principieel zijn er drie opties voor de aansluiting van Mermaid en Northwester 2 op het HV-transmissienet van Elia:

- Aansluiting op de Alpha-installatie van Elia op de Lodewijkbank:
  - **Optie A**: Aansluiting van Mermaid op Alpha rechtstreeks via 4-6 parallelle 66 kV of 9-12 parallelle 33 kV verbindingskabels tussen de eerste WTG en de laatste WTG van elke string. Vanaf de laatste WTG aansluiting via 4-6 parallelle 66 kV verbindingskabels met Alpha. Een aansluiting van Northwester 2 op Alpha rechtstreeks via 4 (66 kV) of 8 (33 kV) lijnstrengen tot de laatste WTG. Vanaf de laatste WTG aansluiting via 4 parallelle 66 kV verbindingskabels met Alpha. (Figuur 4-1 en Bijlage D.1).
  - **Optie B**: Aansluiting van Mermaid en Northwester 2 op Alpha waarbij elke WTG-string eerst op het OHVS binnen de respectievelijke concessiezones aangesloten

wordt. De aansluiting van de OHVS'en met Alpha gebeurt met één of twee driefasige verbindingskabel(s) van 150, 220 of 380 kV (Figuur 4-2 en Bijlage D.2).

- Fall-back scenario:
  - **Optie C**: Directe aansluiting van Mermaid en Northwester 2 op het onshore connectiepunt Stevin in Zeebrugge via één of twee driefasige exportkabels van 150, 220 of 380 kV. In dit scenario wordt elke string op het OHVS binnen de respectievelijke concessiezones aangesloten. De OHVS'en worden vervolgens met exportkabels op de kust aangesloten. (zie Figuur 4-3 en Bijlage D.3). De exportkabels van Mermaid en Northwester 2 vallen maximaal samen met de kabelcorridor die door Elia wordt voorgesteld als de verbinding tussen Alpha en de onshore verbinding op Stevin. (cfr. BOG-project MER-studie). Voor dit deel van de exportkabel wordt volledig teruggevallen op de reeds uitgevoerde MER- en MEB-studies voor dit onderdeel van het BOG-project (IMDC, 2013d, BMM, 2014b).

Hierbij wordt een maximale afstemming en interactie nagestreefd met het MER-proces van het Belgian Offshore Grid van Elia en de afgebakende zones voor leidingen binnen het actueel voorliggende ontwerp van Marien Ruimtelijk Plan.

4.3.2.1 Optie A en B: Aansluiting op offshore connectiepunt Alpha van Elia

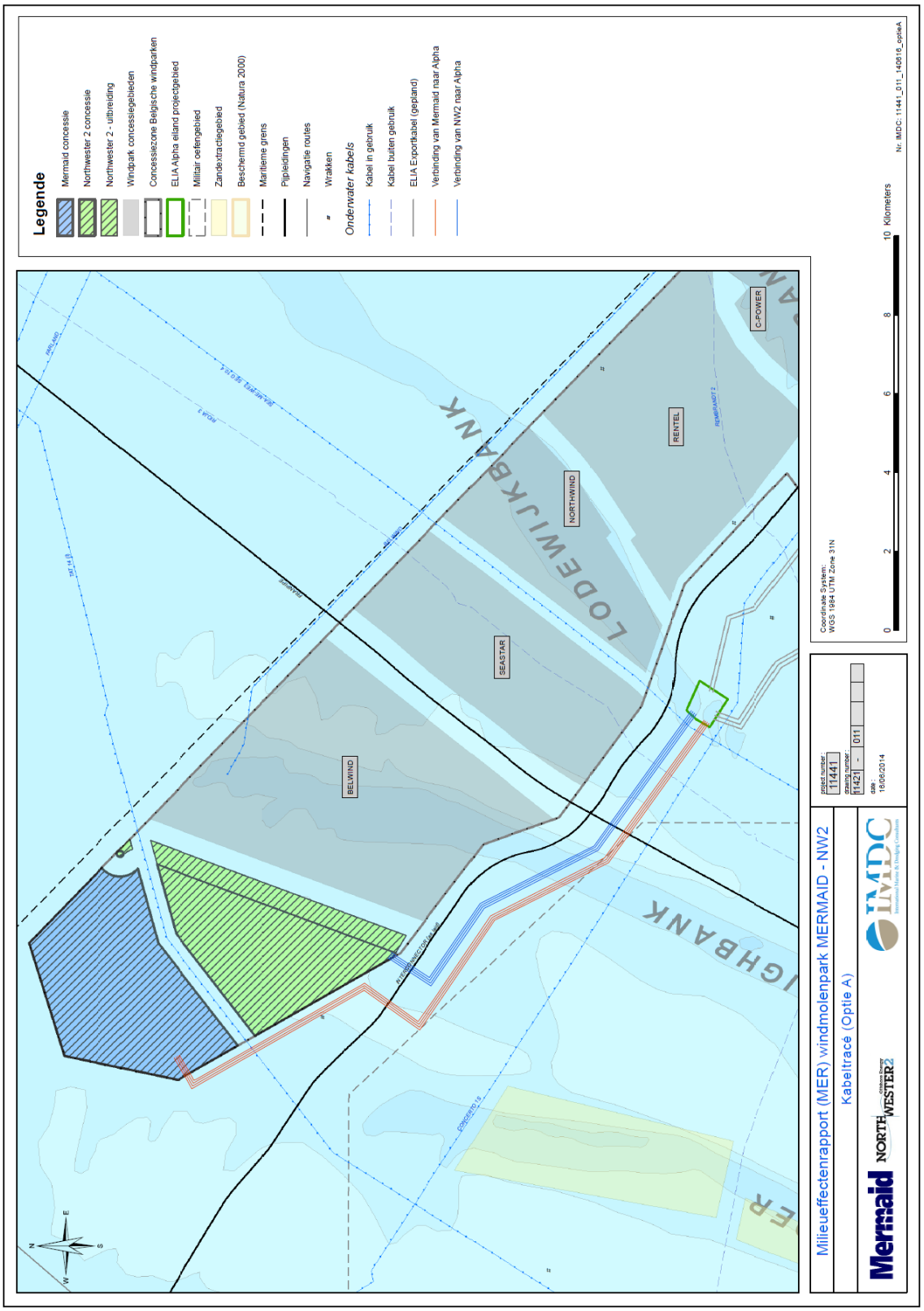
De kortste route voor aansluiting van Mermaid en Northwester 2 op het HV-transmissienet van Elia is via aansluiting op Alpha. Hierbij worden beide parken– in overeenstemming met de Elia-visie rond de verdere uitbouw van het offshore grid – via 4 tot 6 66 kV verbindingskabels op Alpha aangesloten zonder tussenliggend OHVS binnen de concessiezone, i.e. optie A. Het OHVS, waar getransformeerd wordt, bevindt zich dan op Alpha. De Alpha-installatie zal zich – in de hier beschouwde inrichting - ter hoogte van de Lodewijkbank bevinden, ten zuidwesten van de Northwind concessiezone. Zoals aangegeven in het plan (rood en blauw tracé in Figuur 4-1) wordt een afzonderlijke corridorzone voor elk park voorzien voor deze verbindingskabels. Bij de gebeurlijke rechtstreekse verbinding naar de nabijgelegen Alpha-installatie wordt een extra kabellengte van om en bij 20-22 km voorzien voor elk van de 4-6 lijnstrengen (verbindingskabels) tussen Mermaid en het station en 11,3-11,8 km voor elk van de 4 verbindingskabels tussen Northwester 2 en het station (optie A).

Indien Alpha technisch gezien te ver van Mermaid en/of Northwester 2 zou liggen om optie A efficiënt te realiseren, dient in dit geval elke string aangesloten te worden op één OHVS binnen elk concessiegebied, i.e. optie B. Eén of twee verbindingskabels van 150, 220 of 380 kV sluiten dan de respectievelijk OHVS'en in de twee concessiezones aan op Alpha (elk ca. 20 km lang voor Mermaid en 11,8-15,5 voor Northwester 2).

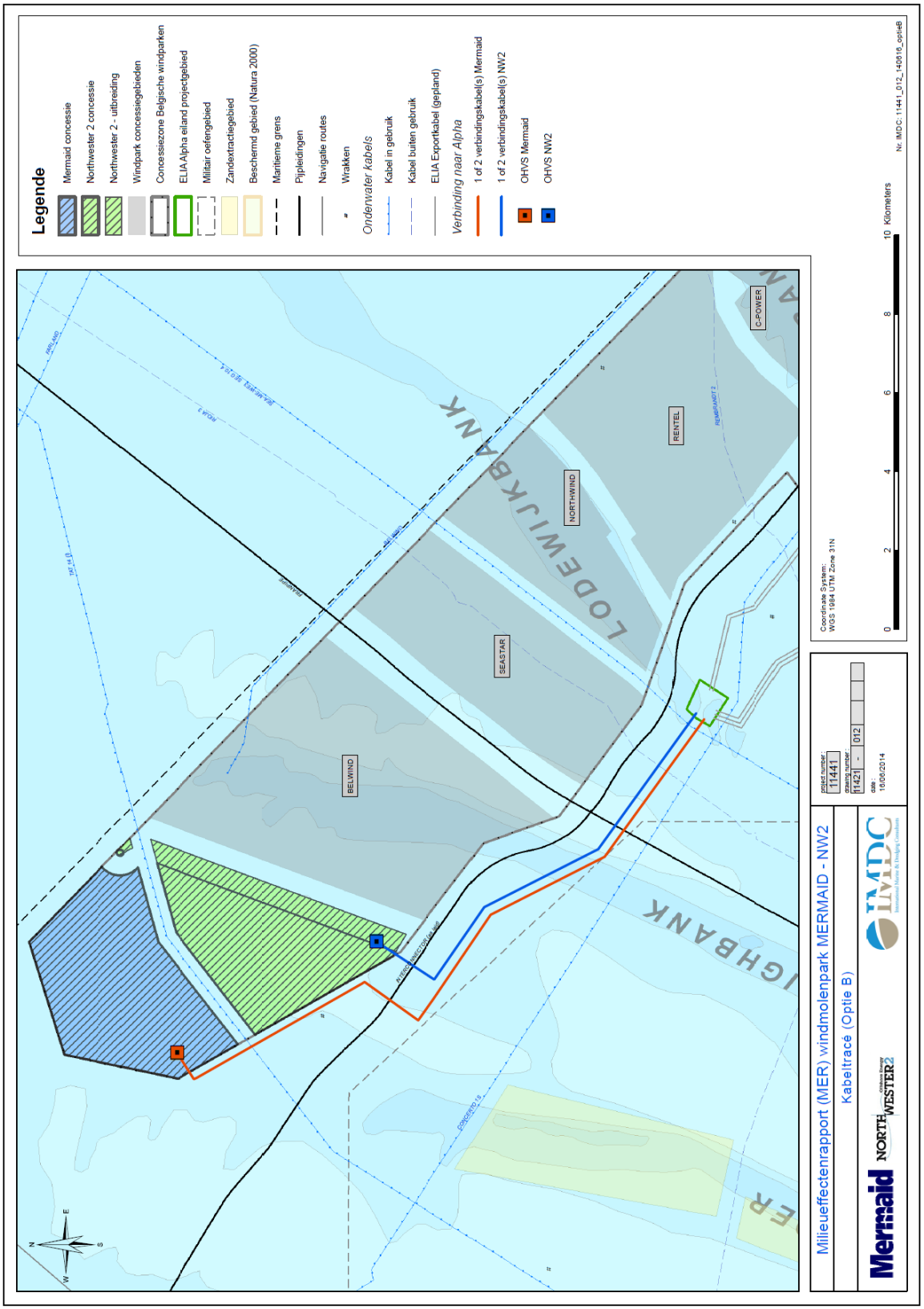
De kabeltracés naar Alpha kruisen achtereenvolgens van de parken tot Alpha:

- de operationele TAT 14(I) telecommunicatiekabel (Enkel voor Mermaid)
- de Interconnector gasleiding
- de Franpipe gasleiding
- de niet-operationele Rioja 3 telecommunicatiekabel
- de operationele SEA-ME WE3 seg. 10.4 telecommunicatiekabel

Het kruisen van kabels en pijpleidingen gebeurt bij voorkeur onder een hoek van 90° om de overlap tot een minimum te herleiden. Technische specificaties omtrent ontwerp en uitvoering van dergelijke kruisingen worden verder in detail expliciet uitgewerkt in de milieuvergunningsaanvraag.



Figuur 4-1 Optie A: rechtstreekse aansluiting van Mermaid en Northwester 2 op Alpha via meerdere (parallelle) verbindingskabels (A3 formaat in Bijlage D.1)



Figuur 4-2 Optie B: rechtstreekse aansluiting van OHVS in Mermaid en Northwester 2 op Alpha via 1 of 2 verbindingskabel(s) (A3 formaat in Bijlage D.2)

4.3.2.2 Optie C: Fall-back scenario naar Zeebrugge

Deze route (rood en blauw tracé in Figuur 4-3, totale lengte = ca.55 km vanuit Mermaid en 52 km vanuit Northwester 2) vertrekt vanaf de OHVS'en uit de Mermaid en Northwester 2 gebieden. Voor Mermaid wordt eerst de operationele TAT 14(I) telecomkabel gekruist. Vervolgens kruisen zowel de exportkabels van Mermaid als die van Northwester 2 de Interconnector en Franpipe gasleiding. De Interconnector is een 235 km lange gasleiding die jaarlijks zo'n 20.10^9 m^3 gas transporteert van het compressiestation in Bacton (UK) naar Zeebrugge (BE) en in omgekeerde richting zo'n $25{,}5.10^9$ m^3 gas. De Franpipe loopt van het Draupner platform ter hoogte van Noorwegen tot in Duinkerke in Frankrijk. Deze gasleiding is 840 km lang en heeft een capaciteit van $19{,}6.10^9$ m^3 gas per jaar. De exportkabels lopen verder richting de kust en kruisen daarbij achtereenvolgens de inactieve Rioja 3 en de operationele SEA-ME WE3 seg. 10.4 telecommunicatiekabels.

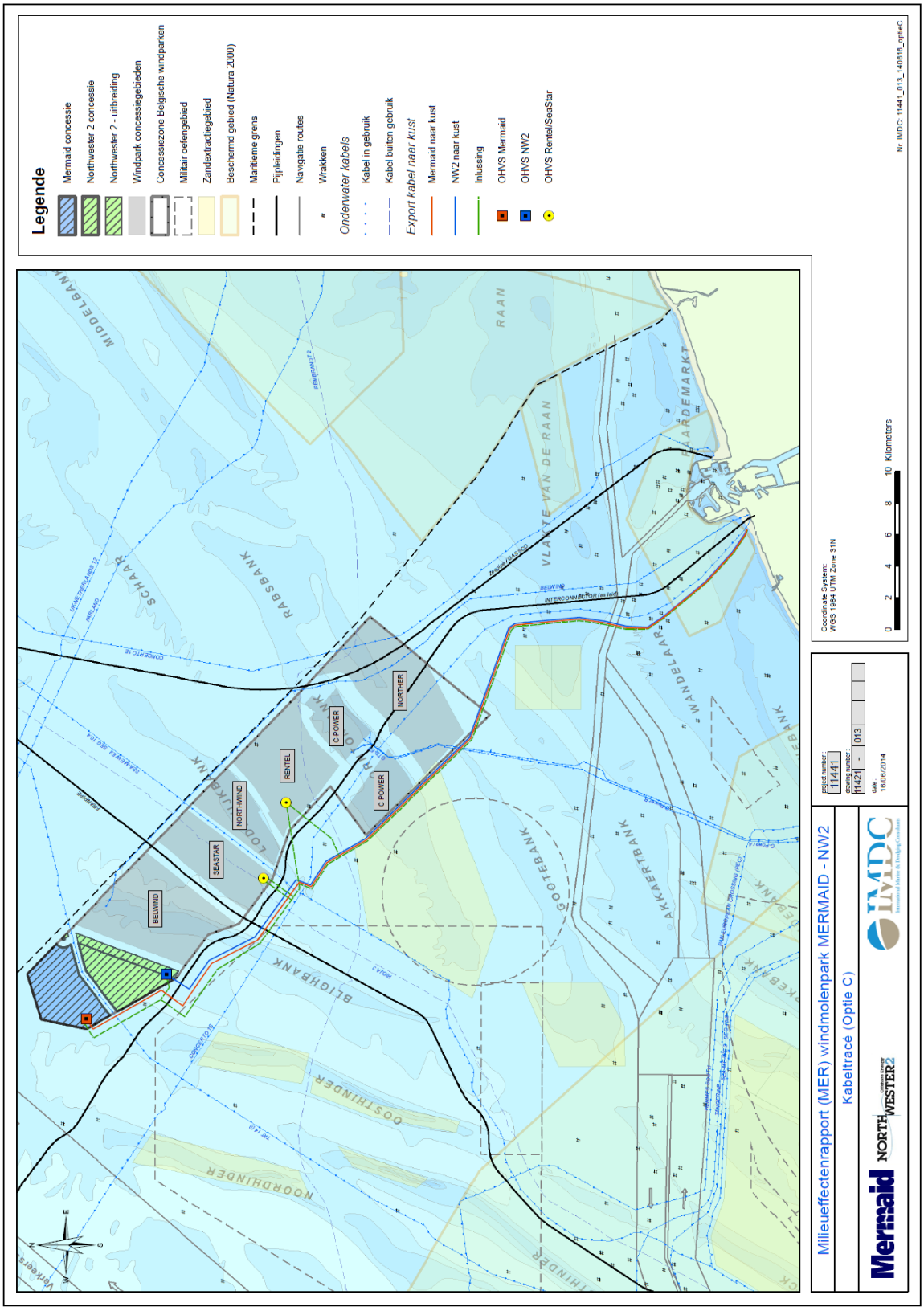
Hierna volgen de tracés de kabelroute van het Belgian Offshore Grid: de Concerto 1S telecommunicatiekabel, de inactieve Rembrandt 2 telecommunicatiekabel worden gekruist, en dichter bij de kust ook de twee 150 kV exportkabels van het C-Power project op de Thorntonbank (naar Oostende). De exportkabels lopen langsheen de C-Power concessiezone en langsheen Norther. Hierbij wordt het afgebakende gebied voor zand- en grindexploitatie, gelegen aan de westzijde van C-power en Norther aan de uiterste oostrand doorlopen. Ten zuiden van de voorziene zones voor offshore windparkontwikkeling op het BDNZ loopt het BOG-tracé parallel met het tracé van de telecommunicatiekabel Concerto South 1S aan de westzijde (om aldus minimale ruimte-inname te genereren).

Wat betreft het kruisen van de vaargeul 'het Scheur' zullen de veiligheidsvoorschriften zoals beschreven in bijlage 2.1.2. van het KB van 12 maart 2002 over het leggen van offshore kabels worden gevolgd.

In dit BOG-traject wordt de onshore aanlanding in Zeebrugge ten westen van de Interconnector-gasleiding en de Concerto South 1S telecomkabel voorzien. Voor aansluiting op het Stevin hoogspanningsstation in Zeebrugge dienen zowel de Interconnector als Concerto 1S leiding nogmaals gekruist te worden op het land (aansluiting in havengebied Zeebrugge voorzien).

Het vooropgestelde kabeltracé valt vanaf de locatie van de Alpha-installatie maximaal samen met de door Elia voorziene kabelcorridor binnen het verbindingstraject tussen Alpha en de kust (zoals vooropgesteld in BOG-project) en binnen de afgebakende zone van het ontwerp Marien Ruimtelijk Plan.

Zoals reeds aangehaald is dit deel van het kabeltracé reeds geanalyseerd en gevalideerd naar milieu-effecten in de eerder uitgevoerde MER- en MEB-studies voor het BOG-project (IMDC, 2013d, BMM, 2014b). Mogelijke effecten beschreven in MER BOG zullen telkens kort worden samengevat.



Figuur 4-3 Optie C: directe aansluiting van Mermaid en Northwester 2 OHVS op Stevin station in Zeebrugge (A3 formaat in Bijlage D.3)

Een mogelijk verdere uitwerking van dit fall-back scenario behelst het onderling “inlussen” van de nabijgelegen windparken om redundantie te bekomen bij uitval van één van de rechtstreekse exportkabels. In deze opstelling worden extra verbindingen voorzien tussen de respectievelijke OHVS-platformen van de individuele windparken (groen tracé in Figuur 4-3). Zo kan een verbindingslus gelegd worden tussen de OHVS van het meest noordelijk gelegen Mermaid en het OHVS van Northwester 2, SeaStar of deze van Rentel om vanuit het meest kustwaarts gelegen OHVS-platform met een gemeenschappelijk exportkabelcorridor rechtstreeks naar land te gaan. Voor deze “inlussing” tussen de respectievelijke OHVS van nabijgelegen parken zullen de kabelverbindingen het voorziene tracé van de eerder omschreven kabelcorridors buiten de parkzones maximaal worden gevolgd. Opnieuw valt de verdere verbinding vanuit de meest kustwaartse OHVS met een geschikte verbindingskabel maximaal samen met de door Elia voorziene kabelcorridor binnen het verbindingstraject tussen Alpha en de kust (zoals vooropgesteld in het BOG-project) en binnen de afgebakende zone van het ontwerp Marien Ruimtelijk Plan.

4.3.2.3 Spanningsniveau kabels

Wat betreft de verbindings- en exportkabels vanaf een OHVS (optie B en C) wordt voor een 3-fasige onderzeese 150 kV of 220 kV wisselspanningskabel geopteerd. De 150 kV kabel kan indicatief, bij een sectie van 1400 mm^2, tot 224 MVA vermogen naar de kust transporteren, terwijl dit voor de 220 kV kabel bij secties van 1000 mm^2 tot 350 MVA is. Er zal – in functie van de uiteindelijk geïnstalleerde configuratie - gewerkt worden met twee kabels van 150 kV, of één/mogelijks twee kabel(s) van 220 kV per park. Een derde alternatief – een exportkabel van 380 kV – kan gebeurlijk tot 550 MVA vermogen naar de kust brengen. Vandaag is dit type 380 kV kabel (sectie van 1.000 mm^2 verondersteld) nog niet direct operationeel/commercieel beschikbaar; doch is deze optie hier als omhullend alternatief meegenomen.

Voor de parkkabels zullen 33 kV of 66 kV kabels gebruikt worden. Voor de verbindingskabels in optie A (zonder OHVS) zal vermoedelijk 66 kV gebruikt worden.

4.3.2.4 Begravingstechnieken kabels

Verschillende technieken komen in aanmerking voor het begraven van de exportkabels:

- Jetting;
- Ploegen (met grondverplaatsende, niet-grondverplaatsende of vibro- ploeg);
- Gebruik van injectoren;
- Baggeren;
- Combinatie baggeren en jetting of ploegen.

De meest waarschijnlijke methodes zijn baggeren of jetten buiten de vaargeulen en een combinatie van baggeren en ploegen/jetten in de vaargeul. De gebruikte methode en materieel hangen af van het bodemtype en de specifieke condities op het voorziene kabeltracé. De parkkabels zullen vermoedelijk door middel van jetting begraven worden. De verbindingskabels (windpark – Alpha station) zullen door middel van jetting, ploegen of baggeren worden geplaatst in de lokale zeebodem, opnieuw afhankelijk van de lokale bodemcondities.

4.4 ALTERNATIEVEN NAAR UITVOERING

4.4.1 Type windturbine

Het vermogen van de windturbine blijkt, binnen bepaalde grenzen, relatief weinig effect te hebben op de te verwachten milieueffecten. Daardoor zal voor de best beschikbare technologie (BBT) gekozen worden. Een belangrijke opmerking daarbij is dat het moet gaan om een technologie die voldoende betrouwbaar is.

Voor beide projecten zal er voor BBT gekozen worden. Dat betekent dat de windturbines van beide parken op het ogenblik van bestelling aan volgende algemene specificaties zullen moeten voldoen:

- Commercieel beschikbaar zijn voor offshore toepassingen en met een bewezen staat van dienst (geen prototypes);
- Gecertificeerd zijn conform IEC 61400 voor offshore omstandigheden;
- Inzake aantal en vermogen passen binnen de aangevraagde/toegekende concessie en vergunning;
- Passen in het financieel plan inzake kostprijs en te verwachten energieproductie;
- Passen binnen het algemeen ontwerp van fundering en elektrische infrastructuur;
- Passen in de globaal vooropgestelde onderhoudsstrategie en operationele beheermethodiek van het windpark en zijn onderdelen

In bovenstaande projectbeschrijving (cf. Hoofdstuk 2) werd een overzicht gegeven van de huidig bekende beschikbare of in ontwikkeling zijnde windturbines.

Gezien de snelle evolutie van de offshore windturbines in het laatste decennium, wordt voor beide projecten verwacht dat er op het moment van het bouwen van het windpark (2017-2018) voldoende geschikte windturbines in het vermogenbereik van 3 tot 10 MW beschikbaar zullen zijn.

De typevoorbeelden windturbines die uitgewerkt zullen worden in het MER zijn voor zowel Mermaid als Northwester 2 de Alstom Haliade (6 MW, 150 m RD) voor basisconfiguratie, de Vestas V112 (3,3 MW, 112 m RD) voor configuratie 1, de Vestas V164 (8 MW, 164 m RD) voor configuratie 2 en de SeaTitan (10 MW, 190 m RD) voor configuratie 3. Een overzicht van de belangrijkste karakteristieken gebruikt voor de beschrijving van de milieueffecten worden samengevat in Tabel 4-4.

Tabel 4-4 Alternatieven windturbines MER Mermaid en Northwester 2

Typevoorbeeld	Vermogen	Rotordiameter (m)	Naafhoogte (m) t.o.v. MSL	Hoogste rotorpunt t.o.v. MSL
Alstom Haliade	6 MW	150	100 m	175 m
Vestas V112	3,3 MW	112	84 m	140 m
Vestas V164	8 MW	164	107 m	189 m
SeaTitan	10 MW	190	125 m	220 m

4.4.2 Type fundering

Diverse alternatieven qua funderingstype worden overwogen. Het type fundering is afhankelijk van:

- Waterdiepte;
- Geotechnische eigenschappen van de bodem; de exacte dikte van de Quartaire zandlaag en de grondmechanische bodemkarakteristieken;
- Windgegevens;
- Golf- en stromingsgegevens;
- De karakteristieken van de gekozen windturbine (lasten, naafhoogte, rotordiameter, …) met daaruit voortvloeiende krachten uitgeoefend op de mast en de fundering van de windturbine;
- De 'Best Beschikbare Technieken' inzake funderingen voor offshore windturbines op het ogenblik van de realisatie van het windpark;
- Economische situatie op het ogenblik van de realisatie van het windpark (bvb. staalprijs, massaproductie van GBF in Frankrijk, …)

Binnen het MER worden drie alternatieve funderingen geëvalueerd:

- Monopile fundering
- Jacket fundering
- Gravitaire fundering

Daarnaast wordt ook het 'suction bucket' principe in acht genomen dat als alternatief wordt voorgesteld voor het heien bij monopile en jacket funderingen (Tabel 4-1).

In § 2.7.2 worden illustraties getoond van de verschillende types funderingen. In § 2.6.3.2 wordt de installatie uitvoering besproken.

4.4.2.1 Monopile fundering

Bij een monopile fundering wordt elke windturbine op één stalen buis gezet die voorafgaandelijk in de zeebodem is geheid. Monopiles hebben de volgende voordelen ten opzichte van de alternatieven:

- Eenvoudige constructie;
- Geen effening van de zeebodem vereist indien gewerkt wordt met een dynamische erosiebescherming;
- Geschikt voor een niet-horizontaal bodemverloop.

Mogelijke nadelen van een monopile zijn:

- Het bodemprofiel moet heien over een voldoende diepte toelaten;
- Heiwerkzaamheden op zee zijn tijdrovend; de duur van de heiwerkzaamheden is bepalend voor de bouwplanning;
- Gevoelig voor metaalmoeheid ten gevolge van hydrodynamische belasting.

Bij het monopile funderingstype zijn twee type erosiebescherming mogelijk: statische of dynamische erosiebescherming. Deze beide types worden besproken in onderstaande paragrafen.

4.4.2.1.1 Statische erosiebescherming

- Bij statische erosiebescherming dient de windturbinelocatie vóór plaatsing van de fundering vlak gebaggerd te worden: een bodemvlak van 30 m x 60 m met hellingen van 1/5 en 1/8 tot een diepte van het RSBL, i.e. de diepte onder de actuele zeebodem tot waar duinen mobiel zijn.
- Op basis van bathymetrische en seismische gegevens kan het RSBL ingeschat worden. In dit MER wordt er vanuit gegaan dat deze mobiele laag volledig zal weggebaggerd worden op ca. 50% van de locaties tot op een diepte van ca. 4 m.
- Daarna wordt een eerste bescherming aangelegd: de filter layer is een onderlaag van kleinere stenen (grind met kaliber Dn50 = 50 mm) met een dikte van ca. 100 cm. De diameter van de erosiebescherming bedraagt ca. 5 keer de paal diameter.
- Na aanleg van de filter layer kan de monopile fundering geplaatst worden.
- Kort nadien volgt de afwerking van de erosiebescherming, namelijk door aanleg van de amour layer, i.e. een toplaag van breukstenen (kaliber van 15 tot 300 kg; Dn50 = 540 mm). De amour layer heeft een dikte van ca. 100 cm. De grootste stenen worden voorzien voor de ondiepste locaties (waar de impact van golfslag het grootst verwacht wordt).

4.4.2.1.2 Dynamische erosiebescherming

- Bij de dynamische erosiebescherming wordt de windturbinelocatie vooraf niet genivelleerd.
- De monopile fundering wordt zonder voorbereiding van de zeebodem geplaatst en na installatie van de fundering wordt de vorming van een erosieput rondom de paal toegestaan.
- Deze put wordt vervolgens geheel of gedeeltelijk opgevuld met breukstenen, waarbij eerst een filter laag wordt geplaatst en vervolgens wordt afgestort met een toplaag.

4.4.2.2 Multipode fundering

Een alternatief voor de monopile fundering is de jacket fundering (een type multipode fundering met 3-4 poten). Deze kan toegepast worden indien één monopile niet volstaat om de krachten uitgeoefend op de fundering op te vangen (bij zware turbines) en in grotere waterdieptes. Bij een jacket fundering voor een windturbine worden meerdere (kleinere) stalen buizen (pin-piles of pre-palen genoemd) voorafgaandelijk in de zeebodem geheid of getrild waarop dan een aangepaste vakwerkstructuur en de windturbine geplaatst worden (i.e. pre-piling: sneller en efficiënter dan post-piling).

Voordelen van dit type fundering zijn:

- Door de kleinere diameter zijn de palen van een jacket fundering makkelijker/sneller te heien.
- Minder gevoelig voor erosie rondom de palen.
- Kunnen grotere (zwaardere, grotere vermogens) windturbines dragen in diepere wateren

Nadelen zijn:

- Veel en complex laswerk leiden tot hogere productiekosten;
- Onderhevig aan metaalmoeheid ter hoogte van de laspunten;

- Heiwerkzaamheden op zee zijn tijdrovend (4 palen i.p.v. 1); de duur van de heiwerkzaamheden is bepalend voor de bouwplanning.

Gezien de beperkte diameter van de verankeringspalen bij een jacketstructuur is het niet aanbrengen van erosiebescherming en het laten ontstaan van de (beperkte) erosiekuil voor dit funderingstypes een optie. Dikwijls wordt de lokale footprint van de jacket wel genivelleerd op locaties met grote mobiele zandduinen, precies om een geschikte werkplek te creëren voor de installatie van de pinpiles (met een heiframe) en de jacketconstructie. Maar gelet op de specifieke geotechnische karakteristieken van de lokale zeebodem (er wordt een minder dikke Quartaire zandafdekking verwacht in de concessiezones van Mermaid en Northwester 2) is de kans groot dat ook bij de jacketfunderingen in dit gebied een erosiebescherming wordt aangebracht.

Gelet op het permanente karakter van een erosiebescherming is de impact van erosiebescherming groter dan bij nivelleren. In dit MER wordt dan ook uitgegaan van een worst-case scenario waarbij voor alle jacketstructuren een dynamische erosiebescherming wordt voorzien en er dus niet genivelleerd wordt.

Na installatie van de fundering wordt de vorming van erosieputten rondom de individuele palen toegestaan. Deze putten worden vervolgens geheel of gedeeltelijk opgevuld met breukstenen, waarbij eerst een filter laag wordt geplaatst en vervolgens wordt afgestort met een toplaag. De diameter van de erosiebescherming bedraagt ca. 2 keer de footprint aan de zeebodem van de jacketstructuur.

Aangezien de erosiebescherming een permanente impact heeft op het milieu (introductie hard substraat) in tegenstelling tot het lokaal nivelleren van de footprint van de jacket, zal er voor de bespreking van de effecten in dit MER telkens worden uitgegaan van een worst-case scenario waarbij een dynamische erosiebescherming rond 100% van de jacket funderingen wordt aangebracht.

Voor een jacket van de basisconfiguratie is de footprint 20x20 m, de erosiebescherming zal dan 40x40 m bedragen; voor configuratie 1 zal de oppervlakte van de erosiebescherming 30x30 m zijn; bij configuratie 2 is dit 50x50 m en bij configuratie 3 is dit 60x60 m. Deze erosiebescherming kan – in functie van de lokale bodemgesteldheid en de te verwachten bodemdynamiek – in realiteit beperkter zijn in grootte en ruimte.

4.4.2.3 Gravitaire fundering

Bij dit type fundering wordt een zware betonnen ballastvoet gebouwd waarop de volledige structuur verder aangebouwd wordt. Hierbij wordt de fundering niet in het sediment geheid, maar staat deze op de geëgaliseerde bodem ingeklemd en opgevuld door ‘backfill’ materiaal. In plaats van de toplaag te verwijderen kan ook de grond verbeterd worden door compacteren en/of gebruik van injecties. Enkel de eerste optie zal besproken worden in het MER wegens de zwaardere milieu-impact. Voordelen van dit type fundering zijn:

- Beperkte installatiewerkzaamheden op zee; gravitaire funderingen worden nagenoeg volledig aan land gebouwd. Na voorbereiding van de ondergrond, brengt men de gravitaire funderingen ter plaatse (kan drijvend gebeuren) en laat deze op een eenvoudige manier op de bodem zakken, heien is niet noodzakelijk. Bij buitendienststelling kunnen ze gemakkelijk worden opgelicht;
- Geen heiactiviteiten vereist dus geen geluidsverstoring door heien tijdens constructie;

- Grote stijfheid; een gravitaire fundering biedt een grotere stijfheid dan een monopile. Hierdoor zijn trillingen van de structuur, fundering t.o.v. windturbine kleiner. Dit komt de levensduur van de windturbines ten goede.

Nadelen van een gravitaire fundering zijn:

- Activiteiten op zee (tijdens transport en installatie) zijn zeer tijdrovend wegens de opeenvolging van veelvuldige separate acties die relatief gevoelig zijn voor wind en golfcondities (lage werkbaarheden in beperkte tijdvensters)
- Scheefstand van de fundering is slechts beperkt corrigeerbaar tijdens de installatie; de goede effening van de zeebodem is kritisch voor de verticaliteit van de fundering;
- Omvangrijke bouwfaciliteiten aan land zijn vereist; een uitgestrekt bouwterrein (met hoge draagkracht) en een loskade met voldoende diepgang moeten over de hele duur van het project beschikbaar zijn. De afmetingen van het droogdok zijn bepalend voor de bouwplanning.

4.4.2.4 Suction bucket techniek

De suction bucket fundering kan gezien worden als een alternatieve uitvoeringswijze bij monopile of jacket structuren. Het principe vormt een alternatief voor het inheien of intrillen van de stalen buispalen. Een suction bucket vormt dus - eens de bucket geplaatst in de bodem - een zelfde type fundering en blijven dus alle andere uitvoeringsactiviteiten zoals het nivelleren of het aanbrengen van erosiebescherming nagenoeg hetzelfde.

De structuur bestaat uit een brede cilinder met een gesloten top en geen bodem. De wand van de cilinder heet de ‘rok’ (‘skirt’), grote steunen (‘bracings’) verbinden de top van de cilinder (‘lid’) met de schacht (‘shaft’). De toren is een conische buis die boven het wateroppervlak eindigt in een flens (opstaande rand). De installatie van dit type fundering is gebaseerd op ‘zuiging’. De draagstructuur wordt in de bodem geplant door middel van een vacuüm. Door de druk te verminderen in de ruimte tussen de rok en de zeebodem wordt een stroming gecreëerd die de effectieve druk en penetratieweerstand vermindert (Ibsen et al., 2005).

Het ‘suction bucket’ principe is een nieuw funderingsconcept. Momenteel is het als prototype geïnstalleerd in Frederikshavn in Denemarken en in het Horns Rev 2 Offshore wind park in de Noordzee (Le Blanc Bakmar, 2009). Op de Doggerbank (125 km van de Britse kust) zijn dit jaar de eerste twee commerciële suction bucket funderingen geplaatst als basis voor meteomasten (Carbontrust website, 2013). Voordelen zijn:

- De installatietijd wordt sterk verkort in vergelijking met een monopile;
- Nagenoeg elk zeewaardig schip kan het zuigproces uitvoeren;
- De draagstructuur wordt niet geschonden door te hameren: bij de standaard monopile en prepiling van de jacket funderingen dienen speciale ontwerpvoorzieningen uitgewerkt te worden om deze beschadiging maximaal te voorkomen;
- De potentieel lichtere constructie maakt een toepassing op relatief grote diepte een mogelijk economisch alternatief;
- Het concept is milieuvriendelijk wegens zijn stille plaatsing (er is geen hamer nodig);
- De installatie is eventueel omkeerbaar, mits specifieke voorzieningen en begeleidende maatregelen;
- De structuur is stijver dan een monopile onder gemiddelde belasting.

Mogelijke nadelen zijn:

- De operatie van het inzakken/verankeren in bodem is een uiterst delicate operatie die met de nodige omzichtigheid dient uitgevoerd te worden;
- De fabricage van de structuur is complexer;
- De fundering kan enkel gebruikt worden in bepaalde bodemtypes (losse sedimenten);
- Relatief ondiepe funderingsaanzet maakt de constructie gevoeliger voor relatieve beweging, resonantie, erosie, … ;
- Om de bucket drijvend naar site te transporteren is een voldoende diepe haven nodig;
- Dit is een relatief nieuwe techniek die tot op heden nog niet expliciet werd toegepast als fundering voor windturbines op zee (enkel bij windmeetmasten en bij enkele OHVS-platforms);
- En de installatie zelf is meer complex (‘high-tech’) dan bij een monopile of jacket, waardoor er makkelijker iets fout kan gaan.

4.4.2.5 Erosiebescherming

Bij alle funderingstypes wordt er in dit MER uitgegaan van een erosiebescherming. In realiteit is het mogelijk dat dit voor jacket funderingen daar waar het Quartair voldoende dik is niet nodig zal zijn. De dimensies van de erosiebescherming verschillen per type fundering. In het geval van een gravitaire fundering wordt het aangebrachte volume erosiebescherming aanzienlijk hoger geschat.

Tabel 4-5 Diameter benodigde erosiebescherming

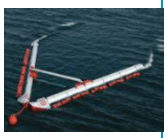
Configuratie	Aantal turbines Mermaid	Aantal turbines NW2	Individueel vermogen	Funderingstype	Erosiebescherming Diameter (m)
Basis	38	35	6 MW	Monopile	37,5
				Jacket	40
				GBF	75
				Suction bucket	Idem MP en JF
Configuratie 1	80	70	3,3 MW	Monopile	30
				Jacket	30
				Suction bucket	Idem MP en JF
Configuratie 2	38	37	8 MW	Jacket	50
				GBF	75
				Suction bucket	Idem JF
Configuratie 3	24	22	10 MW	Jacket	60
				GBF	75
				Suction bucket	Idem JF

4.4.3 Type WEC

De technologie om blauwe energie om te zetten naar elektrische energie is vandaag in volle ontwikkeling en de respectievelijke ontwerpen bevinden zich in een continue evolutie tussen opeenvolgende onderzoeks-, ontwikkelings- en prototypefase. Er zijn op dit moment nog geen toestellen op commerciële schaal beschikbaar. Op basis van het werkingsprincipe kunnen golfenergie convertoren als volgt onderverdeeld worden namelijk de 'point absorber', de 'attenuator' (lange drijvende structuur), oscillerende en schommelende golfenergie convertoren (oscillating wave surge) en overtopbare golfenergie convertoren. Voor de productie van elektrische energie uit golven is in het Mermaid-project nog geen definitieve keuze gemaakt naar de in te zetten golfenergieconvertoren (WEC's).

In kader van dit MER worden enkele mogelijke typevoorbeelden geselecteerd als meest haalbaar op het BDNZ (gelet op de lokale golfcondities en andere specifieke omgevingscondities zoals waterdiepte, tijstroming, stormcondities,..) die zouden kunnen worden ingezet in Mermaid. Deze typevoorbeelden zijn compatibel met de locatie van Mermaid, het golfmilieu in het BDNZ en zijn gebaseerd op de vandaag best beschikbare technologie. Deze keuze is actueel nog niet getoetst op zijn economische vatbaarheid voor realisatie. Tabel 2-8 geeft een samenvatting van de kenmerken van de 6 typevoorbeelden.

Tabel 4-6 Overzicht van de kenmerken van de 6 WEC-typevoorbeelden

	Wavestar	**Poseidon**	**Weptos**	**FlanSea**	**Seabased**	**Lifesaver**
						
Fabrikant	Wave Star Energy	Floating Power Plant	Weptos SA	UGent + 6 partners	Seabased AB	BOLT technology Fred Olsen
WEC-type	C6	P60	WEPTOS WEC	Wave Pioneer	Seabased	Lifesaver (5 PTO's)
Model/versie	Multipoint absorber (float arm)	Multipoint absorber	Multipoint absorber (salter duck)	Single point absorber	Single point absorber	Single point absorber
Dimensies	80 x 20 m + 20 floats ϕ 6 m	60 x 60 m	2 angled legs ≈ 70 m	ϕ 8 m	ϕ 6 m	ϕ 16 m toroidal
Verankering	4 monopiles (jackup legs)	Turret mooring – 3 mooring Lines – plow anchors	3 mooring lines – central anchor – survival lines	Single mooring line – concrete anchor blocks (or piles) – 3 survival lines	Concrete gravity mounting plate	5 individual mooring lines/anchors – 3 survival lines
Erosie-bescherming	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Drift	N/A	15 m	25 m	10 m	10 m	25 m
Tussen-afstand	Wake effect	150 m (drift cirkel)	190 m (drift cirkel)	>80 m (≈ 10 x ϕ)	>60 m (≈ 10 x ϕ)	66 m (drift cirkel)
Device rated power	800 kW	600 kW	350 kW	80 kW	30 kW	400 kW
Aantal per basisveld	7	9	8	60	160	13

	Wavestar	Poseidon	Weptos	FlanSea	Seabased	Lifesaver
(750 x 450 m)						
Total rated power	5,6 MW	5,4 MW	2,8 MW	4,8 MW	4,8 MW	5,2 MW

Door de beperkte afmetingen van de WEC's wordt het voor geen enkel type nodig geacht de zeebodem voorafgaand te nivelleren. Ook baggerwerken of het aanbrengen van erosiebescherming zijn niet van toepassing. Afgezien van de Wavestar, worden alle andere WEC-types op de bodem bevestigd via afgezonken ankerblokken of gravitaire funderingen. De Wavestar zal via monopiles worden geïnstalleerd op een gelijkaardige manier als de windturbines met monopile funderingen. De diameter van de monopiles zullen significant kleiner zijn (3-4 m) waardoor geen erosiebescherming nodig geacht wordt.

De parkbekabeling voor de WEC's (33 of 66 kV kabels) wordt op dezelfde manier uitgevoerd als voor de WTG's. De elektrische aansluiting van de WEC-installatie gebeurt ofwel op de schakelapparatuur van een WTG, ofwel rechtstreeks op het OHVS indien de WEC velden in de directe omgeving liggen.

4.4.4 Kruising van de kabels met pijpleidingen en telecomkabels

Het principe van de kruising van de Mermaid en Northwester 2-kabels met aanwezige telecomkabels en pijpleidingen zal afhankelijk van de locale condities uitgevoerd worden met matten en/of bestorting met natuurlijke rotsmaterialen.

Afhankelijk van de werkelijke diepte van de te kruisen telecomkabels en/of gasleiding zou het nodig kunnen blijken om een metalen ondersteuningsstructuur te installeren om een voldoende afstand tussen de elektriciteitskabel en de kabels of pijpleiding te garanderen. Dit is een beperkt lokale structuur met enkel een ondersteuningsfunctie. Deze zal enkel aangebracht worden indien detailonderzoek de noodzaak hiervan aantoont.

Verdere detaillering betreffende locatie, ontwerp en uitvoering van deze kruisingen wordt expliciet uitgewerkt in de milieuvergunningsaanvraag voor de elektrische bekabeling, in nauw onderling overleg met de betrokken eigenaar en maximaal afgestemd op hun specifieke eisen en/of (operationele) voorschriften.

4.4.5 Het ingezette materieel

Hierbij gaat het in principe om het gebruik van zeewaardige schepen en pontons. Bij het gebruik van de schepen kan er op gelet worden dat gebruik gemaakt wordt van lage emissie brandstoffen.

Monopile funderingen kunnen aangevoerd worden op een barge of jack-up of al drijvend. De nieuwste generatie jack-ups (bvb. Neptune of Innovation van DEME) kunnen 4-6 monopiles vervoeren.

We gaan uit van de worst-case situatie, nl. 4 jackets of monopile funderingen per transport. Ook GBF kunnen drijvend (per stuk) aangevoerd worden of via een installatieschip of transportponton.

De aanvoer van transitiestukken kan net zoals voor de aanvoer van de funderingen plaatsvinden met een barge of jack-up, waarbij 4 transitiestukken per transport aangeleverd worden, of met een groot installatieschip, waarbij tot maximaal 10 transitiestukken per keer aangevoerd worden.

De windturbines kunnen in onderdelen vervoerd worden met een jack-up en ter plaatse geassembleerd en geïnstalleerd worden met behulp van een tweede jack-up dat ter plaatse blijft. Of de windturbines kunnen op land samengesteld worden en daarna op een gesleept jack-up ponton of installatieschip vervoerd worden. In het geval van een jack-up ponton is ook hier een tweede ponton nodig voor de installatie van de turbines. In het geval van een installatieschip gebeurt de installatie van op het schip zelf.

De nieuwste generatie jack-up pontons kan gemiddeld drie complete turbines per keer verschepen. Een groot installatieschip kan tot tien geassembleerde turbines tegelijk vervoeren. Hierbij bestaat de optie om de locatie van de haven waar de turbines ingescheept worden verder weg van de Belgische kust te kiezen.

Wat betreft het transport en de installatie van de WEC's: voor de Wavestar wordt naast het transport met het transportponton en twee sleepboten ook nog het transport voor het inheien van de poten voorzien (1 jack-up ponton) en het transport voor het aanbrengen van dynamische erosiebescherming (1 transport voor de 4 poten).

Voor de Poseidon, Weptos, FlanSea en Lifesaver wordt de transportbeweging van 1 sleepboot per unit verondersteld als conservatieve benadering. Waarschijnlijk kunnen meerdere units per keer met 1 sleepboot versleept worden.

40 stuks Seabased WEC's kunnen per keer met een transportponton of installatieschip vervoerd en afgezonken worden (Dahlsten, 2009).

Voor het onderhoud van de windparken kan gekozen worden voor een dagelijkse transit naar de haven (tijdens de periode van onderhoud) of het gebruik van een moederschip met kleinere onderhoudsschepen dat maar om de twee weken naar de haven terugkeert.

5. BESCHRIJVING EN BEOORDELING VAN MILIEUEFFECTEN PER DISCIPLINE

In dit hoofdstuk worden de potentiële milieueffecten per discipline beschreven en geëvalueerd, telkens voor de constructie-, operationele en ontmantelingsfase van beide projecten (inclusief de voorbereidende en begeleidende in situ surveys), alsook voor de aanwezigheid van WEC's in Mermaid en voor de bijhorende elektrische bekabeling. Tevens wordt aangegeven welke leemten in de kennis er nog bestaan, welke milderende maatregelen mogelijk zijn en hoe de effecten gemonitord kunnen worden.

Milderende maatregelen worden voorgesteld voor ingrepen in het projectgebied, die een mogelijk negatieve impact op het milieu zullen veroorzaken. Toepassing van de milderende maatregelen zal de negatieve effecten vermijden, opheffen, verzachten of compenseren.

De geassocieerde milieueffecten werden geïdentificeerd en geëvalueerd op basis van de projectbeschrijving, de beschikbare literatuur en door overleg met de belanghebbende partijen. Om de significantie van een impact te bepalen, werd rekening gehouden met de grootteorde, de omvang of reikwijdte en de duur (tijdelijk of permanent karakter). De beschreven effecten worden in de vorm van een relatieve plusmin-beoordeling weergegeven (Tabel 5-1). Positieve effecten duiden op een verhoging, ondersteuning of versterking van de betrokken (natuurlijke of gewenste) eigenschap van het milieu, een negatieve beoordeling wijst op het verdwijnen, een verlaging of een aantasting van een bepaalde (natuurlijke of gewenste) eigenschap.

Tabel 5-1 Gehanteerde definities voor de beschrijving en beoordeling van de milieueffecten.

Symbool	Effect niveau	Beschrijving	Beoordeling milieu/organismen
++	Significant positief	Meetbaar positieve verbetering in de kwaliteit van de milieuomstandigheden op grote schaal (BDNZ). Tijdelijk of permanent karakter.	Zeer positief
+	Matig positief	Meetbaar positieve verbetering in de kwaliteit van de milieuomstandigheden op beperkte schaal (projectgebied). Tijdelijk of permanent karakter.	Positief
0/+	Gering positief	Meetbaar kleine positieve verbetering in de kwaliteit van de milieuomstandigheden op beperkte schaal (projectgebied). Tijdelijk karakter.	Neutraal
0	Geen	Onmeetbaar effect of niet relevant.	Geen
0/-	Gering negatief	Meetbaar kleine negatieve modificatie op de kwaliteit van de milieuomstandigheden op beperkte schaal (projectgebied). Tijdelijk karakter.	Verwaarloosbaar
-	Matig negatief	Meetbaar negatieve modificatie op de kwaliteit van de milieuomstandigheden op beperkte schaal (projectgebied). Tijdelijk of permanent karakter.	Aanvaardbaar
--	Significant negatief	Meetbaar negatieve modificatie op de kwaliteit van de milieuomstandigheden op grote schaal (BDNZ). Tijdelijk of permanent karakter.	Onaanvaardbaar

5.1 BODEM EN WATER

5.1.1 Methodologie

Er wordt eerst een beschrijving van de referentiesituatie gegeven: de geologie (zowel Quartair als Tertiair, tegenwoordig Paleogeen en Neogeen genaamd), de morfologie, de stroming, het sedimenttransport en de granulometrie. Daarbij wordt telkens vertrokken van de wetenschappelijke literatuur voor de Noordzee aangevuld met de meest recente beschikbare literatuur en data voor het projectgebied. Voor zover beschikbaar worden de parameters kwantitatief beschreven.

Daarenboven werd een numerieke modelleerstudie uitgevoerd voor het kwantificeren van de stroming, het sedimenttransport en de morfologische evolutie in de projectgebieden onder natuurlijke omstandigheden. Dit zowel voor een zomersituatie, zonder meteorologische invloed, als voor een wintersituatie, mét invloed van een storm met terugkeerperiode van 1 jaar.

De recente meetcampagnes uitgevoerd in opdracht van Mermaid en Northwester 2 (uitgevoerd door G-tec, 2013) vormen een belangrijke bron van informatie. Er wordt ook aandacht geschonken aan de autonome ontwikkeling van het gebied.

Bij de effectbespreking wordt uitgebreid aandacht besteed aan de veranderingen in de bodemtopografie en de bodemsamenstelling die het gevolg zullen zijn van het volgen van één van de funderingsalternatieven. De beschouwingen worden ondersteund door berekeningen op basis van beschikbare data. Daarnaast komen ook de potentiële effecten op de hydrodynamica, het globale sedimenttransport, de tijdelijke verhoging van turbiditeit en effecten op de waterkwaliteit in dit hoofdstuk aan bod.

De verhoging van turbiditeit ten gevolge van baggeractiviteiten werd ingeschat op basis van een numerieke modelleerstudie en uitgezet ten opzichte van de natuurlijke achtergrondwaarde (IMDC, 2014b in bijlage).

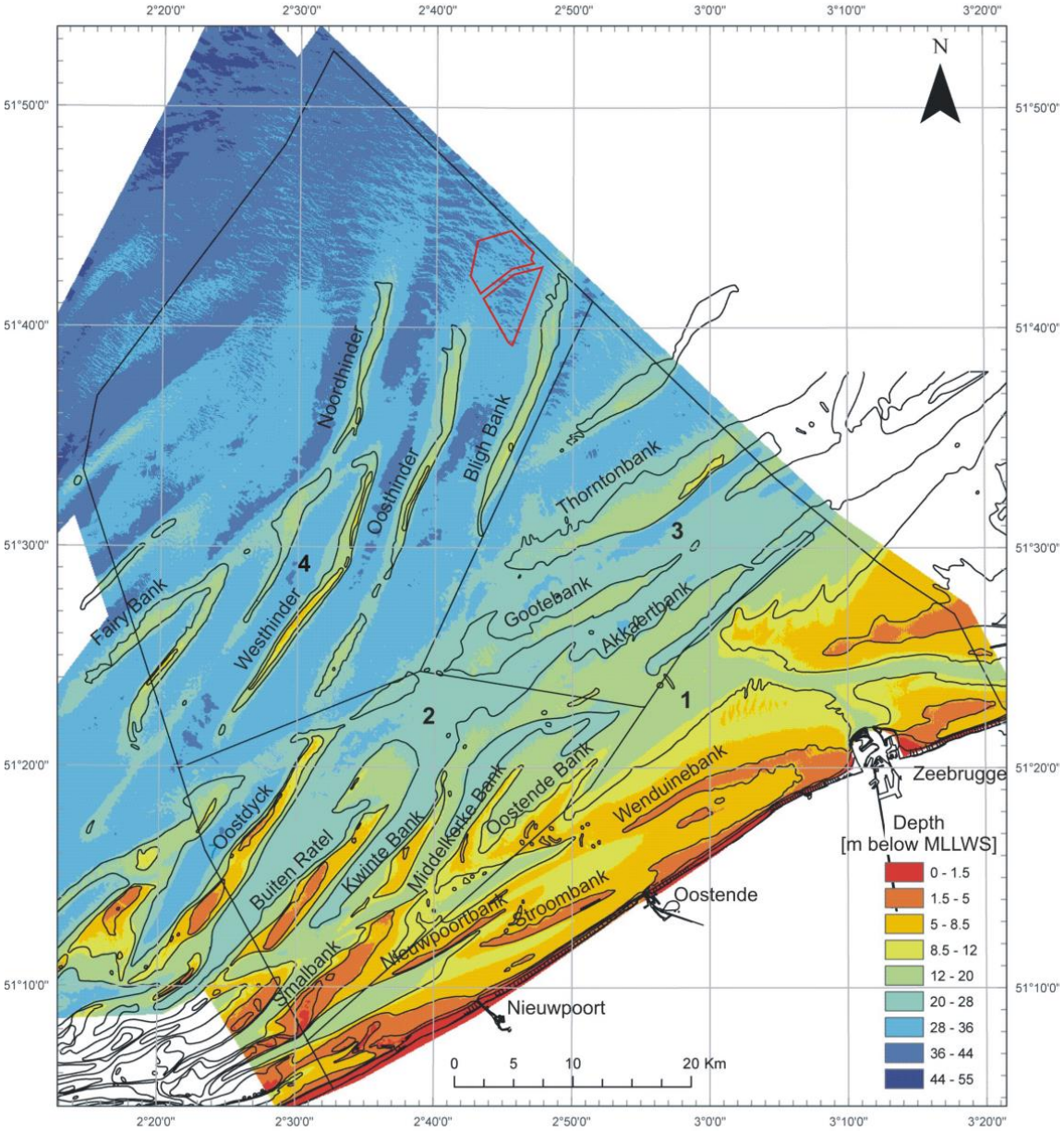
Tot slot wordt een monitoringsprogramma voorgesteld, eventuele milderende maatregelen geformuleerd en worden de leemten in kennis samengevat.

5.1.2 Referentiesituatie

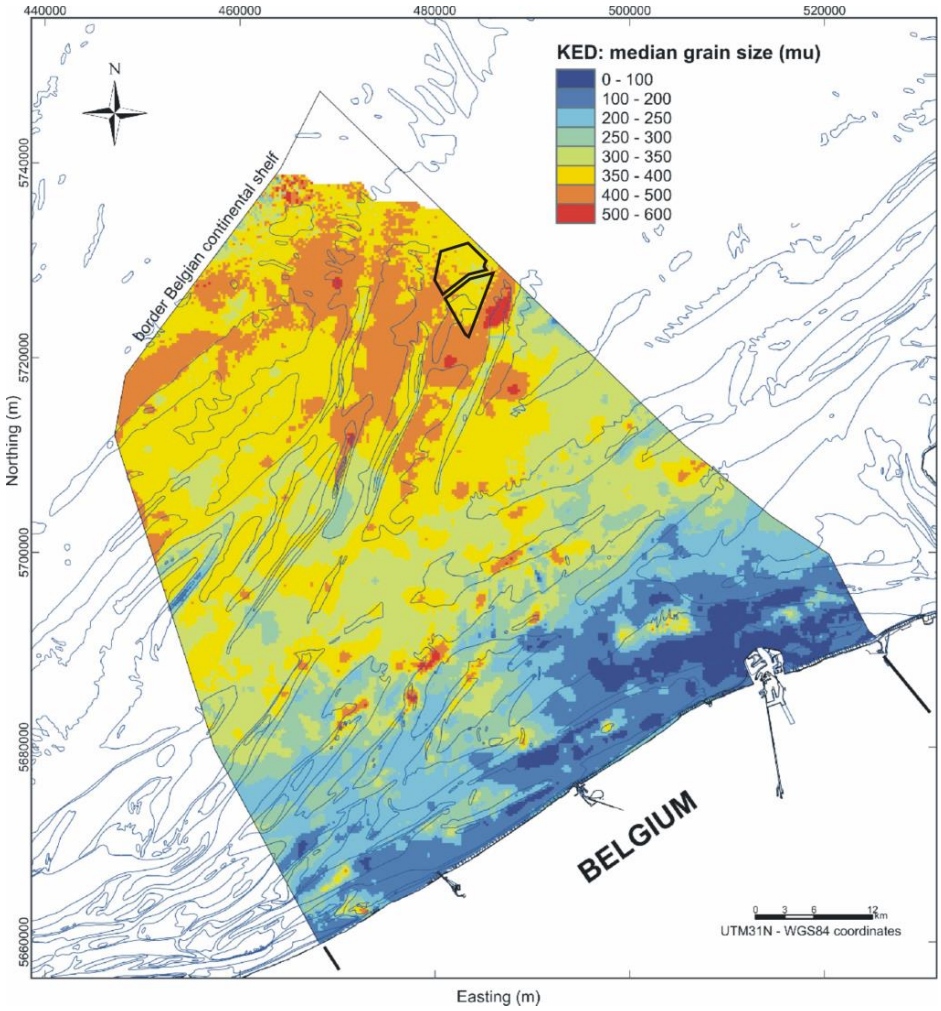
5.1.2.1 Algemene beschrijving

Het BDNZ strekt zich uit over een gebied van ongeveer 3.500 km²: in het westen zijn de Franse territoriale wateren gelegen, de Engelse wateren in het Noorden en in het Oosten de Nederlandse territoriale wateren.

De Northwester 2 concessiezone ligt in de getijdengeul tussen de Blighbank en Oosthinder, de Mermaid concessiezone ligt eerder in het verlengde van de Oosthinder. Beide zandbanken maken deel uit van de Hinderbanken (Figuur 5-1). Waterdiepten variëren tussen -24 en -40 m onder TAW in zowel Mermaid als Northwester 2. Aan de oppervlakte wordt enkel zand teruggevonden, geen grind (Figuur 5-2 en Figuur 5-19).



Figuur 5-1 De bathymetrie van het BDNZ (in meter onder GLLWS) (data van AWZ-WWK Zeebrugge, aangevuld met data van de Nederlandse en Engelse Hydrografische Diensten, compilatie door Van Lancker et al., 2007). Het Belgisch deel van de Noordzee is rijk aan zandbanken. Deze worden ingedeeld in vier groepen: 1) de Kustbanken; 2) de Vlaamse Banken; 3) de Zeelandbanken; en 4) de Hinderbanken. De Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) concessiezones zijn aangeduid met een rood frame.



Figuur 5-2 Korrelgrootteverdeling op het BDNZ (naar Verfaillie et al., 2006). De Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) concessiezones zijn aangeduid met een zwart frame.

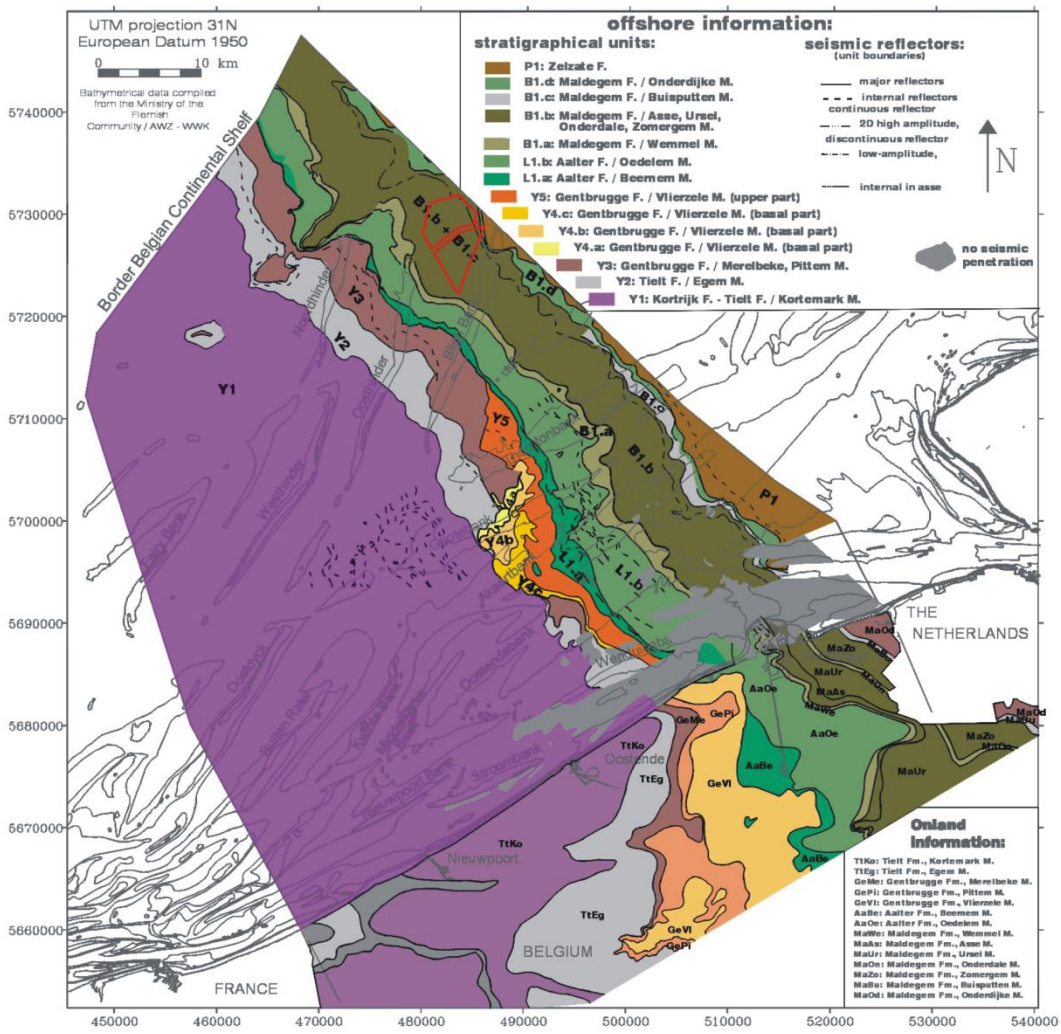
5.1.2.2 Geologie

5.1.2.2.1 Algemeen

De Paleozoische sokkel van het BDNZ bevindt zich nabij de Franse grens op een diepte van 250 m en nabij de Nederlandse grens op een diepte van 450 m. Het is een relatief stabiel continentaal blok, het Londen-Brabant Massief genaamd. Tijdens het Laat-Krijt (waarschijnlijk Maastrichtiaan en Campaniaan) werd het Massief voor het eerst overstroomd en werd er krijt afgezet waarvan de minimale dikte 50 m is tussen Nieuwpoort en Oostende en snel toeneemt tot 220 m in het gebied van de Hinderbanken. De top van het Krijt, en tevens de basis van het Paleogeen (vroeger Tertiair genaamd), bevindt zich op een diepte van 150 tot 350 m, toenemend naar het NO (De Batist, 1989).

Bovenop de kalkafzettingen bevinden zich de Paleogene (vroeger Tertiaire) afzettingen, die lokaal dagzomen aan de zeebodem onder een discontinu Quartair sediment dek. De Paleogene sedimenten werden voornamelijk afgezet vanaf het Thanetiaan (ongeveer 58 Ma geleden) tot het Rupeliaan (eindigde 28 Ma geleden).

De top van deze afzettingen bevindt zich op een diepte van 10 tot 60 m, toenemend in zeewaartse richting. De afzettingen hebben een dikte van 110 tot 280 m, toenemend naar het ONO (De Batist, 1989). In de interessegebieden bestaat de Paleogene ondergrond uit de Formatie van Maldegem: de Leden van Asse, Ursel, Onderdale, Zomergem en mogelijk ook Buisputten (B1.b+B1.c). In de NO rand van het Northwester 2 concessiegebied komt Lid van Onderdijke (B1.d) voor, eveneens behorend tot de Formatie van Maldegem (Figuur 5-3).



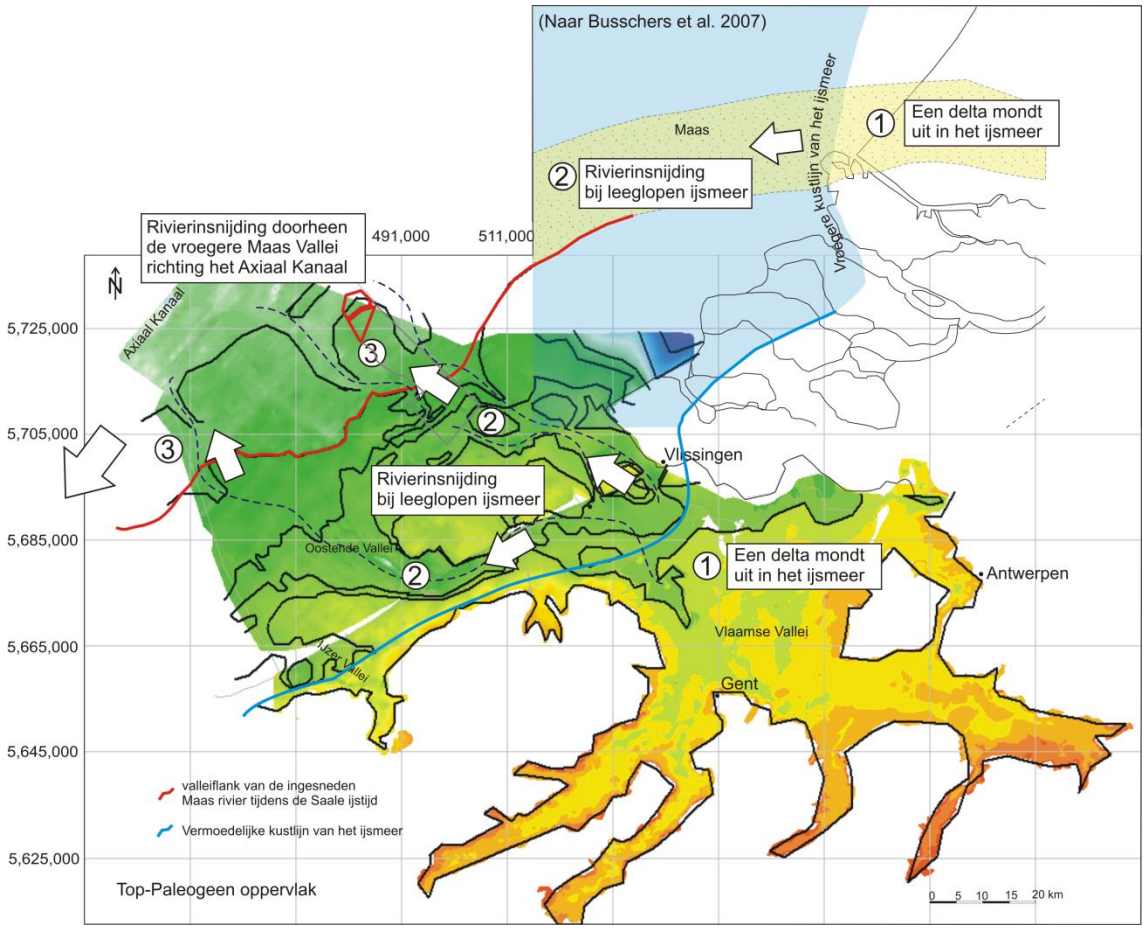
Figuur 5-3 De Tertiaire afzettingen die voorkomen onder de niet-geconsolideerde Quartaire afzettingen (naar Le Bot et al., 2003. Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) concessiezones zijn aangeduid met een rood frame.

De Formatie van Maldegem bestaat in de concessiezones van onder tot boven en dagzomend van ZW tot NE vermoedelijk uit (Le Bot *et al.*, 2003):

- Lid van Asse: gebioturbeerde kleiige zanden en zandige kleien
- Lid van Ursel: blauw-grijze gebioturbeerde massieve klei met pyrietconcreties
- Lid van Onderdale: kleiige zanden
- Lid van Zomergem: sterk gebioturbeerde blauw-groene klei

- Lid van Buisputten: zand
- Lid van Onderdijke: stijve tot zeer harde klei, met variërende hoeveelheden silt en zand bijmenging

De top van het Paleogeen is een erosief oppervlak dat een discordantie vormt tussen de oudere, onderliggende Paleogene afzettingen en de bovenliggende Quartaire afzettingen. Dit oppervlak vormt de basis van het Quartair en wordt gekenmerkt door een grindlaag. Verder wordt dit erosieoppervlak gekenmerkt door een aantal diepe rivierinsnijdingen en afvlakkingen gemodelleerd tijdens de laatste ijstijden en tussenijstijden (i.e. tijdens het Pleistoceen). De Mermaid en Northwester 2 concessiezones liggen ter hoogte van een Maas rivierinsnijding gevormd tijdens de voorlaatste ijstijd (Saale) (Mathys, 2009) (Figuur 5-4).

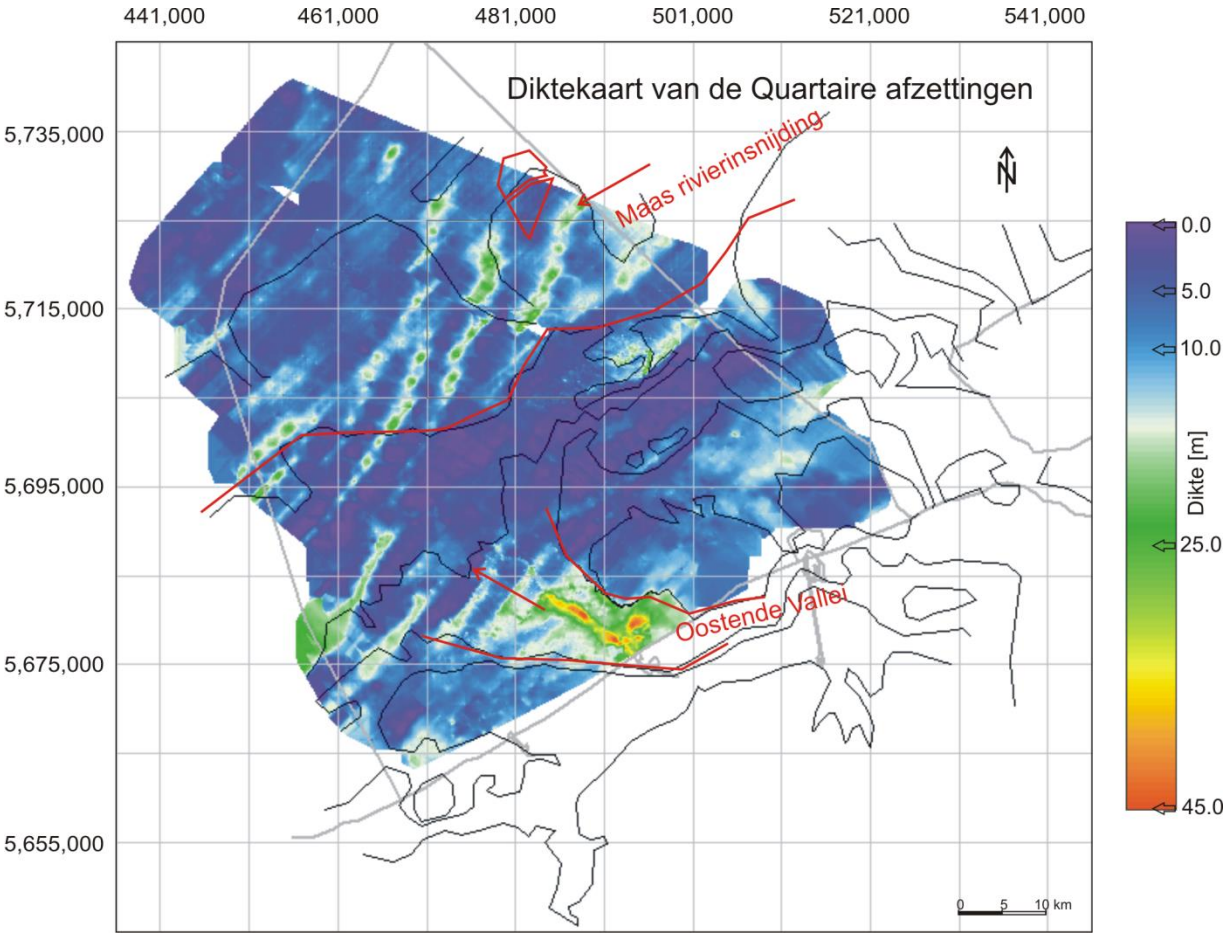


Figuur 5-4 Situering van Mermaid en Northwester 2 (rood frame) ten opzichte van een paleovalleiensysteem (naar Mathys, 2010). Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) concessiezones zijn aangeduid met een rood frame.

De bovenste laag van de zeebodem met daarop de zandbanken, werd afgezet tijdens het Quartair. Het Quartair is een periode die loopt van 2,6 miljoen jaar geleden en nog steeds voortduurt. De periode wordt ingedeeld in het oudere Pleistoceen en het huidige Holoceen. Het Pleistoceen kende een afwisseling van ijstijden en tussenijstijden, overeenstemmend met

zeespiegeldalingen en zeespiegelstijgingen. Het huidige Holoceen startte ongeveer 10.000 jaar geleden, na de laatste ijstijd.

De Quartaire afzettingen op het BDNZ zijn zeer dun en gefragmenteerd. Bijna 40% van het oppervlak is slechts bedekt met een laag van 5 m dik. Het is een onvolledig overblijfsel van een lange periode van complexe en dynamische veranderingen in de afzettingsomstandigheden. De dikste pakketten worden aangetroffen in Pleistocene riviervalleien en onder de Holocene zandbanken (Figuur 5-5).



Figuur 5-5 Diktekaart van de Quartaire afzettingen, met de aanduiding van de morfologische structuren in het Top-Paleogeen (fijne zwarte lijn) (naar Mathys 2009). Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) concessiezones zijn aangeduid met een rood frame.

De zandbanken op het BDNZ zijn gevormd tijdens verschillende geologische fasen, waardoor de samenstelling van de banken heel divers is. Het is enkel het bovenste, zandige gedeelte dat kenmerkend is voor de huidige getijdenstromingen en dat de eigenlijke getijdenbank voorstelt. De basis van de banken bestaat uit heel ander materiaal en vertelt het verhaal van de vroegere afzettingen die niet in open zee gevormd werden (Mathys, 2009).

Daar waar de zandbanken nog een volledige opeenvolging van afzettingen toont, bestaat deze van onder naar boven uit:

(1) Pleistocene estuariene sedimenten afgezet in een vroegere riviervallei, in een milieu vergelijkbaar met de huidige Westerschelde;

(2) Holocene schorren, slikken en getijdengeulen zoals men terugvindt in de ondergrond van de huidige Kustvlakte, afgezet landwaarts van een kustbarrière;

(3) Resten van Holocene kustnabije banken, gevormd onder storminvloed;

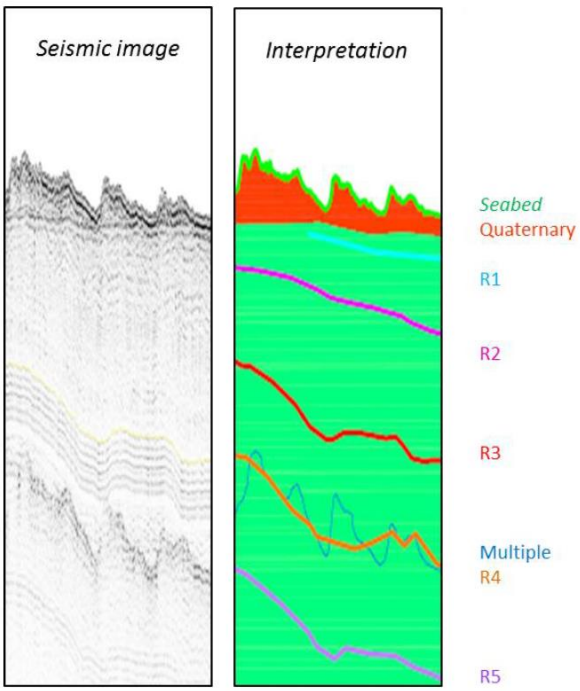
(4) Geërodeerde en herwerkte resten van vroegere schorren en slikken, afgezet na het terugschrijden van de kustlijn en sterke erosie ter hoogte van de Westerscheldemonding. Deze afzettingen liggen mede aan de oorsprong van het fijne sediment in de kustnabije zone (Figuur 5-2);

(5) de eigenlijke getijdenbank, gevormd ongeveer 7000 jaar geleden onder een hydrodynamisch regime vergelijkbaar met het huidige.

Door de vorming van de getijdenbanken uit lokaal aanwezig materiaal zijn de Quartaire afzettingen sterk geërodeerd en gefragmenteerd. Meestal komen enkel onder de getijdenbanken oudere Quartaire afzettingen voor en is er in de geulen tussen de getijdenbanken weinig bewaard gebleven.

5.1.2.2.2 In het projectgebied

In de Mermaid en Northwester 2 concessiegebieden werd reeds een verkennende seismische campagne uitgevoerd door G-tec (2013). Op de seismische profielen is te zien hoe de Paleogene lagen hellen in NE richting. De seismische eenheden afgebakend door de reflectoren R1 tot R5 worden geïnterpreteerd als Formatie van Maldegem, er kon geen onderscheid gemaakt worden tussen de verschillende leden op basis van de seismische data alleen (Figuur 5-6, G-tec, 2013).



Figuur 5-6 Interpretatie seismische profielen opgenomen in de Mermaid en Northwester 2 concessiezones (G-tec, 2013).

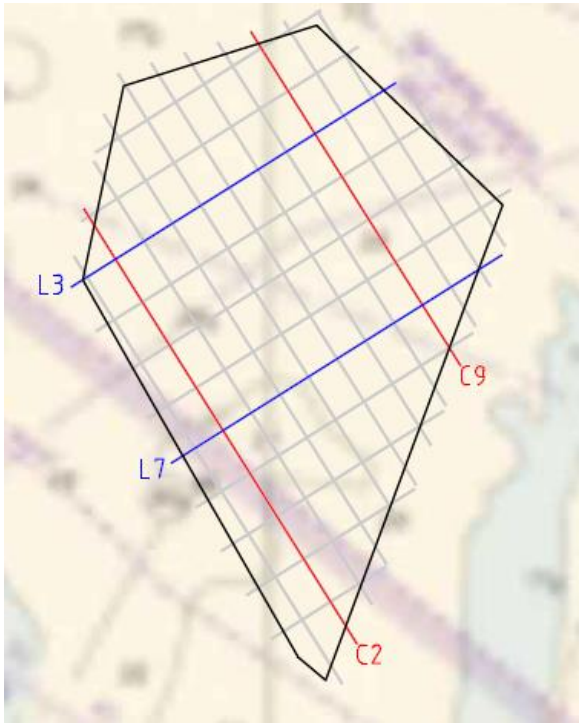
De top van het Paleogeen is een erosief oppervlak dat een discordantie vormt tussen de oudere, onderliggende Paleogene afzettingen en de bovenliggende Quartaire afzettingen. De Paleogene lagen zijn duidelijk afgesneden op Figuur 5-8 en Figuur 5-9. Dit oppervlak vormt de basis van het Quartair (aangeduid in blauw op Figuur 5-8, Figuur 5-9, Figuur 5-10 en Figuur 5-11 interpretatie IMDC).

De dikte van het Quartair varieert van minder dan 2 m dik, waar het Paleogeen bijna tot aan het oppervlak komt (bvb. tussen 2 duinen, ter hoogte van punt 2000 m op profiel L7) tot ca. 16 m dik, waar zandduinen voorkomen (bvb. ter hoogte van punt 4200 m op profiel C9).

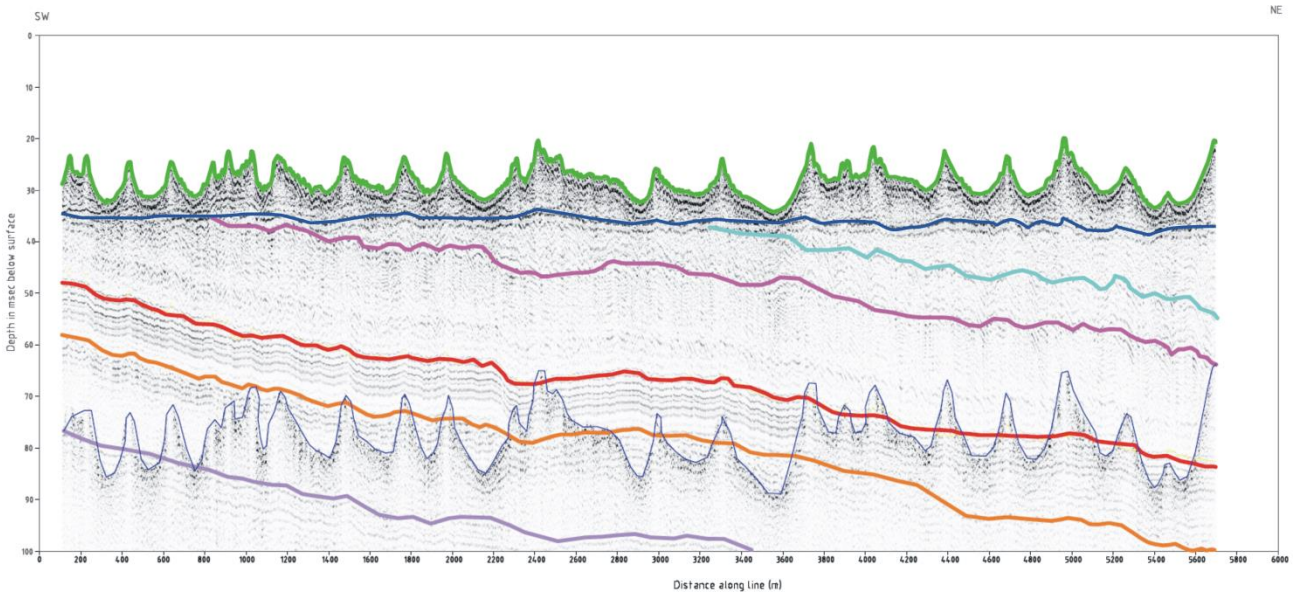
Ook tussen de Hinderbanken (bvb. Westhinder en Oosthinder) zijn er zones waar het Paleogeen bijna aan het oppervlak ligt (Fig. 2.7 in: Mathys *et al.*, 2009). Daar werd een grove, grindhoudende laag aangetroffen op de zeebodem die geïnterpreteerd werd als een transgressie- of basisgrind waarvan de dikte varieert tussen 10 en 30 cm (Mathys *et al.*, 2009). Het is mogelijk dat gelijkaardige grindlagen voorkomen in de Mermaid en Northwester 2 concessiegebieden onder de dunne Quartaire deklaag.

In het NE van het surveygebied is het Quartair dek over het algemeen dikker dan in de rest van het gebied. Interne reflectoren in het Quartair dek, zoals te zien op profiel C2, wijzen waarschijnlijk op de aanwezigheid van Pleistocene sedimenten. Bij gedetailleerd onderzoek op de Hinderbanken (Mathys *et al.*, 2009), bleek dat de Maasvallei insnijding opgevuld is met estuariene afzettingen van Eem (Pleistoceen) ouderdom. Mogelijk komen ook deze voor in de Mermaid en Northwester 2 gebieden.

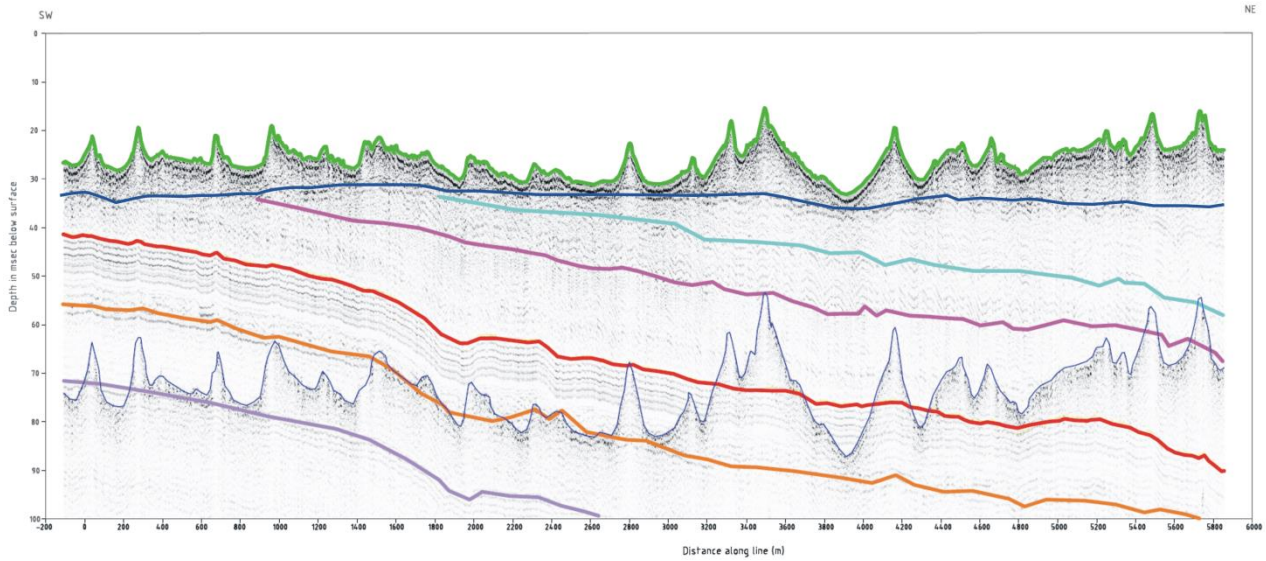
Tijdens het Holoceen, rond 7.000 jaar geleden, begon de vorming van de getijdenbanken en de tussenliggende geulen, waaronder de Hinderbanken. De Lodewijkbank en Thorntonbank werden vermoedelijk reeds eerder gevormd toen getijdenstromingen reeds sterk genoeg waren maar nog steeds loodrecht op de kust gericht (Mathys, 2009). Het materiaal waaruit de getijdenbanken werden opgebouwd, was afkomstig van lokale erosie waardoor de geulen werden gevormd. Oudere Quartaire afzettingen komen dan ook enkel voor onder de getijdenbanken waar het bleef afgeschermd of in oudere rivierinsnijdingen (Mathys *et al.*, 2009).



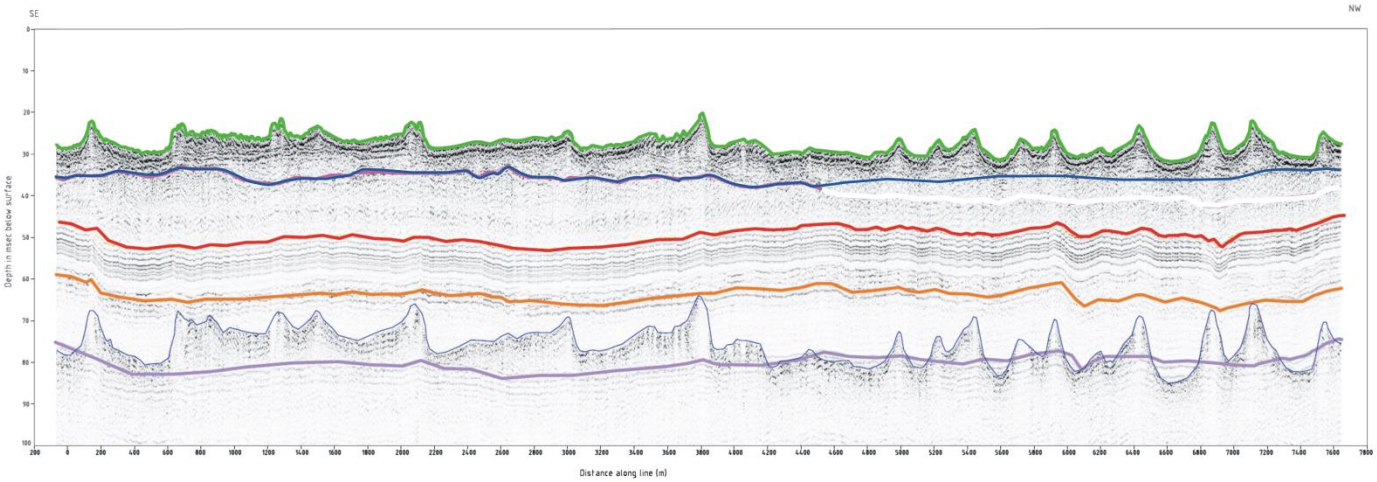
Figuur 5-7 Situering van vier seismische profielen in de Mermaid en Northwester 2 projectgebieden



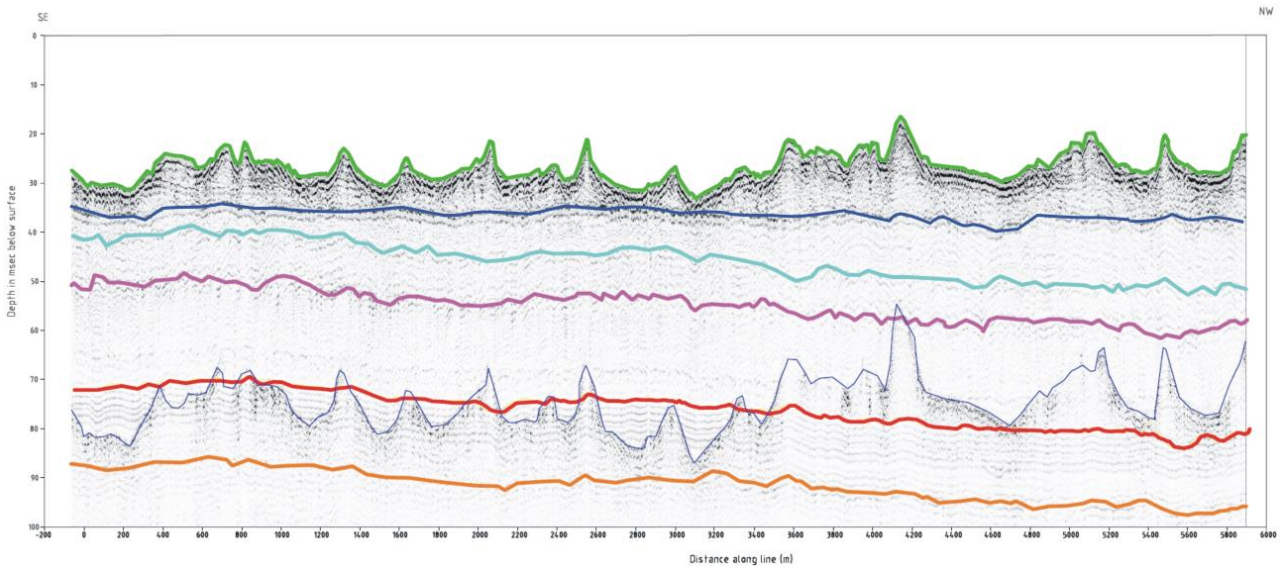
Figuur 5-8 Seismisch profiel L3, diepte in ms TWT onder het wateroppervlak, groene lijn = zeebodem; donkerblauwe lijn = Basis Quartair (data G-tec, 2013, interpretatie Basis Quartair IMDC)



Figuur 5-9 Seismisch profiel L7, diepte in ms TWT onder het wateroppervlak, groene lijn = zeebodem; donkerblauwe lijn = Basis Quartair (data G-tec, 2013, interpretatie Basis Quartair IMDC)



Figuur 5-10 Seismisch profiel C2, diepte in ms TWT onder het wateroppervlak, groene lijn = zeebodem; donkerblauwe lijn = Basis Quartair (data G-tec, 2013, interpretatie Basis Quartair IMDC)



Figuur 5-11 Seismisch profiel C9, diepte in ms TWT onder het wateroppervlak, groene lijn = zeebodem; donkerblauwe lijn = Basis Quartair (data G-tec, 2013, interpretatie Basis Quartair IMDC)

5.1.2.3 Morfologie

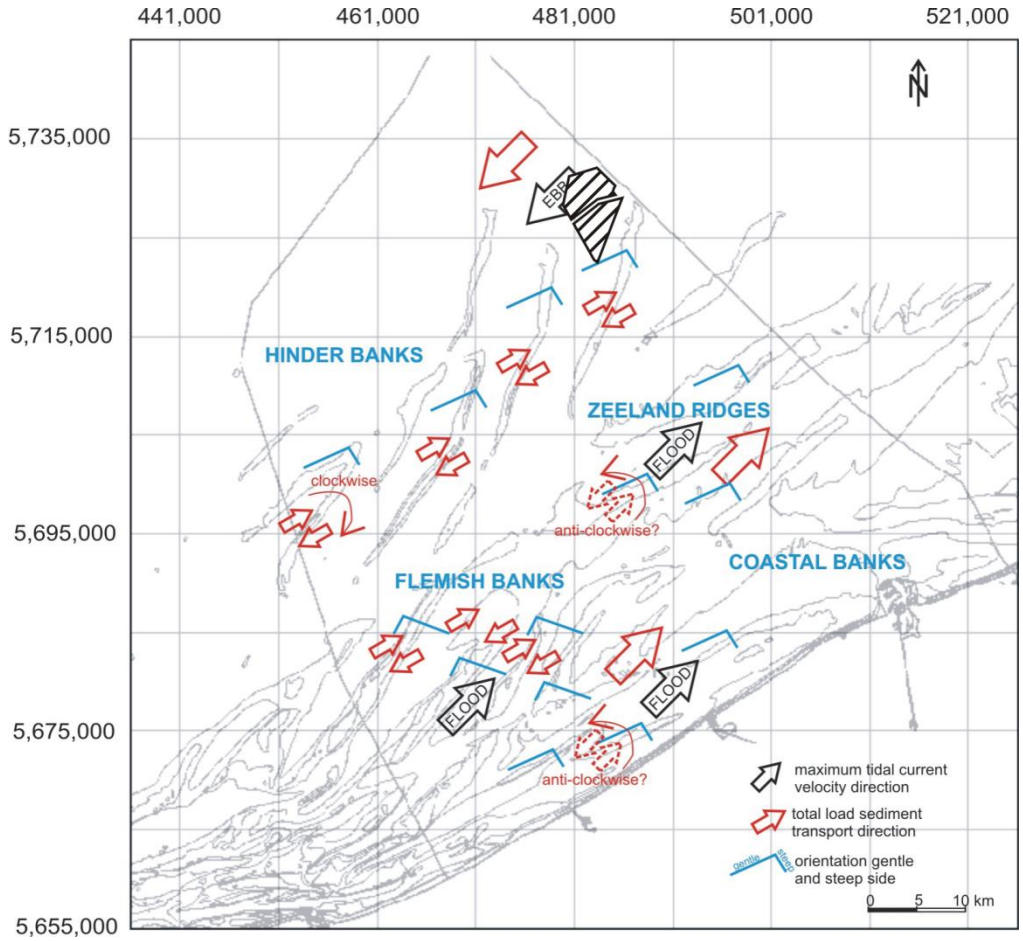
5.1.2.3.1 Algemeen

De bodemtopografie van het BDNZ bestaat uit een complex van zandbanken en geulen, waarbij de geulen een maximale diepte van 30 tot 40 m onder TAW bereiken. De zandbanken op het BDNZ worden traditioneel ingedeeld in de Hinderbanken, de Vlaamse Banken, de Kustbanken en de Zeeland banken. De Northwester 2 concessie ligt in de getijdengeul tussen de Blighbank en het verlengde van de Oosthinder, de Mermaid concessie ligt in het verlengde van de Oosthinder. De Hinderbanken zijn ongeveer NNE-ZZW georiënteerd. Ze bestaan van west naar oost uit de Fairy Bank, de Noordhinder, de Westhinder, de Oosthinder en de Blighbank.

Zandbanken zijn getijdenbanken die voortvloeien uit de interactie van zand en ZW-NO georiënteerde getijdenstromingen. Hun vorming vereist grote hoeveelheden zand en een gemiddelde springtij stroomsnelheid van meer dan 90 cm/s aan het wateroppervlak, of ongeveer 55 cm/s aan de bodem in 30 m waterdiepte (Belderson, 1986). Als hieraan niet voldaan wordt, worden er geen getijdenbanken gevormd, en zijn de dominante bodemstructuren eerder zandduinen.

Een fundamenteel proces voor het bestaan van zandbanken is de aanwezigheid van aparte eb- en vloedgeulen aan weerzijden van de bank. Dit veroorzaakt een circulaire zandbeweging over en rond de bank die de stabiliteit van de bank in stand houdt. Normaal gezien is er een asymmetrie in de stroomsterkte aan weerszijde van de banken. Dit is doordat de zandbanken een kleine hoek maken met het getij, waardoor één zijde van de bank meer blootstaat aan de vloedstroom, terwijl de andere meer blootstaat aan de ebstroom (Dyer en Huntley, 1999). De sterkste stroming erodeert meestal één zijde van de bank en onderhoudt op die manier de steilste flank. De Hinderbanken hebben een steile oostelijke flank. Langsheen de

Hinderbanken is de dominante stroomsnelheid de ebrichting (ZW), dit zou duiden op een circulaire zandbeweging in wijzerzin.



Figuur 5-12 Schematische visualisatie van de richtingen van de maximale getijstroomsnelheid (zwarte pijlen) en het totale sedimenttransport (rode pijlen) (uit Mathys 2009, data uit Lanckneus et al. 2001). Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) concessiezones zijn aangeduid met een zwart gearceerd frame.

De Kustbanken en een deel van de Vlaamse Banken vertonen een grote globale stabiliteit over tientallen of zelfs honderden jaren, ondanks de zeer dynamische omgeving (Van Cauwenberghe 1971; Ceuleneer en Lauwaert, 1987; Van Lancker *et al.* 2009). Ook de Hinderbanken worden als stabiel beschouwd (Houbolt, 1968, De Moor, 1985). Het optreden, de onderlinge afstand en de morfologie van de zandbanken en tussenliggende geulen als geheel zijn over het algemeen niet drastisch veranderd in de afgelopen 200 jaar.

Een belangrijk fenomeen bovenop zandbanken en in de tussenliggende geulen zijn de zandduinen. Duinen zijn aanzienlijk kleiner dan zandbanken - enkele meter hoog - maar meer dynamisch en zeer prominent aanwezig in het BDNZ. Algemeen komen de hoogste zandduinen voor op het noordelijk uiteinde van de Vlaamse Banken (tot 8 m) en in het noordelijk deel van de Hinderbanken. Velden van hoge structuren komen eveneens voor in het noordelijk deel van de Hinderbanken waar ze in grote mate in de geulen geobserveerd kunnen worden (tot 11 m, Deleu, 2001). Duinen kunnen sterk migreren (vb. tot meer dan 50 m

op 1,5 jaar voor duinen op de Westhinder; Deleu *et al.*, 2004), zij het soms in een oscillerende beweging. Zandduinen zijn loodrecht gericht op de overheersende stromingsrichting, aan weerskanten van de bank zijn ze meestal naar de kam van de bank toe gericht.

De banken van de Hinderbanken groep zijn langgerekte ruggen tussen 15 km en 26 km lang, die stijgen tot 24 m boven de omringende zeebodem. In dwarsdoorsnede zijn ze meestal asymmetrisch. Zoals gezegd is in de meeste gevallen de oostelijke helling steiler.

5.1.2.3.2 In het projectgebied

Figuur 5-18 toont het voorkomen van zandduinen in de regio van de Mermaid en Northwester 2 concessiegebieden (Van Lanker *et al.*, 2007). In het Mermaid gebied komen volgens deze kaart enkel duinen tussen 2 en 4 m voor, in het Northwester 2 gebied komen volgens deze kaart ook beperkte zones met duinen tot 6 m en meer voor.

Een meer gedetailleerde bathymetrische kaart wordt getoond in Figuur 5-13. Ze is gebaseerd op een verkennende multibeam meetcampagne recent uitgevoerd in de Mermaid en Northwester 2 concessiezones (G-tec, 2013).

Het gebied wordt gekenmerkt door grote tot heel grote duinen volgens de indeling van Ashley (1990). De kamlijn van de zeer grote duinen zijn over het algemeen NW-ZO gericht, terwijl de gesuperponeerde grote duinen eerder NWW-ZOO georiënteerd zijn. De afstand tussen opeenvolgende kamlijnen in Northwester 2 varieert tussen 100 m en 700 m (Figuur 5-14 en Figuur 5-15). Duinhoogtes zijn algemeen tot 6-7 m in het gebied, al zijn lokaal ook hoogtes van meer dan 11 m waargenomen (Figuur 5-15). In het Northwester 2 gebied zijn dit zijwaartse uitlopers van de naastgelegen Blighbank.

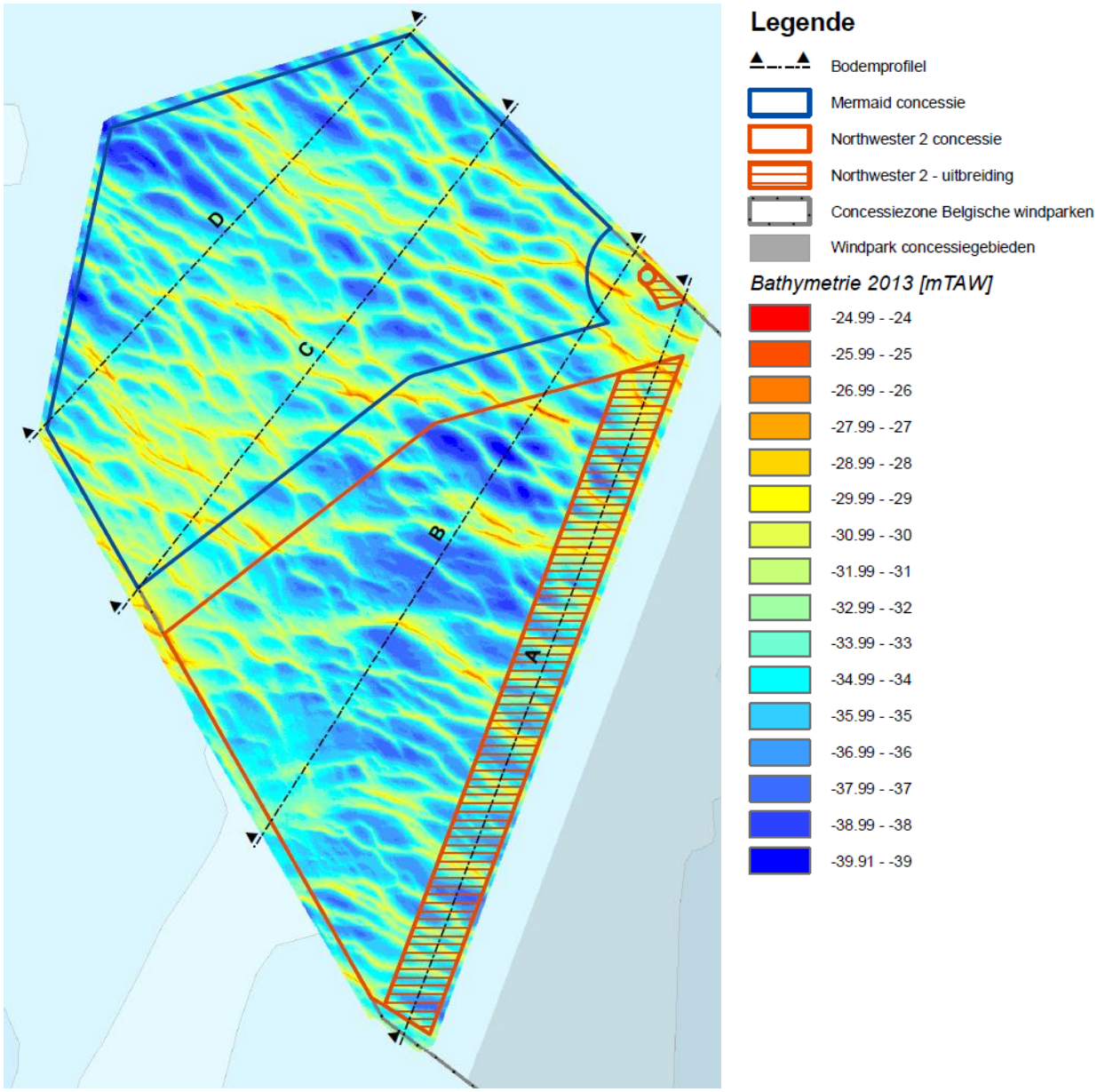
In het Mermaid gebied varieert de afstand tussen opeenvolgende kamlijnen tussen 100 m en 600 m. De hoogte van de duinen is algemeen 3-6 m, met uitschieters tot 10 m hoog (Figuur 5-16). Het Mermaid gebied is over het algemeen iets ondieper; de duinen vormen het noordelijke uiteinde van de Oosthinder.

Tabel 5-2 Definitie duinen volgens classificatie van Ashley, 1990

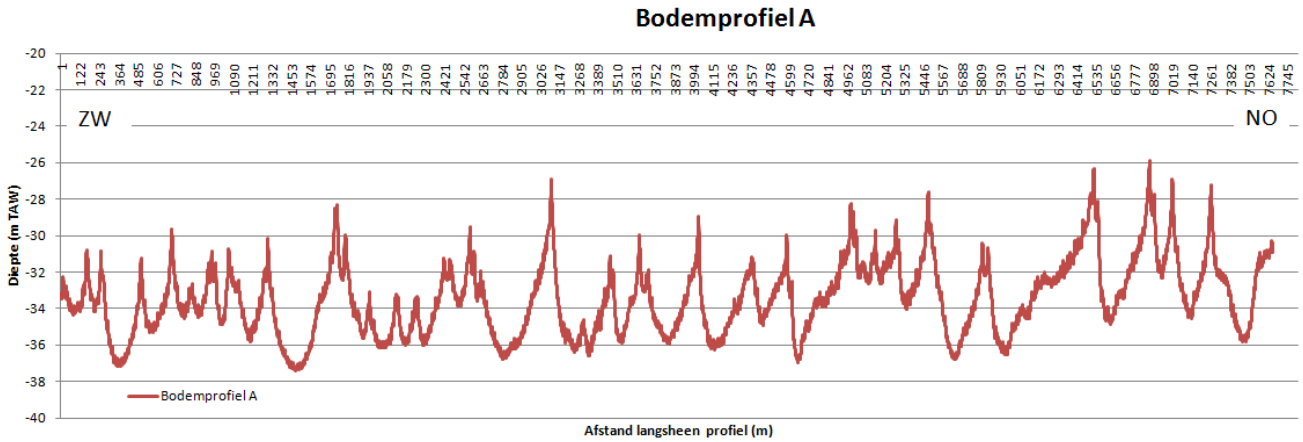
	Klein	**Medium**	**Groot**	**Zeer groot**
Tussenafstand	0.6 – 5 m	5 – 10 m	10 – 100 m	> 100 m
Hoogte	0.075 – 0.4 m	0.4 – 0.75 m	0.75 – 5 m	> 5 m

Aan de oostelijke rand van de Northwester 2 concessiezone, (bodemprofiel A, Figuur 5-14) zijn de zijwaartse uitlopers van de Blighbank vloedgedomineerd (met NO gerichte steile flank). Meer naar het centrum van de getijdengeul tussen de Blighbank en de Oosthinder, centraal in het Northwester 2 gebied, zijn de duinen ebgedomineerd (met ZW gerichte steile flank) (Figuur 5-15, ca. 134 tot 5.540 m langsheen het profiel). De Mermaid concessiezone wordt overwegend gekenmerkt door ebgedomineerde duinen met een ZW gerichte steile flank (Figuur 5-16, 180 tot 4.500 m langsheen profiel C). In het meest NO deel van de concessie komen symmetrische en vloedgeörienteerde duinen voor (5.200 tot 6.000 m langsheen profiel C Figuur 5-16 en 4.500 tot 5.400 m langsheen profiel D Figuur 5-17).

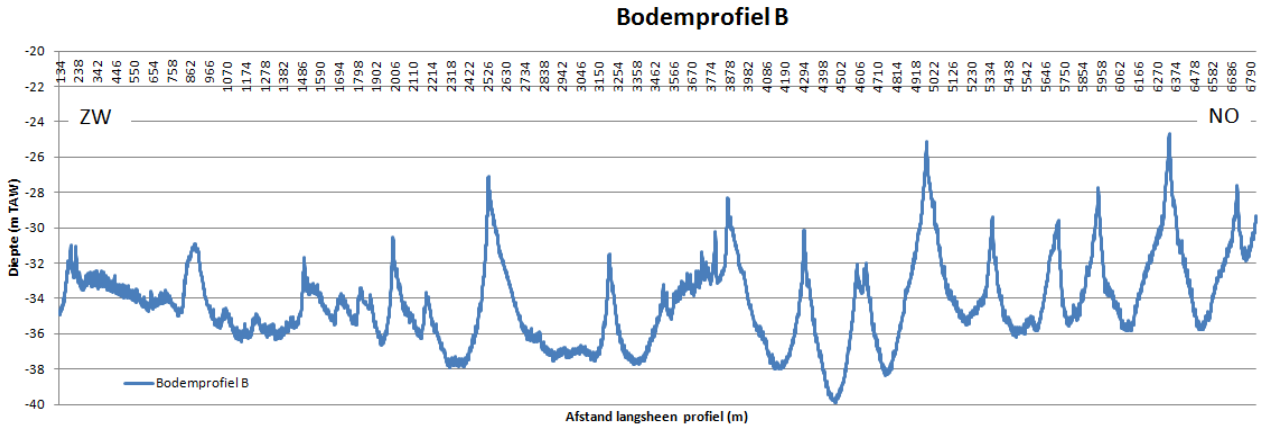
Daar grote tot heel grote duinen zich trager aanpassen aan veranderingen in stromingssterkte geven de grote duinen een goed beeld van de richting van het nettozandtransport over een langere periode (Deleu, 2001).



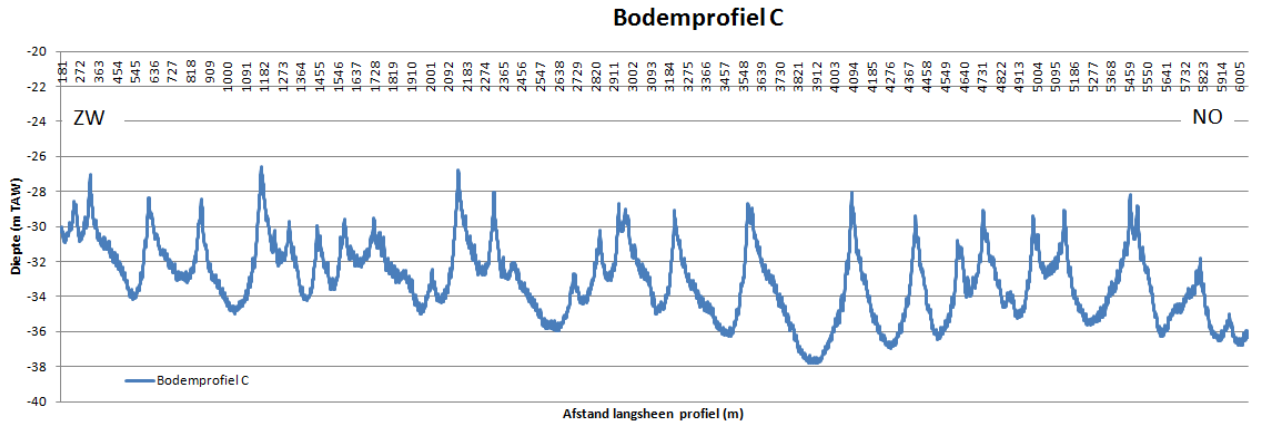
Figuur 5-13 Bathymetrische kaart van de Mermaid en Northwester 2 concessiegebieden op basis van multibeam data (diepte in m TAW), met aanduiding van locatie bodemprofielen



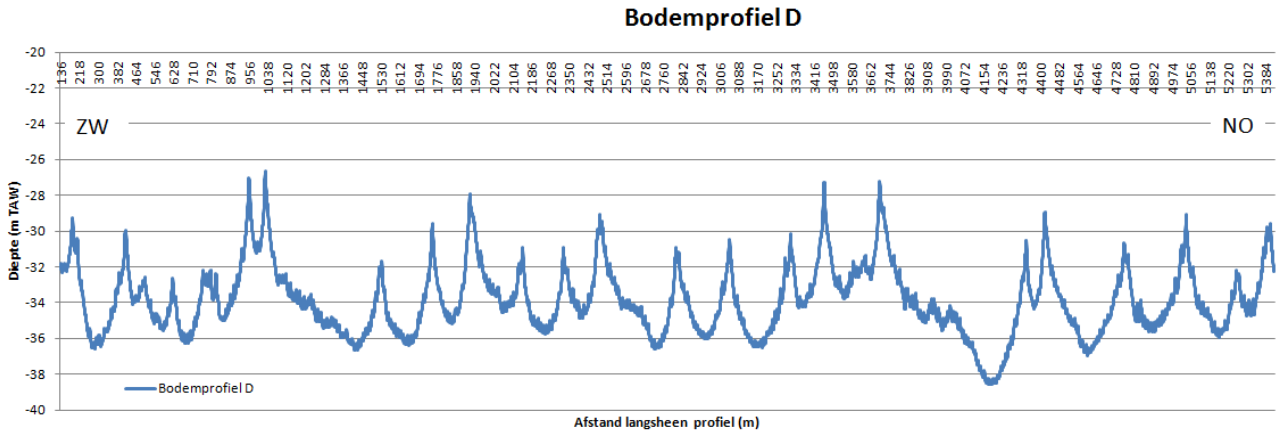
Figuur 5-14 Verticaal bodemprofiel A (ZW tot NO). Locatie zie Figuur 5-13.



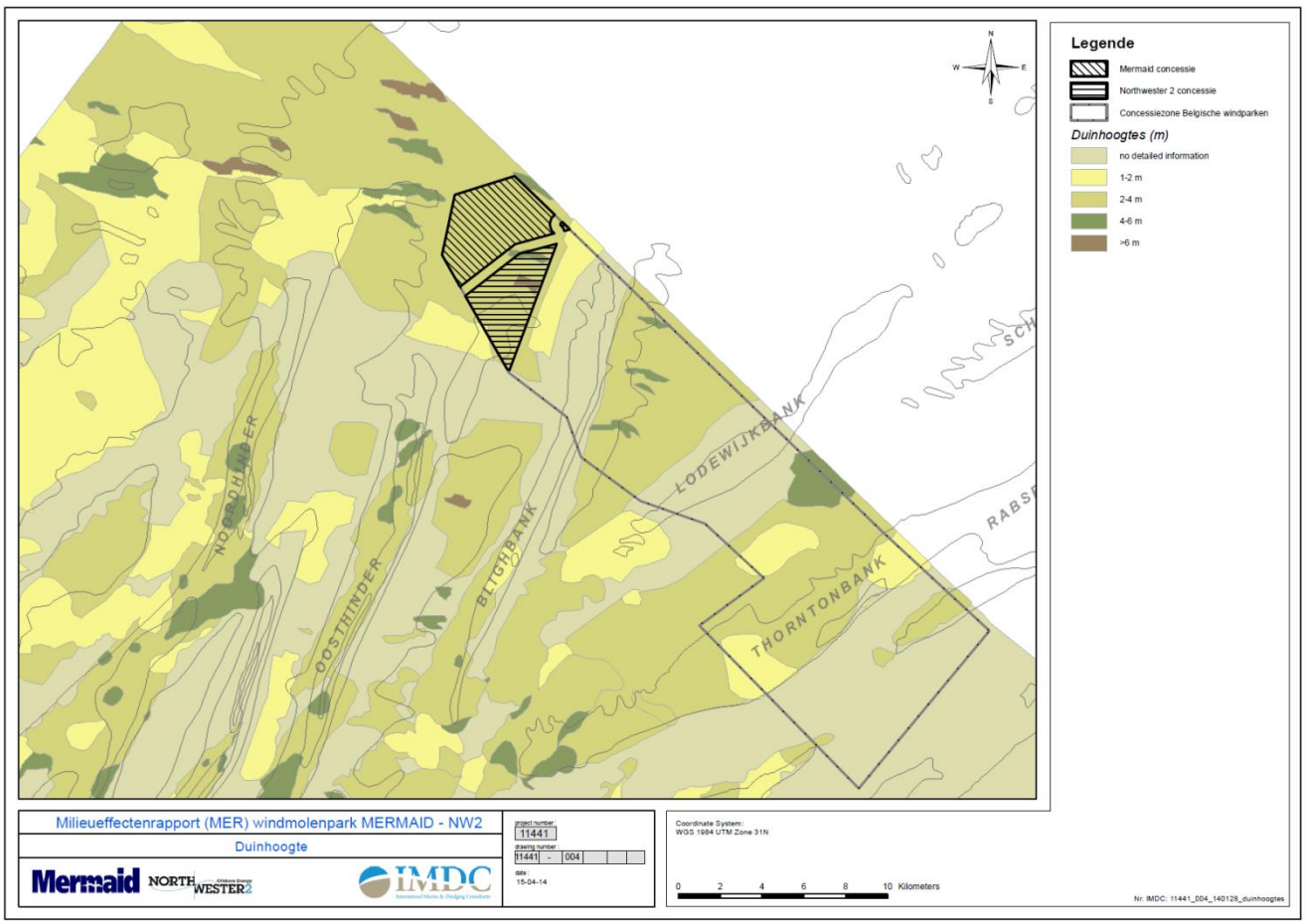
Figuur 5-15 Verticaal bodemprofiel B (ZW tot NO). Locatie zie Figuur 5-13.



Figuur 5-16 Verticaal bodemprofiel C (ZW tot NO). Locatie zie Figuur 5-13.



Figuur 5-17 Verticaal bodemprofiel D (ZW tot NO). Locatie zie Figuur 5-13.

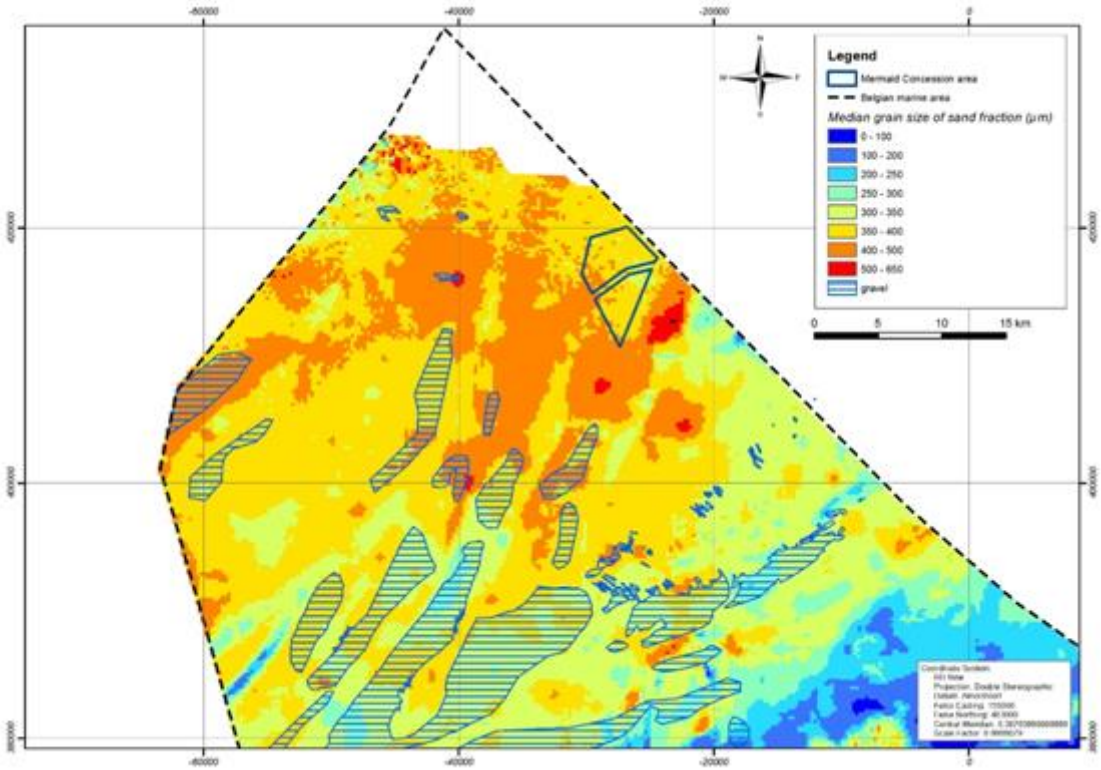


Figuur 5-18 Voorkomen van zandduinen in concessiegebieden Mermaid en Northwester 2 (naar Van Lancker et al, 2007)

5.1.2.4 Sedimentkarakteristieken

5.1.2.4.1 Granulometrie – korrelgrootteverdeling

Figuur 5-19 toont de korrelgrootteverdeling in het Mermaid en Northwester 2 projectgebied. Aan het zeebodemoppervlak in de Mermaid concessie komt vooral gemiddeld zand met mediane diameter 350-400 µm voor en iets grover zand in het ZW deel, nl. 400-500 µm. Ook in het Northwester 2 projectgebied komt vooral gemiddeld zand met mediane diameter 350-400 µm voor. In een beperkt gebied in het NE komt ook wat fijner zand voor met D50 300-350 µm. In het projectgebied werd er geen grind waargenomen aan het zeebodemoppervlak (Van Lancker *et al.*, 2007).



Figuur 5-19 Korrelgrootteverdeling en voorkomen van grind op het BDNZ, ingezoomd op het gebied rond Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) (blauw frame) (naar Verfaillie et al., 2006 en Van Lancker et al., 2007)

5.1.2.4.2 Chemische samenstelling van de bodem

Op basis van de data uit de BMDC databank als steekproef (BMM, 2014a) stelt men vast dat, voor alle opgenomen waarden voor open zee op het BDNZ, voor metalen meestal maximale waarden worden vastgesteld tussen streefwaarde en grenswaarde en voor TBT maximale waarden hoger dan de grenswaarde. TBT of Tributyltin is een biocide dat in het aquatische milieu als ‘antifouling’ gebruikt werd sinds het begin van de jaren 1970 en toegevoegd werd aan verf om de aangroei van algen en zeepokken op de scheepsrompen tegen te gaan. Sinds 2003 is het gebruik ervan op schepen verboden.

Zowel in open zee als in de buurt van havens liggen de meeste waarden, zowel voor zware metalen als voor TBT, onder de streefwaarden. Voor meer informatie per parameter wordt verwezen naar het MER van het windpark van Northwind (voorheen Eldepasco) (Ecolas, 2008).

5.1.2.5 Stromingskarakteristieken

De hydrodynamica van het BDNZ wordt gedomineerd door getijwerking.

5.1.2.5.1 Waterdieptes

Er zijn geen zandbanken aanwezig in de 2 projectgebieden, maar deze regio is gekarakteriseerd door grote tot zeer grote duinen. In het Northwester 2 gebied zijn dit voornamelijk uitlopers van de Blighbank die ten oosten ervan ligt, in het Mermaid gebied zijn dit noordelijke uitlopers van de Oosthinder die ten zuiden van het gebied ligt. Tabel 5-3 geeft de minimale, maximale en gemiddelde waterdieptes weer.

Tabel 5-3 Overzicht van de waterdieptes (m TAW) in Mermaid en Northwester 2 (G-tec, 2013)

	Mermaid	Northwester 2
Minimale waterdiepte	-24,5 m TAW	-24.1 m TAW
Maximale waterdiepte	-39,5 m TAW	-39,9 m TAW
Gemiddelde waterdiepte	-33,7 m TAW	-34,3 m TAW

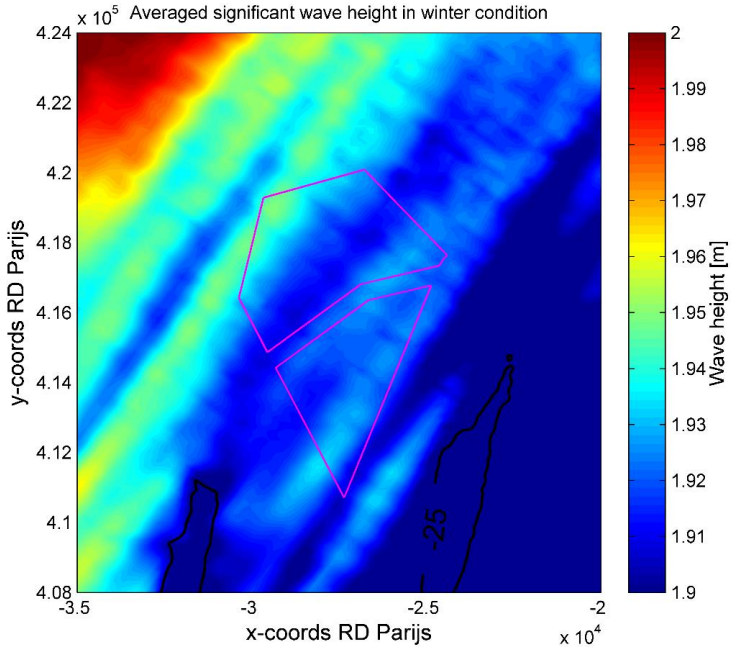
5.1.2.5.2 Golfhoogtes

De windgolven worden beschreven in termen van karakteristieke golfhoogtes en karakteristieke golfperiodes. De hoogste golven in de Noordzee vindt men terug bij noord tot noordwestelijke wind. De golfhoogte is het verschil in hoogte tussen een golfkam en het daaropvolgende golfdal. De significante golfhoogte is de gemiddelde hoogte van het hoogste één derde deel van de verzameling golfhoogtes in het beschouwde tijdvak. Naast wind, wordt de golfhoogte ook bepaald door de onderliggende topografie van het Belgische deel van de Noordzee (BDNZ). De golfperiode is het verschil in tijd tussen de passage van twee opeenvolgende golfkammen.

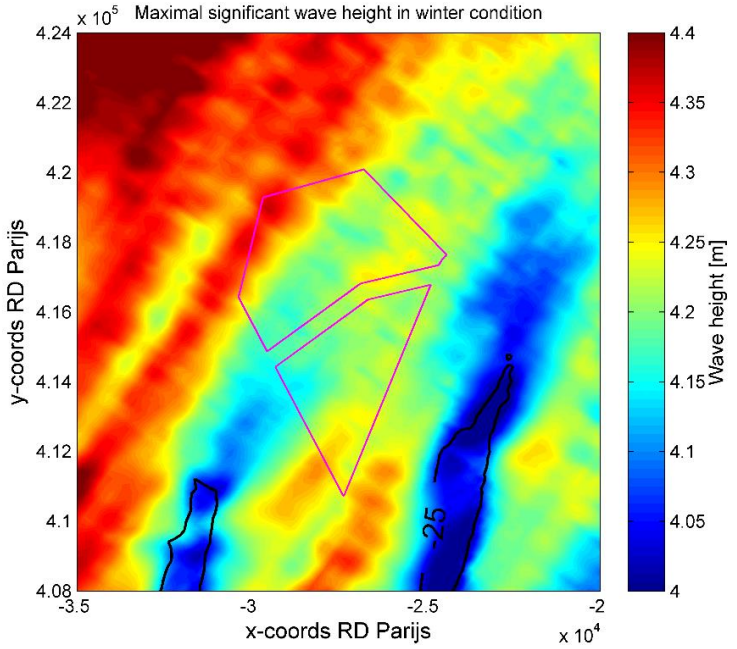
Analyse van 22 jaar metingen op de Westhinder (1990-2012), toont een ZW en WZW dominante golfrichting. Significante golfhoogtes kleiner dan 1,0 m voor meer dan 50% van de tijd en groter dan 2,0 m voor ongeveer 10% van de tijd, met een gemiddelde van ongeveer 1,07 m. De piek golfperiodes liggen tussen 3 en 8 s voor 90% van de tijd, met een gemiddelde van 5,5 s. Over het algemeen liggen wind en golven in dezelfde lijn. Hetzelfde golfklimaat wordt in de Mermaid en Northwester 2 projectgebieden verwacht (IMDC, 2014a).

Tussen 1977 en 2002 varieerde de maximale significante golfhoogte tussen 5 en 6 m ter hoogte van het dichtst bijgelegen meetpunt op het BDNZ (‘Akkaert Zuid’ op de Goote Bank ten ZW van de Lodewijkbank, NB 51° 25' 59’ OL 02° 48' 09’), wat overeenkomt met stormen met terugkeerperiode tussen 5 en 50 jaar (Meetnet Vlaamse Banken, 2012). Uit analyse van de golfdataset van de Westhinder (1990-2010) kon afgeleid worden dat een storm met retourperiode van 1 jaar een significante golfhoogte heeft van ongeveer 4,35 m (IMDC, 2014a in bijlage).

Figuur 5-20 en Figuur 5-21 tonen de gemiddelde en maximale significante golfhoogte berekend door het golfmodel (IMDC, 2014a in bijlage). Golven van het zuidwesten worden drastisch gedissipeerd wanneer ze over de banken bewegen, voornamelijk over de Blighbank. De Mermaid en Northwester 2 concessiezones bevinden zich buiten deze beschutte zone. De gemiddelde significante golfhoogte in Mermaid is ongeveer 1,92 m en maximaal 4,35 m in de NW hoek. In de Northwester 2 zone is de gemiddelde significante golfhoogte over een spring-doodtij bij de gekozen storm 1,93 m met een maximum van 4,3 m.



Figuur 5-20 Gemiddelde significante golfhoogte over een springtij-doodtij cyclus in wintercondities.



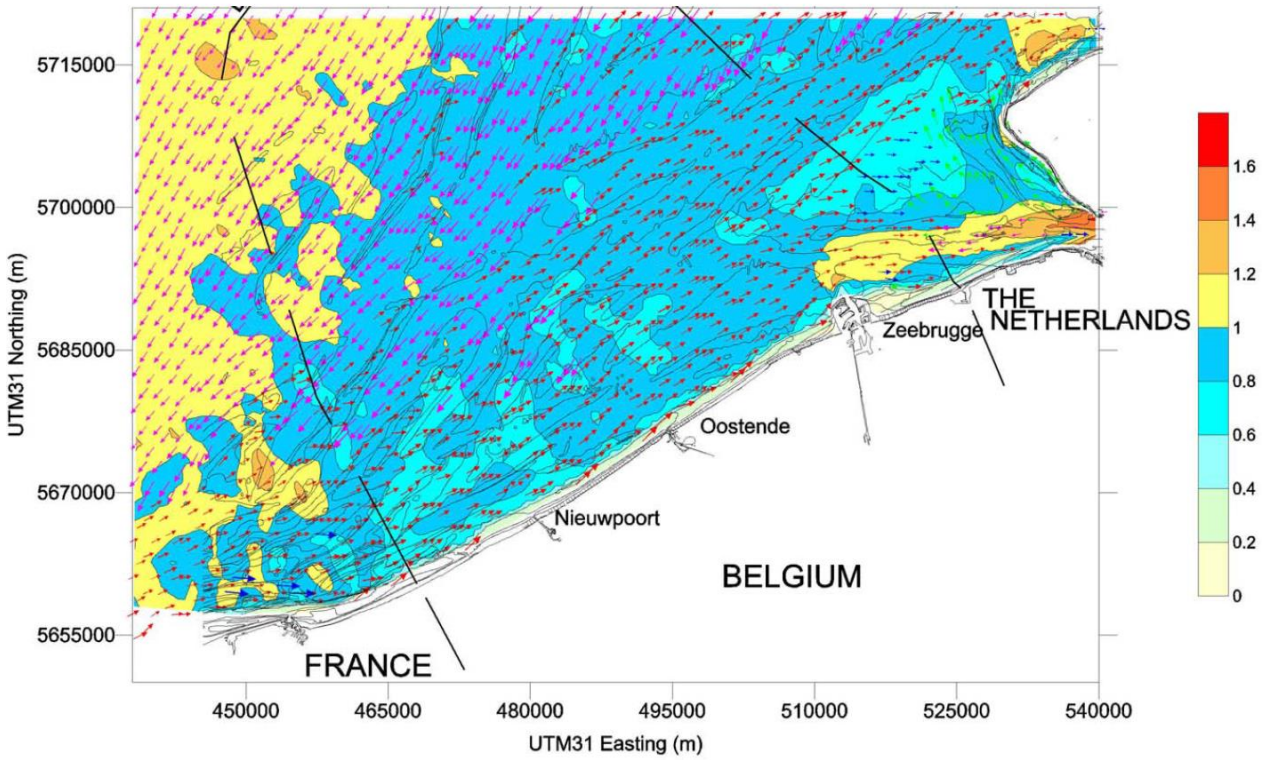
Figuur 5-21 Maximale significante golfhoogte over een springtij-doodtij cyclus in wintercondities.

5.1.2.5.3 Stroomsnelheden

Algemeen

Een eerste indicatie over stroomsnelheden kan worden gegeven op basis van de morfologische kenmerken aanwezig in de projectgebieden. Grootschalige bodemstructuren zoals aanwezig in het projectgebied, ontstaan bij typische (bodem) stroomsnelheden tussen 0,5 en 1,5 m/s (Ashley, 1990).

Figuur 5-22 toont de gemodelleerde maximale stroomsnelheden over het BDNZ. In het kustnabije gedeelte en langs de Vlaamse Banken bereiken de getijdenstroomsnelheden hun maximum tijdens vloed (naar NO), terwijl de maximale stroomsnelheden langs de Hinderbanken voornamelijk in ebrichting gericht zijn (ZW). De projectgebieden bevinden zich ten noorden van de Oosthinder, niet weergeven op deze kaart.



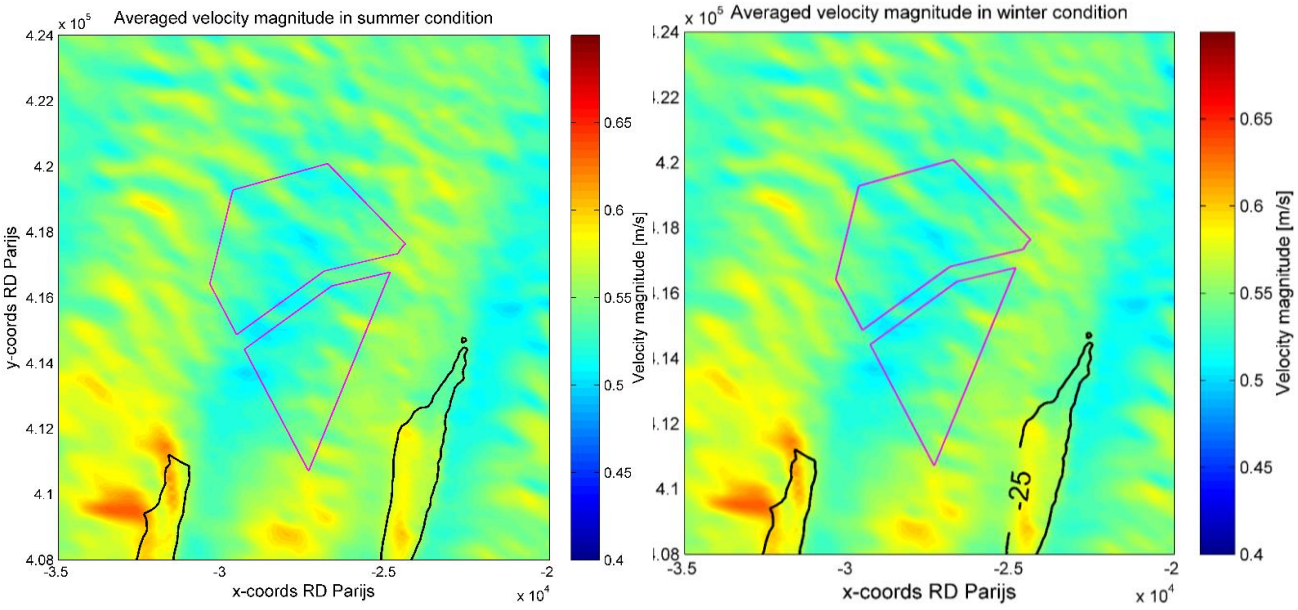
Figuur 5-22 Maximale stroomsnelheden (m/s) over het BDNZ. Gegevens uit het BMM mu-BCZ model (uit: Lanckneus et al., 2001). De gekleurde vectoren groeperen de stroomrichtingen per kwadrant.

In het projectgebied

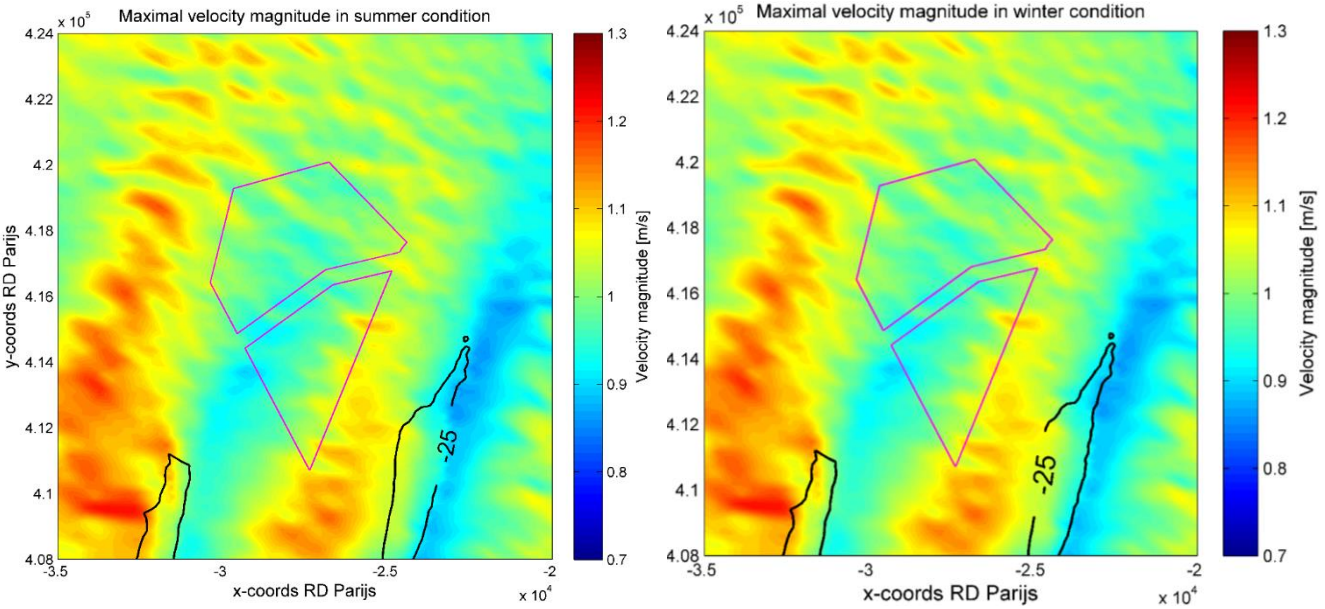
Om een idee te hebben van de natuurlijk locale stroomsnelheden en sedimenttransporten in de Mermaid en Northwester 2 projectgebieden werd een numerieke modellering uitgevoerd. Details over de opzet van het model worden gegeven in rapport IMDC (2014a), bijgevoegd als externe bijlage bij dit MER. De modelleerstudie had als doel de natuurlijke situatie te simuleren, dus zonder de aanwezigheid van windturbines. Het model heeft een resolutie van ongeveer 200 m dus processen op schaal van individuele zandduinen konden niet gesimuleerd worden, wel de processen die zich afspelen op het niveau van zandbank-getijdengeul.

Simulaties werden uitgevoerd over een springtij-doodtij periode voor twee situaties: een zomer situatie, waar enkel getijdenstroming een rol speelt zonder meteorologische invloeden, en een winter situatie met meteorologische invloeden wanneer ook wind en golven van belang zijn. Voor de wintersituatie werd een storm met terugkeerperiode van 1 jaar gekozen.

Figuur 5-23 toont de stroomsnelheden gemiddeld over de doodtij-springtij cyclus tijdens zomercondities en wintercondities binnen het projectgebied. Er zijn weinig verschillen tussen beide situaties, zowel tijdens zomer- als wintercondities varieert de gemiddelde stroomsnelheid in Mermaid en Northwester 2 tussen 0,50 en 0,58 m/s over een springtij-doodtij cyclus. De grootste gemiddelde snelheden worden waargenomen op de toppen van de Oosthinder en de Blighbank. Ook ter hoogte van de zandduinenvelden ten W en O van de concessiezones heersen hogere stroomsnelheden (uitlopers van de Oosthinder en Blighbank).



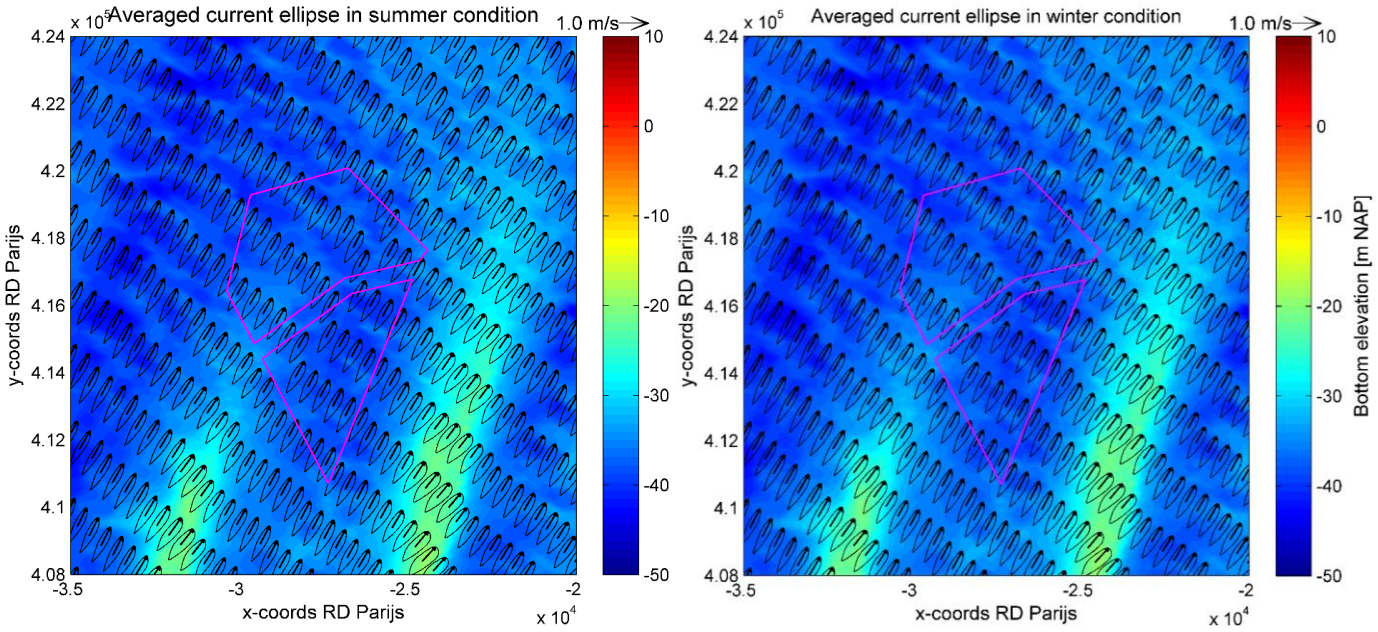
Figuur 5-23 Gemiddelde stroomsnelheden over een doodtij-springtij cyclus tijdens zomercondities (links) en wintercondities (rechts)



Figuur 5-24 Maximale stroomsnelheden over een doodtij-springtij cyclus tijdens zomercondities (links) en wintercondities (rechts)

Tijdens zomercondities worden lokaal maximale stroomsnelheden waargenomen van 1,06 m/s aan de NW grens van Mermaid en 1,12 m/s aan de ZO grens van Northwester 2 (tijdens een springtij-doodtij cyclus). Tijdens wintercondities is de maximaal waargenomen stroomsnelheid maximaal 1,1 m/s (Figuur 5-24).

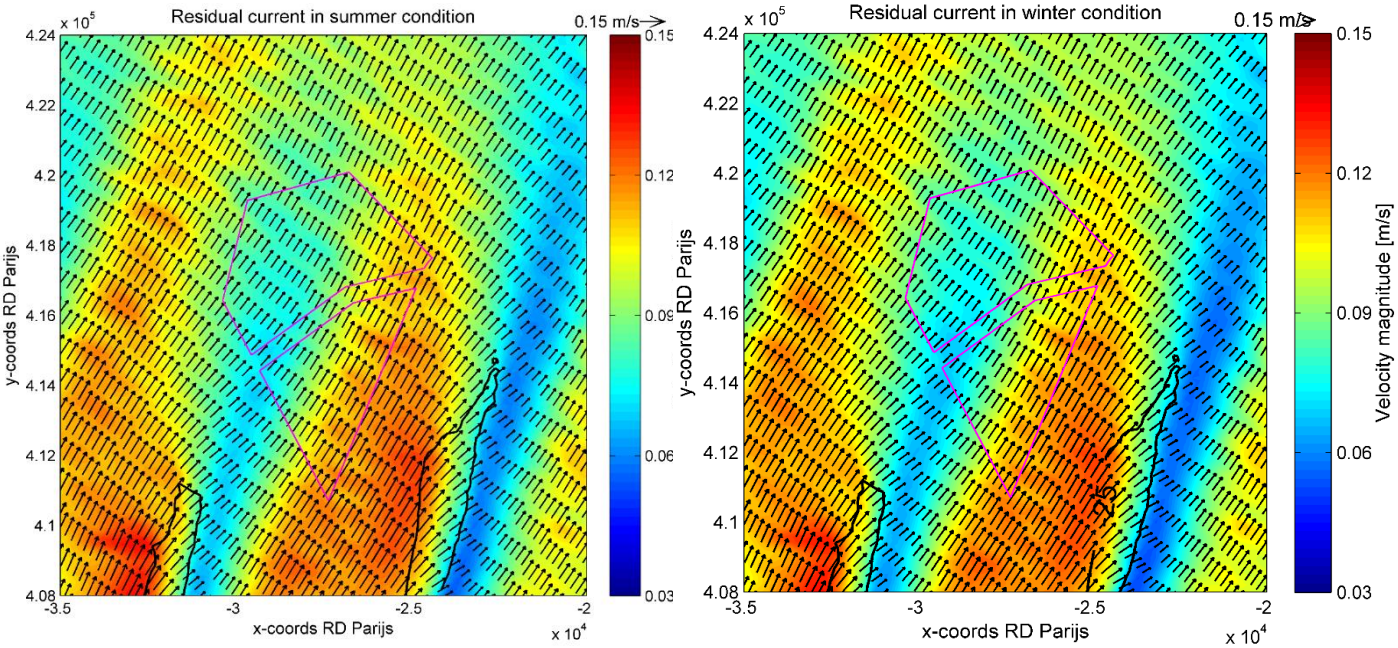
Figuur 5-25 toont de gemiddelde stromingrichtingsellipsen. Ook voor deze parameter is er weinig verschil tussen zomer en winter. Tijdens winteromstandigheden vertonen de stromingsellipsen kleinere snelheden langs de korte as van de ellips.



Figuur 5-25 Gemiddelde stroomsnelheidsellipsen tijdens zomercondities (links) en tijdens wintercondities (rechts) (over doodtij-springtijcyclus), bathymetrie als achtergrond

Figuur 5-26 toont het residueel watertransport over een doodtij-springtij cyclus, rekening houdend met de waterdiepte (getijhoogte) op elk moment. De residuele stroomsnelheden zijn kleiner in de Mermaid zone dan in de Northwester 2 zone. Zowel tijdens de zomer als wintercondities is de hoogste residuele stroomsnelheid in Mermaid ongeveer 0,11 m/s in het oosten van het gebied en 0,12 m/s in Northwester 2 eveneens langs de oostelijke rand.

De schijnbare tegenstelling tussen de richting van het residuele watertransport hier voorgesteld (in NO richting) en de door BMM gemodelleerde maximale stromingsrichting in ebrichting ter hoogte van de Hinderbanken (Figuur 5-22) kan verklaard worden door het feit dat het vloedgedeelte van langere duur is en residueel gezien zal het watertransport dan ook in die richting zijn die over de ganse getijcyclus gezien domineert.



Figuur 5-26 Residueel watertransport tijdens zomercondities (links) en tijdens wintercondities (rechts) (over doodtij-springtijcyclus)

5.1.2.6 Sedimenttransport

5.1.2.6.1 Algemeen sedimenttransport op het BDNZ

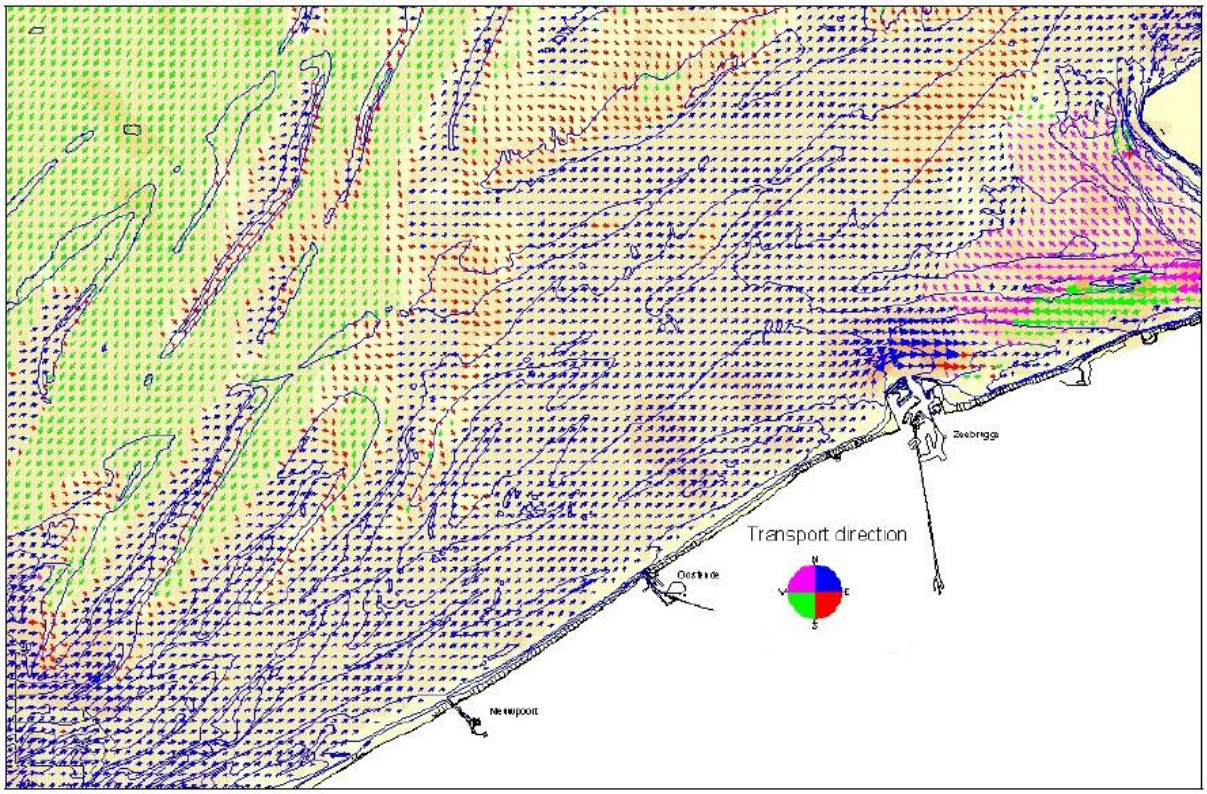
Vanuit de vastgestelde lange termijnstabiliteit van de getijdenbanken op het BDNZ, werd in het verleden aangenomen dat een aanzienlijke hoeveelheid zand vanuit het Nauw van Calais wordt aangevoerd (BMM, 2006b). Na periodes van erosie door storm of zandextractie kon dan een proces van regeneratie optreden tijdens perioden van kalm weer, waarbij materiaal langsheen de flanken terug de zandbank op wordt getransporteerd (BMM, 2006b).

De laatste jaren is door voortschrijdend inzicht een groter onderscheid gemaakt tussen de sedimentbalans van fijner materiaal en van zand. Terwijl voor het slib wordt aangenomen dat er ongeveer 20 miljoen ton droge stof per jaar naar het BDNZ wordt getransporteerd door het Nauw van Calais (Van Lancker *et al.*, 2007), is dit voor de zandfractie veel minder zeker. De volumetoenames en –afnames van zandbanken op het BDNZ zouden eerder het gevolg zijn van lokale herschikkingen (BMM, 2006b).

Een van de eerste technieken om het residueel bodemtransport te achterhalen was het bepalen van de asymmetrie van bodemstructuren die dwars op de stroomrichting voorkomen (Lanckneus *et al.*, 2001). Ook nu nog zijn bodemstructuren de belangrijkste indicatoren voor bodemtransport. De steile zijde van een asymmetrische bodemstructuur geeft de actuele voortschrijdingrichting aan. Hierbij is de strekking van de kam meestal loodrecht gericht op de stroming. In een getijdensysteem wordt de sedimenttransportrichting bepaald door het feit dat tijdens eb (of vloed) een grotere hoeveelheid zand wordt getransporteerd dan tijdens vloed (of eb). De asymmetrie van de bodemstructuren wordt dus in eerste instantie gedefinieerd door de dominante stroomrichting.

Zowel kleine tot gemiddelde duinen (megaribbels) als grote tot heel grote duinen werden gebruikt als transportindicatoren op het BDNZ. Op een groot aantal zandbanken zoals de Vlaamse Banken en de Hinderbanken, is de residuele vloedstroom verantwoordelijk voor de vloedasymmetrie van de bodemstructuren op de westelijke bankflank en in het oostelijk deel van de geul en leidt de residuele ebstroom tot een ebasymmetrie op de oostelijke bankflank en in het westelijk deel van de geul. Dit mechanisme is verantwoordelijk voor een convergentie van zand naar de bankas toe wat leidt tot een sedimentophoping op de banktop.

Daarnaast kan ook een numeriek zandtransportmodel inlichtingen geven over de residuele sedimenttransportrichting (Figuur 5-27). In de Hinderbankenregio is het residueel bodemtransport ZW (eb) gericht in de geulen tussen de banken, en NO (vloed) tot ZO gericht op de banken. Mermaid en Northwester 2 bevinden zich in de Hinderbankenregio ten noorden van de Oosthinder, niet weergegeven op de figuur.

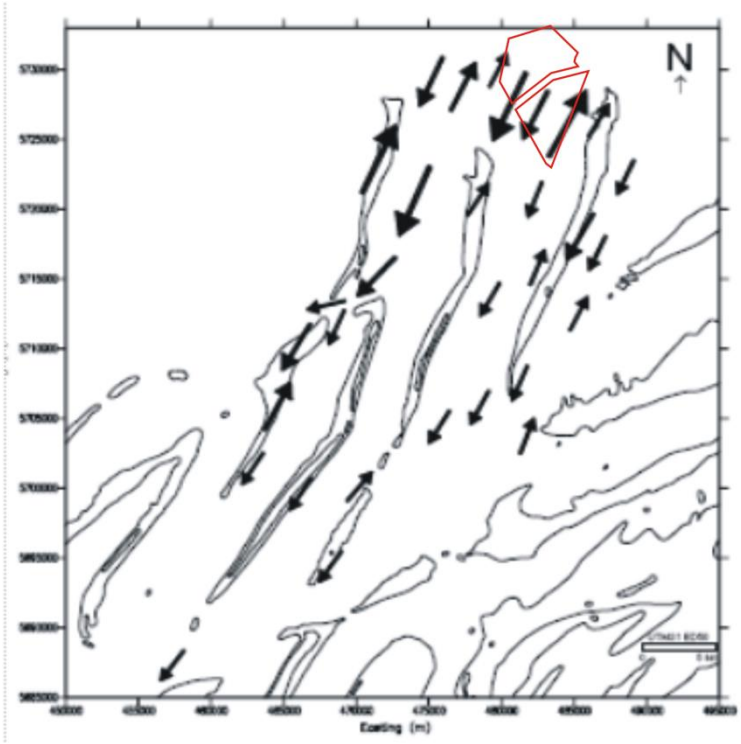


Figuur 5-27 Sediment transport vectoren verkregen uit een 2D transport model (totale bodemtransport) (uit Lanckneus et al., 2001). De gekleurde vectoren groeperen de transportrichting per kwadrant)

5.1.2.6.2 Sedimenttransport in het projectgebied

In de Mermaid en Northwester 2 projectgebieden kunnen de algemene transportrichtingen in eerste instantie begroot worden op basis van de asymmetrie van de zandduinen. De asymmetrie van de grote duinen heeft bewezen een betrouwbare indicator van sedimenttransport te zijn op de lange termijn (Lanckneus *et al.*, 2001).

In Figuur 5-28 geven de pijlen de richting van het sedimenttransport aan, afgeleid van de asymmetrie van de grote duinen. De lengte van de pijl geeft de lengte van de zone met dezelfde asymmetriepatronen weer (en is dus geen maat voor de omvang van het sedimenttransport) (Deleu, 2001). De figuur geeft de asymmetrieën weer zoals ook waargenomen op de recente multibeam data (§ 5.1.2.3.2).



Figuur 5-28 Sedimenttransportrichtingen in de regio van de Hinderbanken (Deleu, 2001)

Aan de oostelijke rand van de Northwester 2 concessiezone zijn de zijwaartse uitlopers van de Blighbank vloedgedomineerd (met NO gerichte steile flank). Meer naar het centrum van de getijdengeul tussen de Blighbank en de Oosthinder, centraal in het Northwester 2 gebied, zijn de duinen ebgedomineerd. De Mermaid concessiezone wordt overwegend gekenmerkt door ebgedomineerde duinen met een ZW gerichte steile flank. In het meest NO deel van de concessie komen symmetrische en vloedgeörienteerde duinen voor.

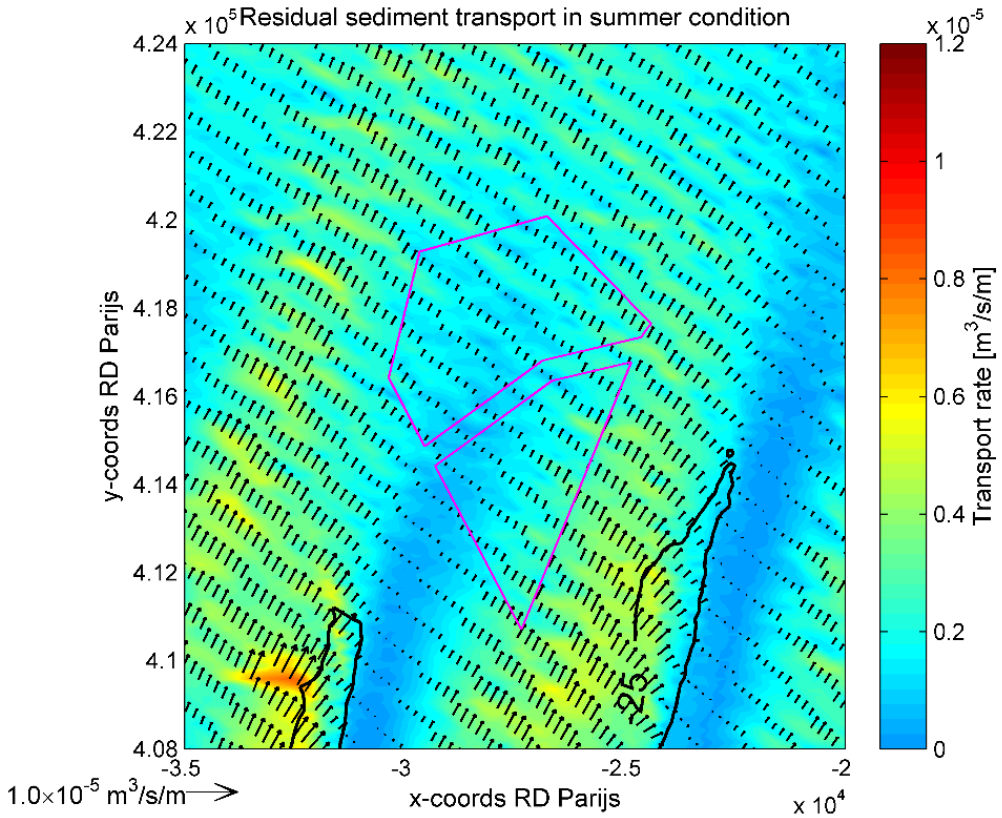
Dit zou wijzen op een sedimenttransport in vloedrichting centraal in de geul tussen de Blighbank en Oosthinder en sedimenttransport in de ebrichting in het westelijk deel van de geul en ter hoogte van de noordelijke uitloper van de Oosthinder.

Daarnaast geeft ook het numeriek zandtransportmodel inlichtingen over de residuele sedimenttransportrichting (Figuur 5-29 en Figuur 5-30, IMDC, 2014a).

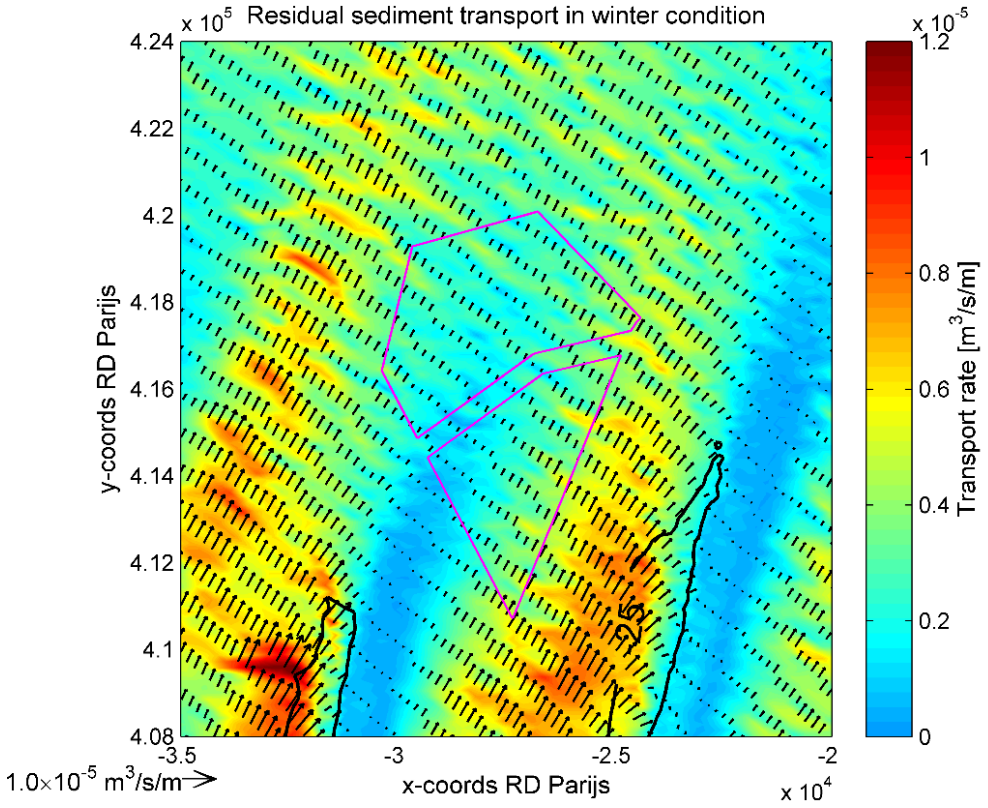
Het meeste transport vindt plaats op de Blighbank en de Oosthinder, en de zandduinzones in het verlengde ervan, waar ook het maximale residueel watertransport optrad (Figuur 5-26). Tijdens de gesimuleerde wintercondities (met bijkomend 1-jarig golfklimaat naast getijvariatie) wordt het sedimenttransport in die zones versterkt. Het residueel sedimenttransport is er noordoostelijk gericht (vloedrichting). In de tussenliggende geul, ter hoogte van de Mermaid concessie en in de westelijke helft van de Northwester 2 concessie is het residueel sedimenttransport zeer klein.

De zones met het grootste residueel sedimenttransport stemmen overeen met de zones met vloedasymmetrische zandduinen in Figuur 5-28 en zoals waargenomen langsheen de bodemprofielen. De waargenomen ebasymmetrische duinen, nl. het centrale deel van de geul tussen Blighbank en Oosthinder (centraal in Northwester 2) en in het overgrote deel van de Mermaid concessie, komen niet direct overeen met het gemodelleerde residuele sedimenttransport. De richting van het gemodelleerde residuele sedimenttransport in het overeenkomstige gebied is niet ebgericht, maar de waardes zijn wel klein en niet dominant vloedgericht.

Het sedimenttransport in de gebieden is vrij klein, maximum 4,4.10^{-5} m^3/s/m tijdens springtij zomercondities in Northwester 2 en 3,4.10^{-5} m^3/s/m in Mermaid. Tijdens wintercondities (storm) is het maximaal sedimenttransport in het Northwester 2 gebied 8.10^{-5} m^3/s/m tijdens springtij en in Mermaid 7.10^{-5} m^3/s/m.

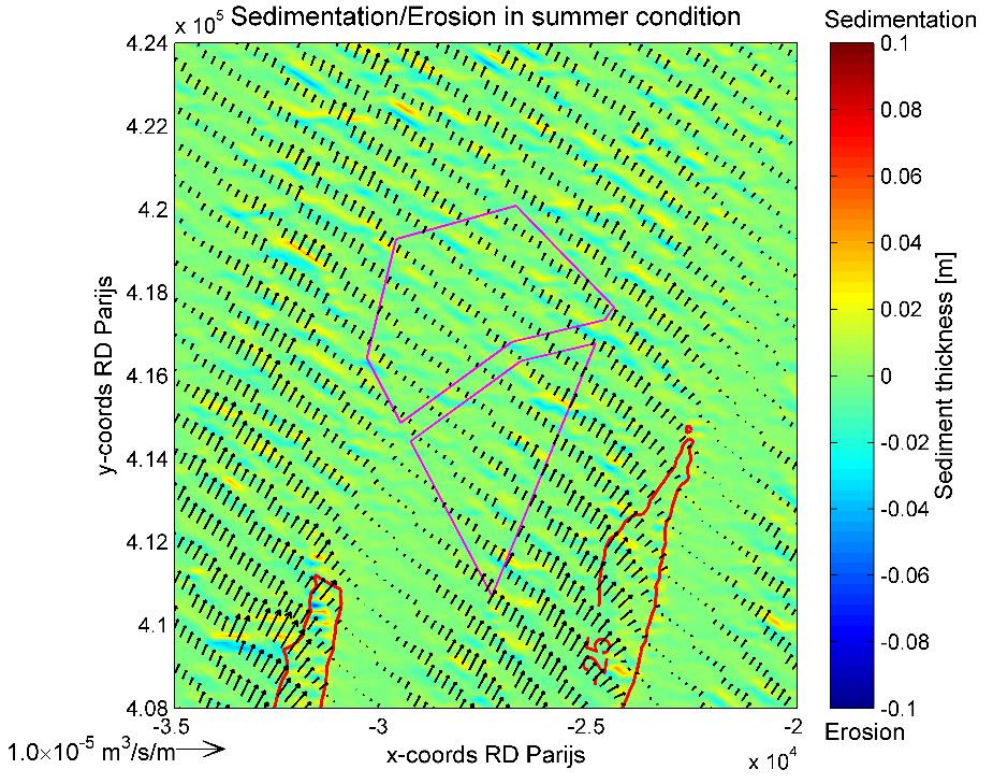


Figuur 5-29 Residueel sedimenttransport over een doodtij-springtij cyclus voor zomercondities

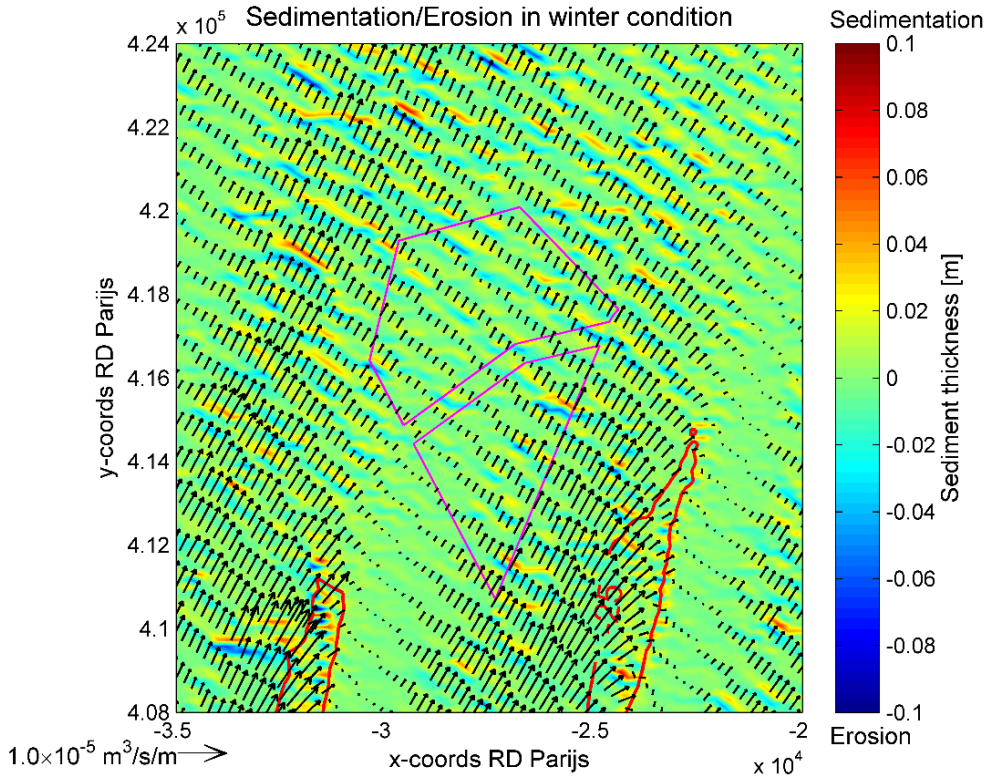


Figuur 5-30 Residueel sedimenttransport over een doodtij-springtij cyclus voor wintercondities

De uiteindelijk zones met erosie en depositie worden gevisualiseerd in Figuur 5-31 en Figuur 5-32. Ter hoogte van de Blighbank en de Oosthinder is er duidelijk meer erosie en sedimentatie tijdens zowel zomer- als stormcondities. Beide concessiezones zijn morfologisch redelijk stabiel. Over een doodtij-springtij cyclus is de verandering in diepte beperkt tot 0,04 m en 0,05 m in reps. Mermaid en Northwester 2 tijdens zomercondities. Tijdens wintercondities is dit resp. 0,05 m en 0,07 m.



Figuur 5-31 Erosie-sedimentatiepatronen over een doodtij-springtij cyclus voor zomercondities



Figuur 5-32 Erosie-sedimentatiepatronen over een doodtij-springtij cyclus voor wintercondities

5.1.2.7 Waterkwaliteit

5.1.2.7.1 Fysico-chemische parameters

Er worden in de BMDC-databank temperatuurwaarden teruggevonden tussen 1°C en 20°C (BMM, 2014a). De gemiddelde watertemperatuur in het BDNZ is ongeveer 11°C. Er treden dus seizoenale variaties op met een grootteorde van 9 à 10°C ten opzichte van de gemiddelde temperatuur. Van oktober tot maart is de temperatuur van het water hoger aan de bodem dan aan het wateroppervlak (maximaal 0,6°C hoger aan de bodem), maar vanaf maart wordt het wateroppervlak warmer dan de waterkolom t.h.v. de zeebodem door de stijgende luchttemperaturen.

Gebaseerd op data uit de BMDC-databank varieert saliniteit tussen 26 en 36 ppt (BMM, 2014a). De saliniteit in het BDNZ bedraagt gemiddeld 31-35 g/kg. Er is een lichte seizoenale variatie door de invloed van de riviertoevoer (OSPAR, 2000). De saliniteit aan de zeebodem is hoger en constanter (32 ppt) dan aan het wateroppervlak (25 tot 31 ppt).

Men kan voor beide projectgebieden aannemen dat de natuurlijke concentraties aan metalen relatief laag zijn. Uit de BMDC databank (BMM, 2014a) haalt men de volgende gemeten waarden in open zee:

- zink 0,1 – 2,6 µg/l;
- kwik max. 0,001 µg/l;
- cadmium max. 0,035 µg/l;
- lood max. 0,31 µg/l;
- koper max. 1,0 µg/l.

Uit OSPAR (2000) haalt men de volgende richtwaarden voor open zee (niet specifiek voor de Noordzee):

- cadmium 10-50 ng/l;
- kwik 0,1-2 ng/l;
- lood 50-60 ng/l;
- koper 600-700 ng/l.

De teruggevonden waarden voor het BDNZ (als steekproef) liggen inderdaad in de grootte-orde van de richtwaarden voor open zee.

De belangrijkste organotinverbinding is tributyltin (TBT). Het is een biocide dat in het aquatische milieu als "antifouling" gebruikt wordt. De concentratie tributyltin offshore bedraagt <1 ng/l. De waarde in frequent gebruikte vaarroutes ligt opmerkelijk hoger en kan oplopen tot ca. 100 ng/l (OSPAR, 2000b). In de BMDC databank (BMM, 2014a) werd voor TBT geen specifieke recente waarde voor het BDNZ teruggevonden. Het gebruik van TBT is reeds verboden voor vaste structuren die zich volledig of gedeeltelijk onder water bevinden en vanaf 2008 mogen deze producten op geen enkel schip meer voorkomen.

De belangrijkste persistente organische componenten zijn PCB's (polychloorbifenyl) en PAK's (polycyclische aromatische koolwaterstoffen). Door hun lage oplosbaarheid is de concentratie in het water meestal laag en bovendien moeilijk te detecteren (Ecolas, 2008).

Bunkerolie en smeerolie zijn de belangrijkste bronnen van olievervuiling in de Noordzee. De olielozing afkomstig van boringen voor de offshore olie- en gasindustrie is over de laatste 10 jaar sterk gereduceerd (tot meer dan 80%). Deze afname is vooral het gevolg van een vervanging van oliegebaseerde boorkleien naar boorkleien die op water gebaseerd zijn.

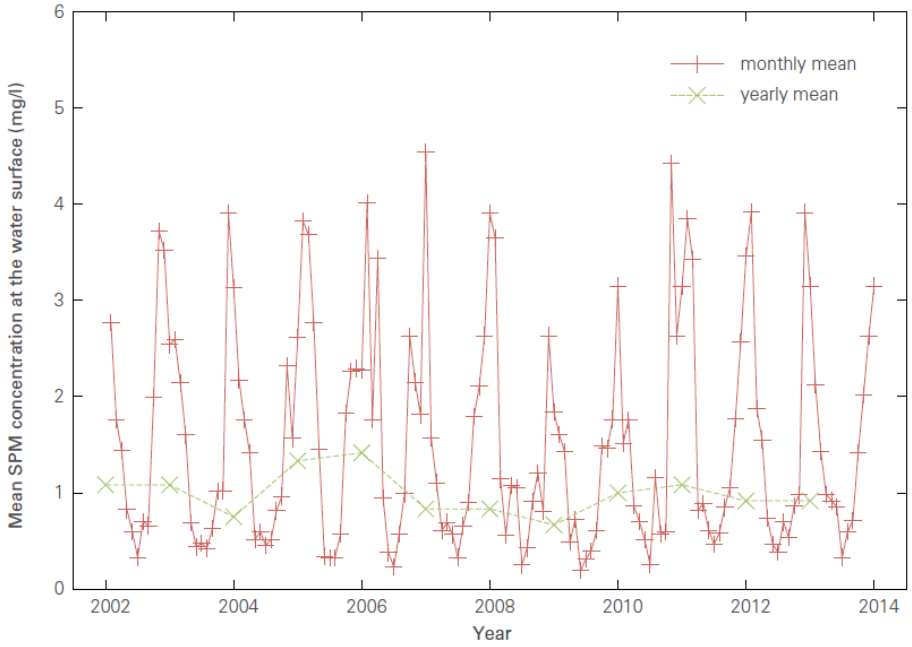
De aanvoer van stikstof (N) in het marien milieu kan op twee manieren plaatsvinden: via het water en via de atmosfeer. 65-80% van de nutriënteninput van stikstof in de Noordzee gebeurt via de rivieren. Voor fosfor (P) bedraagt dit zelfs 80-85% (OSPAR, 2000b). Nutriënten (N, P, Si) spelen een heel belangrijke rol in aquatische ecosystemen omdat ze aan de basis liggen van de primaire productiviteit. De zones die sterk beïnvloed zijn door menselijke activiteiten worden gekenmerkt door te hoge nutriëntenconcentraties en afwijkende nutriëntratio's. De menselijke invloed op de nutriëntenbalans is voornamelijk merkbaar ter hoogte van de kustzone en minder detecteerbaar ter hoogte van het projectgebied. De nutriëntenconcentratie is tijdens de winter hoger dan tijdens de zomer. Dit is het gevolg van de natuurlijke verhoogde periodieke algenontwikkeling (primaire productie) in de lente en zomer.

5.1.2.7.2 Turbiditeit en zwevend stof

De turbiditeit of helderheid van het zeewater wordt bepaald door de hoeveelheid zwevend (in suspensie) materiaal in het water. De lichtinval is sterk gecorreleerd met de hoeveelheid zwevend materiaal en fytoplankton in de waterkolom.

Volgens satellietbeelden, die de hoeveelheid zwevend stof in de bovenste waterlaag meten, is er een duidelijke ruimtelijke variatie in concentraties met een afname van de Belgische kust naar de zee toe. In het gebied van de Vlaamse Banken is er altijd een geringere gemiddelde concentratie (< 10 mg/l; Lauwaert *et al.*, 2004) dan ter hoogte van de kust (bijvoorbeeld Zeebrugge, waar de hoogste concentraties voorkomen) omwille van het zandige sediment. Specifieke informatie voor de 2 projectgebieden werd niet teruggevonden, maar monitoringscampagnes op de nabijgelegen Blighbank tonen een duidelijke seizoenale cyclus waarbij het zwevend stof gehalte aan het wateroppervlak in de winter (3-4 mg/l) hoger is dan in de zomermaanden (< 1 mg/l) (Figuur 5-33) (Van den Eynde *et al*., 2013).

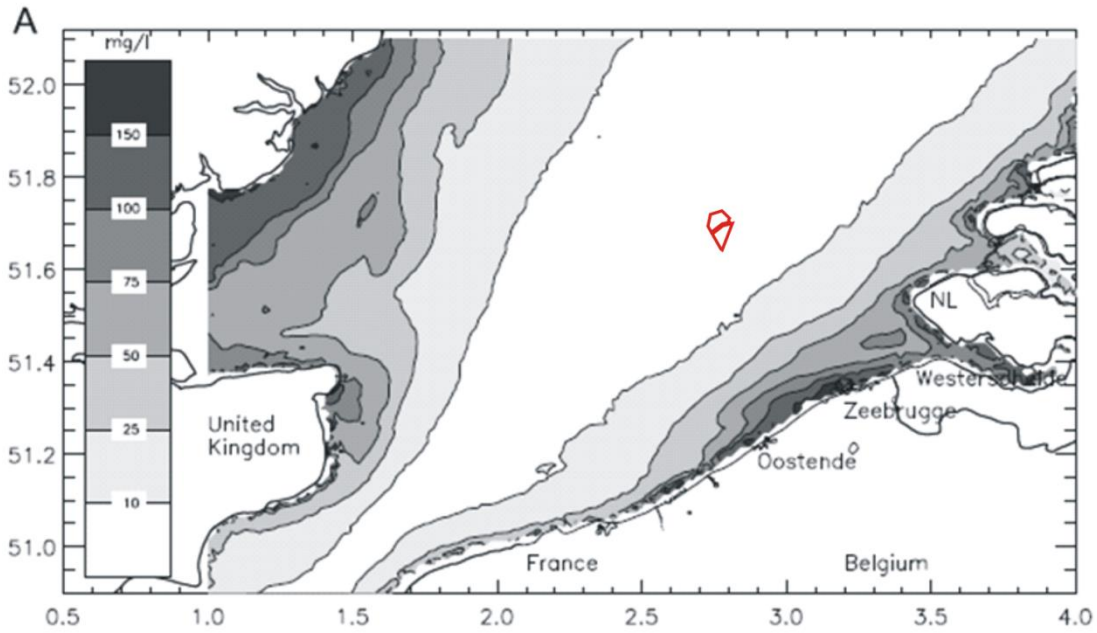
De jaarlijkse diepte-gemiddelde concentratie zwevend stof in weergegeven in Figuur 5-34 (Fettweis *et al*., 2010).



Figuur 5-33 Maandelijks en jaarlijks gemiddeld zwevend stofgehalte aan het wateroppervlak op de Blighbank op basis van de MODIS sensor (Van den Eynde et al., 2013)

Bij storm kunnen de maximumconcentraties tot 15 maal hoger liggen dan bij goed weer. Offshore liggen de maximale concentraties rond 300 mg/l maar ze treden slechts occasioneel op (onder stormcondities) (Fettweis *et al.*, 2005). In de BMDC-databank worden, als steekproef, concentraties aan zwevende stof in open zee teruggevonden tussen 1 en 412 mg/l (BMM, 2014a).

Concentraties zijn normaliter lager in lente en zomer dan in winter en herfst, voornamelijk door de variatie van toevoer via de Straat van Dover, meer storm in de winter en een snellere bezinkingssnelheid van sedimentvlokken bij hogere temperatuur (Fettweis *et al.*, 2005).



Figuur 5-34 Jaarlijkse en diepte-gemiddelde SPM concentratie (Suspended Particulate Matter) (mg/l) (naar Fettweis et al., 2010)

5.1.3 Autonome ontwikkeling

Getijdenbanken zijn stabiele structuren die zich begonnen te vormen ongeveer 7.000 jaar geleden toen het getijklimaat vergelijkbaar werd met het huidige. Getijdenbanken zijn voornamelijk opgebouwd uit materiaal dat lokaal aanwezig was. Dit blijkt uit het sterk erosieve karakter van de basis van de getijdenbanken (Mathys, 2009). De banken blijven nu bestaan in een dynamisch evenwicht door lokale herschikking van materiaal (BMM, 2006b).

De klimaatverandering zal zorgen voor veranderingen in de stromingskarakteristieken op het BDNZ (Van den Eynde *et al.*, 2009) en in de chemische eigenschappen van het zeewater. Zelfs op de termijn van de exploitatie periode zullen al veranderingen merkbaar zijn. Zo wordt bijvoorbeeld een algemene zeespiegelstijging ten gevolge van het broeikaseffect verwacht van 1 m tegen 2100 (Reid *et al.*, 2011).

Een toename van extreme stormen zal een invloed hebben op de sedimentdynamiek aangezien sedimenttransport in grote mate plaatsvindt tijdens extreme hydraulische condities. Analyses uitgevoerd door Van den Eynde *et al.* (2012) toonden geen significante toename in het voorkomen van extreme windsnelheden. Ook een toename in golfhoogte, het aantal stormen en de stormintensiteit is nog onzeker voor de Belgische kustwateren.

Mogelijke veranderingen in de hydrodynamica (zeespiegel, stormen) worden al beschouwd in het kader van ontwerpen van kustverdediging en windturbinefunderingen. Er is echter nog geen consensus over potentiële invloed van klimaatverandering op de morfodynamische stabiliteit van de zandbanken en naastliggende geulen in de Noordzee. Bijkomend wetenschappelijk onderzoek en duidelijker scenario's zijn noodzakelijk alvorens de complexe invloeden volledig kunnen begroot worden in het kader van een MER.

Er wordt niet verwacht dat de verdere bouw en exploitatie van de windparken in de buurt op de Blighbank, de Lodewijkbank en tussenliggende geulen een invloed zal hebben op de hydrodynamische karakteristieken, de bodemgesteldheid of de waterkwaliteit van de hier beschouwde concessiezones (Van den Eynde *et al.*, 2010). Ook vanuit andere socio-economische actoren actief in het BDNZ, zoals de mogelijke bouw van een eiland op de Lodewijkbank, wordt er geen impact verwacht de volgende jaren op de geologische, morfologische of watergebonden aspecten binnen de Mermaid en Northwester 2 projectgebieden.

Verder kan verwacht worden dat de antropogene invloed op de waterkwaliteit in het mariene milieu verder zal dalen. Bijvoorbeeld zouden de concentraties aan TBT, zware metalen, nutriëntentoevoer via rivier, etc. een positieve dalende trend moeten tonen in de toekomst. Deze trend is voornamelijk het gevolg van een strengere wetgeving en beleidsmaatregelen (vb. verbod op gebruik TBT, Kaderrichtlijn Water, Kaderrichtlijn Mariene Strategie, mestactieplan, etc.). Voor een uitvoeriger beschrijving per parameter kan verwezen worden naar (Ecolas, 2006).

5.1.4 Effecten

De volgende parameters kunnen potentieel effecten ondervinden van de constructie, exploitatie en ontmanteling van de windparken en bijhorende bekabeling:

- geologie
- morfologie
- sedimentsamenstelling (korrelgrootteverdeling),
- sedimenttransport
- bodemkwaliteit (chemische samenstelling),
- hydrodynamica (stromingskarakteristieken: waterdiepte, golfhoogte, stroomsnelheden)
- waterkwaliteit (fysico-chemische samenstelling),
- turbiditeit

5.1.4.1 Effecten op bodem

5.1.4.1.1 Constructiefase

Mermaid en Northwester 2 voorzien drie mogelijke alternatieve funderingstypes: de monopile (MP), de jacket fundering (JF) en de gravitaire fundering (GBF), met als alternatief voor het heien van de palen bij monopile en jacket funderingen de suction bucket techniek.

Indien gekozen wordt voor een statische erosiebescherming bij de monopiles, zou eerst een nivellering van de zeebodem moeten gebeuren op de zones met grote zandduinen tot op de diepte van het RSBL. In dit MER wordt er vanuit gegaan dat dit het geval zal zijn voor ongeveer de helft van de monopile funderingslocaties (worst-case scenario).

Het gebaggerde zand mag niet commercieel gebruikt worden en dient binnen het concessiegebied gestockeerd te worden. Bij de andere helft van de monopile locaties wordt uitgegaan van een dynamische erosiebescherming waarbij voorafgaand aan de plaatsing niet genivelleerd dient te worden. Na plaatsing van de monopile wordt er op alle monopile locaties een erosiebescherming aangebracht.

Gelet op de geotechnische karakteristieken van de lokale zeebodem (er wordt op delen van het concessiegebied een minder dikke Quartaire zandafdekking verwacht) wordt ook op alle locaties met jacket funderingen een dynamische erosiebescherming voorzien in dit MER als worst-case benadering. Dikwijls wordt genivelleerd op locaties met grote mobiele zandduinen indien geen erosiebescherming wordt aangebracht. Maar gelet op het permanente karakter van een erosiebescherming is de impact van erosiebescherming groter dan bij nivelleren.

Bij het plaatsen van gravitaire funderingen wordt eerst een funderingsput uitgebaggerd, dit zand wordt tijdelijk elders gestockeerd. Na het aanbrengen van een funderingslaag wordt de GBF geplaatst, de funderingsput wordt verder heropgevuld (backfill) met het tijdelijk gestockeerd materiaal, waarna de GBF gevuld wordt met ballast. Indien geschikt gebeurt dit ook met het eerder gestockeerde materiaal. Nadien wordt een erosiebescherming aangebracht.

Berekening grondverzet en verstoorde bodemoppervlaktes tijdens constructie

De gebaggerde volumes en verstoorde oppervlaktes die gepaard gaan met elk type fundering staan samengevat in Tabel 5-4. Het totale grondverzet voor de basisconfiguratie en omhullende configuraties voor Mermaid en Northwester 2 zijn gegeven in resp. Tabel 5-5 en Tabel 5-6.

Tabel 5-4 Gebaggerd volume sediment en verstoorde bodemoppervlakte bij elke type fundering tijdens de constructiefase

Funderingstype		**MP**		**JF**	**GBF**
		Statische erosiebescherming	Dynamische erosiebescherming	Dynamische erosiebescherming	
Nivelleren of baggeren funderingsput	Verstoord volume	grondvlak: 30x60 m diepte put: 4 m hellingen: 1:5 en 1:8 = 19.000 m³	n.v.t	n.v.t	grondvlak: 50x80 m diepte put: 7,5 m hellingen: 1:5 en 1:8 = 90.000 m³
	Verstoord oppervlak	9.450 m²	n.v.t	n.v.t	26.350 m²
Stockage gebaggerd materiaal (-30% baggerverlies, Van den Eynde *et al.* 2010)	Volume gestockeerd	13.300 m³ (*)	n.v.t	n.v.t	63.000 m³ (**)
	Verstoord oppervlak 5 m stockage	2.660 m²	n.v.t	n.v.t	12.600 m²
	Verstoord oppervlak 1 m stockage	13.300 m²	n.v.t	n.v.t	63.000 m²

Funderingstype		MP		JF	GBF
Erosiebescherming	Verstoord oppervlak (afh. van diameter fundering)	707-1.104 m²	707-1.104 m²	900-3.600 m²	4.418 m²

(*) permanente stockage (**) tijdelijke stockage tot wanneer gebruikt voor backfill funderingsput en als ballast voor GBF, hierbij treden opnieuw baggerverliezen op van ca. 30% (Van den Eynde *et al.*, 2010)

Tijdens de uitvoeringswerken voor het C-Power windpark op de Thorntonbank werden verschillende multibeam surveys uitgevoerd om de gebaggerde en gestorte hoeveelheden materiaal te kunnen inschatten ten opzichte van een tijdstip T0, voor de uitvoer van de werken (Van den Eynde *et al.,* 2010).

Men constateerde dat na het baggeren van de funderingsputten ongeveer 400.000 m³ materiaal op de dumpingsgebieden was terechtgekomen (situatie T1), terwijl er bijna 579.000 m³ gebaggerd werd uit de funderingsputten. Dus ca. 31% van het gebaggerde materiaal was verdwenen na dumping. Ook bij het terug opvullen van de funderingsputten en de GBF met het gestockeerde materiaal ging opnieuw materiaal verloren. Na de werken waren er in het dumpingsgebied putten ontstaan ten opzicht van de situatie T0 (i.e. de situatie voor het dumpen van de 400.000 m³). Een extra 468.000 m³ zand was verdwenen ten opzichte van situatie T0. In totaal was dus 400.000 + 468.000 m³ materiaal verdwenen. Daarvan werd slechts 588.000 m³ gebruikt voor de backfill en infill, dus opnieuw ging 32% verloren door bagger- en dumpingsverliezen.

In de veronderstelling dat in de Mermaid en Northwester 2 parken gelijkaardig materiaal zal gebaggerd worden, wordt ook in dit project rekening gehouden met bagger- en dumpingsverliezen van ca. 30%. Per GBF zou dit neerkomen op ca. 27.000 m³ sediment verlies na baggeren en stockeren. Het gestockeerde materiaal zal gebruikt worden voor backfill van de funderingsput (ca. 60.000 m³) en infill van de fundering (ca. 2.000 m³) (DEME, 2008). Rekening houdend met een bagger- en dumpingsverlies van 30% op de oorspronkelijk uitgebaggerde 90.000 m³ (stockage van 63.000 m³ per GBF) zou in het ideale geval slechts 1.000 m³ materiaal per GBF permanent dienen gestockeerd te worden. Bij het hergebruiken van het gestockeerde materiaal treden opnieuw bagger- en dumpingsverliezen op. Rekening houdend met verliezen van 30% zal per fundering ongeveer 88.600 m³ gebaggerd moeten worden om aan de vereiste 62.000 m³ backfill en infill te komen. Ca. 26.600 m³ sediment gaat verloren per GBF.

De Quartaire zandige deklaag is vanzelfsprekend minder dik dan op de Thortonbank. Indien de Quartaire deklaag dunner is dan 7,5 m, en de stevige Tertiaire lagen eerder bereikt worden, dan kan de funderingsput voor de GBF fundering minder diep gemaakt worden en moet er minder zand gebaggerd en gestockeerd worden. De hier berekende waarden gaan dan ook uit van het worst case scenario.

Tabel 5-5 Het totale grondverzet en de verstoorde oppervlaktes voor de basisconfiguratie en de omhullende configuraties tijdens de constructiefase van het Mermaid windpark

Configuratie Mermaid	Funderingstype		Totaal gebaggerd volume (m^3)	Totaal verstoorde opp. bij baggeren (m^2)	Totaal gestockeerd volume (m^3)	Totaal verstoorde opp. (stockage 5m) (m^2)	Totaal verstoorde opp. door erosie-bescherming (m^2)
Basisconfiguratie (38 turbines + 1 OHVS)	MP	50% Statische	380.000	189.000	266.000	53.200	43.100
		50% Dynamische	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	
	JF	Dynamische	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	62.400
	GBF		3.510.000	1.027.700	2.457.000	491.400	172.300
Configuratie 1 (80 turbines + 1 OHVS)	MP	50% Statische	779.000	387.500	545.300	109.100	57.300
		50% Dynamische	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	
	JF	Dynamische	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	72.900
Configuratie 2 (38 turbines + 1 OHVS)	JF	Dynamische	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	97.500
	GBF		3.510.000	1.027.700	2.457.000	491.400	172.300
Configuratie 3 (24 turbines + 1 OHVS)	JF	Dynamische	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	90.000
	GBF		2.250.000	658.800	1.575.000	315.000	110.500

Tabel 5-6 Het totale grondverzet en de verstoorde oppervlaktes voor de basisconfiguratie en de omhullende configuraties tijdens de constructiefase van het Northwester 2 windpark

Configuratie NW2	Funderingstype		Totaal gebaggerd volume (m^3)	Totaal verstoorde opp. bij baggeren (m^2)	Totaal gestockeerd volume (m^3)	Totaal verstoorde opp. (stockage 5m) (m^2)	Totaal verstoorde opp. door erosie-bescherming (m^2)
Basisconfiguratie (35 turbines + 1 OHVS)	MP	50% Statische	342.000	170.100	239.400	47.900	39.700
		50% Dynamische	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	
	JF	Dynamische	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	57.600
	GBF		3.240.000	948.600	2.268.000	453.600	159.000
Configuratie 1 (70 turbines + 1 OHVS)	MP	50% Statische	684.000	340.200	478.800	95.800	50.200
		50% Dynamische	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	
	JF	Dynamische	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	63.900
Configuratie 2 (37 turbines + 1 OHVS)	JF	Dynamische	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	95.000
	GBF		3.420.000	1.001.300	2.394.000	478.800	167.900

Configuratie NW2	Funderingstype		Totaal gebaggerd volume (m³)	Totaal verstoorde opp. bij baggeren (m²)	Totaal gestockeerd volume (m³)	Totaal verstoorde opp. (stockage 5m) (m²)	Totaal verstoorde opp. door erosie-bescherming (m²)
Configuratie 3 (22 turbines + 1 OHVS)	JF	Dynamische	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	82.800
	GBF		2.070.000	606.100	1.449.000	289.800	101.600

Optimale locatie, oppervlakte en hoogte van de stockage

Het zandoverschot vrijgekomen bij nivellering van monopile locaties en het baggeren van funderingsputten bij GBF moet (tijdelijk bij GBF, permanent bij MP en JF) gestockeerd worden op een zodanige locatie dat de globale morfodynamiek van het gebied zo minimaal mogelijk wordt gewijzigd. Er wordt vanuit gegaan dat stockage binnen het concessiegebied wordt uitgevoerd.

De maximale hoogte van de stockage is best in dezelfde grootteorde als de natuurlijke zandduinen in het gebied, en op een zo klein mogelijk oppervlak zodat de oppervlakte waarbinnen het benthos verstoord wordt, minimaal is (BMM, 2006a, BMM, 2007). Door te kiezen voor een stockage hoogte van 5 m wordt voldaan aan beide voorwaarden.

Verder wordt gesuggereerd om de zandhopen zo te plaatsen dat ze eventueel door het natuurlijk transport terug in de richting van de putten worden gevoerd. Om dit na te gaan kunnen eventueel de resultaten van monitoring in een eerste fase gebruikt worden voor de stockagelocatie in latere fasen of kan een sedimenttransportmodellering van de situatie met zandhopen een uitkomst bieden. De stortlocatie wordt best zo dicht mogelijk bij de te installeren windturbines gekozen en opwaarts van de overheersende stromingsrichting, zodat het gestockeerde zand via de overheersende stromingen de kans krijgt zich te verspreiden over het concessiegebied alvorens verder getransporteerd te worden. In Mermaid en centraal in Northwester 2 is de overheersende sedimenttransportrichting ebgericht (op basis van asymmetrie duinen) en zou de stortlocatie best ten NO van de windturbines gekozen worden. Langs de oostelijke rand van Northwester 2 is de sedimenttransportrichting overheersend vloedgericht en zou de stortlocatie best ten ZW van de windturbines gekozen worden. Deze differentiatie zal operationeel echter zeer moeilijk te maken zijn. Het gemodelleerde natuurlijk residueel sedimenttransport in de gebieden (zonder stockage of funderingsputten) is slechts in de grootteorde van $6{,}0\times10^{-6}$ tot $7{,}5\times10^{-6}$ $m^3/s/m$ over een springtij-doodtijcylus tijdens stormcondities.

Bovendien vermeldt de BMM (2006a) dat de stabiliteit van putten, maar ook van kunstmatige zandhopen relatief groot is. Het deficit op de Thorntonbank, na backfill en infill van de GBF liet een put na die stabiel bleek te zijn gedurende een monitoringperiode van 8 maand (oktober ’08 - juni ’09) (Van den Eynde *et al.,* 2010). Een dergelijke stabiliteit van zandputten werd ook aangetoond na zandextractie op de Kwintebank (Degrendele *et al.*, 2003).

De optie om te stockeren per turbine wordt – ondanks een relatief grotere oppervlakte-inname – zowel vanuit morfologisch oogpunt (snellere verspreiding vanuit kleine hopen zand) als vanuit werk-technisch oogpunt (korte afstand tussen bagger- en losplaats) niet afgeschreven.

Tenslotte wordt vermeld dat het nodig kan zijn bij ontmanteling de gestockeerde zandhopen – indien deze stabiel blijken op lange termijn of zich naar ongewenste regio’s verplaats hebben – terug te gaan winnen en terug te storten ter hoogte van de ontmantelde windturbines.

Invloed op geologie

Bij het funderingstype 'monopile' wordt enkel zeebodemmateriaal verwijderd waar een statische erosiebescherming zal aangebracht worden. Dit geldt voor de helft van het aantal monopile funderingen, ongeacht de configuratie, met name deze waar steile zandduinen of uitlopers ervan niet vermeden kunnen worden. Het wegbaggeren gebeurt over een dikte van ongeveer 4 m (worst-case scenario), tot het stabiel geachte uitgravingspeil, en zal dus enkel de Quartaire deklaag beïnvloeden. Deze toplaag wordt gemodelleerd onder de huidige hydrodynamische processen en is dus geologisch gezien van weinig belang.

Het totaal verstoorde oppervlak in Mermaid door baggeren voor het maximaal aantal statische monopiles, i.e. 41 (conf.1) is ca. 387.500 m² of 38,8 ha. Het gedumpte zand neemt, rekening houdend met bagger- en dumpingsverliezen, ca. 10,9 ha in wanneer het gestockeerd wordt met een dikte van 5 m, overeenkomend met de gemiddelde hoogte van de aanwezige zandduinen.

Het totaal verstoorde oppervlak in het Northwester 2 projectgebied door baggeren voor het maximaal aantal statische monopiles, i.e. 36 (conf.1) is ca. 340.200 m² of 34 ha. Het gedumpte zand neemt, rekening houdend met bagger- en dumpingsverliezen, ca. 9,6 ha in wanneer het gestockeerd wordt met een dikte van 5 m, overeenkomend met de gemiddelde hoogte van de aanwezige zandduinen. De dikte van het Quartaire pakket wordt dus in beide concessies over een kleine oppervlakte gewijzigd. Het effect is verwaarloosbaar (0/-).

Bij gravitaire funderingen wordt een funderingsput uitgebaggerd van 7,5 m diep om de stabiliteit van de GBF's te kunnen garanderen. Indien het Quartaire dek minder is dan 7,5 m, hoeft de funderingsput minder diep uitgebaggerd te worden omdat de gecompacteerde Paleogene lagen voldoende stabiliteit bieden. Opnieuw wordt enkel het Quartair beïnvloed. In de Mermaid en Northwester 2 gebieden komen evenwel naast de Holocene recente sedimentlagen, vermoedelijk ook oudere afzettingen voor van Pleistocene ouderdom (Eem) in een oude rivierinsnijding. Het totaal verstoorde oppervlak door baggeren voor gravitaire funderingen is ca. 66-103 ha in de Mermaid concessie en ca. 61-100 ha in de Northwester 2 concessiezone. Het gedumpte zand neemt, rekening houdend met bagger- en dumpingsverliezen, ca. 31,5-49,1 ha in wanneer het gestockeerd wordt met een dikte van 5 m in Mermaid en ca. 29,0-47,9 ha in Northwester 2. Het effect wordt als gering negatief beoordeeld (0/-).

Bij het uitgraven van de funderingsputten wordt een deel van het oorspronkelijke voorkomende bodemmateriaal weggehaald en komen oudere geologische lagen aan het oppervlak te liggen. Het gaat in principe enkel om een relatief korte verplaatsing van het vrijkomende materiaal, want de funderingsputten worden nadien opnieuw opgevuld met het verwijderde materiaal. Bij het toepassen van grondverbeteringstechnieken wordt de fysische aard van het geologische materiaal wel definitief gewijzigd. Dit effect wordt beoordeeld als zijnde verwaarloosbaar (0/-).

Verder is het enige effect dat de geologische lagen tot een diepte van ca. 33-35 m (monopile) en ca. 20-55 m (jacket fundering) in de onmiddellijke omgeving van de paal gecompacteerd (verdicht) worden, en dat de continuïteit van de geologische lagen verloren gaat. Gezien het Quartair dek in de Mermaid en Northwester 2 gebieden niet veel dikker is dan 16 m zal elke geheide paal eindigen in het Paleogeen substraat, meer bepaald in een klei-, zand- of kleihoudende zandlaag van de Formatie van Maldegem. Dit effect wordt als verwaarloosbaar beoordeeld (0/-).

Invloed op morfologie

Zoals reeds aangehaald wordt, bij het plaatsen van statische erosiebescherming voor monopiles en gravity based funderingen een deel van de zeebodem weggebaggerd. In het geval van monopile is dit een permanente verlaging van de bathymetrie van ongeveer 4 m. In geval van GBF wordt de funderingsput van 7,5 m diep na plaatsing van de fundering opnieuw opgevuld met funderingslagen, al zal de natuurlijke morfologie niet in zijn oorspronkelijke staat hersteld worden. Veranderingen in morfologie kunnen de locale stromingspatronen veranderen. Het effect wordt als lokaal en dus te verwaarlozen beschouwd (0/-).

Bij monopile neemt het permanent gedumpte zand in Mermaid, rekening houdend met bagger- en dumpingsverliezen, ca. 5,3 ha (basisconf.) tot 10,9 ha (conf. 1) in wanneer het gestockeerd wordt met een dikte van 5 m. In Northwester 2 neemt het permanent gedumpte zand ca. 4,5 ha (basisconf.) tot 9,6 ha (conf. 1) in wanneer het gestockeerd wordt met een dikte van 5 m. Mocht het te stockeren zand gelijkmatig verdeeld worden over de volledige oppervlaktes van de resp. concessiegebieden (Mermaid 16,26 km² en Northwester 2 15,16 km²) dan zou dit diktes geven van ca. 3 cm voor zowel Mermaid als Northwester 2, in de grootteorde van de gemodelleerde natuurlijke sedimentatie (4-5 cm in Mermaid en 5-7 cm in Northwester 2) (IMDC, 2014a). Deze morfologische veranderingen door stockage worden als verwaarloosbaar beschouwd (0/-).

Bij GBF is het tijdelijk ingenomen oppervlak in Mermaid 31,5 tot 49,1 ha, in Northwester 2 29,0 tot 47,9 ha wanneer gestockeerd over een dikte van 5 m. Mocht het te stockeren zand gelijkmatig verdeeld worden over de volledige oppervlaktes van de resp. concessiegebieden dan zou dit verspreid worden met een laagdikte van 15-16 cm, voor de worst case scenario's met gravitaire funderingen (resp. Mermaid basisconf. en conf. 2 1: 2.457.000 m³ en Northwester 2 conf. 2: 2.394.000 m³). In de praktijk zal een dergelijke gelijkmatige verdeling niet uitgevoerd worden, maar ten titel van vergelijking met natuurlijke transportvolumes wordt dit meegegeven. De gemodelleerde natuurlijke sedimentatie in de gebieden is slecht 4-5 cm in Mermaid en 5-7 cm in Northwester 2 voor een doodtij-springtijcyclus (IMDC, 2014a).

Voor GBF zijn de uitgespreide diktes niet te verwaarlozen, maar het gaat hier om een tijdelijk fenomeen. Het gestockeerde materiaal zal gebruikt worden voor backfill van de funderingsput en infill van de fundering. Rekening houdend met een bagger- en dumpingsverlies zou in het ideale geval slechts 1.000 m³ materiaal per GBF permanent dienen gestockeerd te worden. Bij het hergebruiken van het gestockeerde materiaal treden opnieuw bagger- en dumpingsverliezen op. Dus voor het opvullen van de funderingsputten en de GBF zal meer materiaal nodig zijn dan wat gestockeerd werd, zoals het geval was bij C-Power op de Thorntonbank (Van den Eynde *et al.*, 2010). Ca. 25.600 m³ sediment zal extra gebaggerd moeten worden per GBF bovenop de gestockeerde 63.000 m³ om aan voldoende materiaal voor backfill en infill te komen. In de worst case scenario's bij Mermaid (basisconfig. en config. 2) resulteert dit in een tekort van 39 x 25.600 m³ of ca. 998.400 m³ materiaal dat extra gebaggerd zal moeten worden. Bij Northwester 2 zal ca. 38 x 25.600 m³ of ca. 972.800 m³ materiaal extra gebaggerd worden bij config. 2. Verdeeld over het hele concessiegebied zou dit resulteren in een bodemverlaging van 6 cm bij Mermaid en Northwester 2 ten opzichte van de situatie voor het tijdelijk stockeren. In vergelijking met de gemodelleerde morfologische evolutie (4-5 cm in Mermaid en 5-7 cm in Northwester 2) is dit in dezelfde grootteorde. Ook bij GBF funderingen worden de morfologische veranderingen dan ook als gering negatief beschouwd (0/-).

Invloed op korrelgrootteverdeling en sedimenttransport

Bij het nivelleren van de statische monopile locaties en het baggeren van de funderingsputten voor gravitaire funderingen kan door het wegnemen van het materaal onderliggend sediment aan het oppervlak komen met een andere korrelgrootte. In geval van MP is dit een permanente situatie. Er zal getracht worden het verwijderde materiaal zodanig te stockeren dat het op natuurlijk wijze opnieuw rond de MP en JF sedimenteert. Uit literatuur blijkt dat stockage zandhopen redelijk stabiel blijven en er geen natuurlijk hersedimentatie optreedt. Sowieso kan het gebied rondom de MP zich niet helemaal herstellen door de plaatsing van de erosiebescherming. Het gebied waar door baggeren op MP locaties de korrelgrootteverdeling mogelijk verstoord is, is 38,8 ha (conf. 1 bij Mermaid) en 34,0 ha (conf. 1 bij Northwester 2). De verandering in bodemsamenstelling door plaatsing van erosiebescherming bij MP (diameter kleiner dan het genivelleerde gebied) is in Mermaid maximaal 5,7 ha (conf. 1).

In Northwester 2 is het oppervlak waarover de bodemsamenstelling veranderd 5,0 ha (conf. 1) door plaatsing erosiebescherming rond de MP. Het effect wordt bij MP als gering negatief beschouwd (0/-).

Bij JF wordt niet genivelleerd maar een dynamische erosiebescherming aangebracht op alle locaties, waarbij de diameter ca. twee keer de footprint van de JF is. In Mermaid komt dit neer op een oppervlakte van maximaal 9,8 ha (conf. 2), bij Northwester 2 is dit maximaal 9,5 ha (conf. 2). Ondanks de grotere afmetingen van de erosiebescherming dan bij MP wordt ook het effect bij JF als gering negatief beschouwd (0/-).

In geval van GBF is het dagzomen van onderliggende lagen een tijdelijke situatie, tot de funderingsputten opnieuw worden opgevuld met het gebeurlijk verbeterde ‘oorspronkelijke’ materiaal. Dit materiaal zal door het baggeren en dumpen echter sterk gemengd zijn en het fijnste materiaal zal er uit verdwenen zijn. Bovendien zal door het aanbrengen van de erosiebescherming opnieuw lokaal de korrelgrootteverdeling van de zeebodem veranderen.

Ook op de stockage locaties zal de korrelgrootte (tijdelijk) veranderen door dumping van nieuw materiaal. Het gebaggerde materiaal zal bestaan uit een mengeling van voornamelijk Holocene zanden, waarschijnlijk algemeen vermengd met een grindfractie (Basis-Quartair en Pleistoceen grind). Veranderingen in korrelgrootteverdeling zullen een invloed hebben op het sedimenttransport in het gebied. Bij het dagzomen van lagen met een kleinere korrelgrootte zal meer erosie en sedimenttransport optreden en omgekeerd, de erosie- en sedimentatiepatronen zullen veranderen. Bij GBF varieert het verstoorde gebied door baggeren bij Mermaid (afhankelijk van de gekozen configuratie) tussen 66 en 103 ha en het verstoorde gebied door stockage varieert tussen 32 ha en 49 ha. Bij Northwester 2 varieert het verstoorde gebied door baggeren (afhankelijk van de gekozen configuratie) tussen 61 en 100 ha en het verstoorde gebied door stockage varieert tussen 29 ha en 48 ha. De aangebrachte erosiebescherming bij GBF is kleiner dan de verstoorde zone door baggeren en is 11-17 ha en 10-17 ha in resp. Mermaid en Northwester 2.

Het belangrijkste effect is evenwel het sedimentverlies dat door baggeren en dumpen optreedt, bovenop de natuurlijke sedimenttransporten. Bij GBF zal ongeveer twee keer 30% van het gebaggerde materiaal verloren gaan. Dit komt neer op verliezen van 1,1 miljoen m³ sediment bij het graven van de funderingsputten en tijdelijke stockage van het materiaal in Mermaid en 1 miljoen m³ bij baggerwerken voor backfill en infill voor de worst case situaties (basisconfiguratie en configuratie 2: 39 GBF). In Northwester 2 worden verliezen van dezelfde grootteorde verwacht: nl. 1 miljoen m³ bij het graven van de funderingsputten en tijdelijke

stockage van het materiaal en 1 miljoen m³ bij backfill en infill voor de worst case situatie (configuratie 2: 38 GBF). Dit effect wordt als matig negatief beschouwd (-).

In de projectgebieden Mermaid en Northwester 2 is de Quartaire deklaag op sommige plaatsen behoorlijk dun, en kan door baggeren het Paleogeen substraat aan het oppervlak komen. De Paleogene lagen bestaan uit klei of kleihoudende zanden wat zou kunnen leiden tot een verhoogd sediment transport en verhoogde turbiditeit in de waterkolom. Deze lagen zijn evenwel gecompacteerd, dus de invloed zal eerder beperkt zijn op korte termijn (BMM, 2011b).

Invloed op bodemkwaliteit

De hypothetische kans op een accidentele lozing van verontreinigende stoffen in het water zal, gezien de heersende stromingscondities en het zandige karakter van de oppervlakkige bodemsedimenten geen aanleiding geven tot verontreiniging van de bodem (0).

Bij de aanleg van de erosiebescherming wordt enerzijds grind (kaliber 2-120 mm) gebruikt, anderzijds breuksteen (kaliber 50-540 mm). Bij het gebruik van geologisch zuivere materialen voor de erosiebescherming worden (vrijwel) geen effecten verwacht op de chemische bodemkwaliteit (0).

5.1.4.1.2 Operationele fase

Invloed op geologie

Tijdens exploitatie is er geen enkele activiteit die aanleiding kan geven tot een effect op de geologie. Enkel tussentijdse bestorting met breukstenen op de erosiebeschermingsvlakken kan gebeurlijk de hoeveelheid geologisch vreemd materiaal doen toenemen.

Invloed op morfologie, korrelgrootteverdeling en sedimenttransport

Rondom structuren treedt typisch ‘scouring’ op, i.e de vorming van een erosieput door veranderende stromingspatronen (Ecolas 2003, 2006). Een erosieput zal zeer snel gevormd worden met afmetingen die in essentie functie zijn van de stromingskarakteristieken, de korrelgrootte van de sedimenten en de vorm en afmetingen van de fundering.

Uit de berekeningen die onder meer in (Ecolas, 2003) worden vermeld, is het duidelijk dat de lokale erosie bij een monopile en gravitaire fundering zonder erosiebescherming zo groot zou zijn, dat het effect moet gemitigeerd worden en zelfs de stabiliteit van de gehele constructie op lange termijn zou kunnen ondermijnen.

Daarom wordt door de initiatiefnemers reeds bij aanleg onmiddellijk erosiebescherming voorzien bij zowel MP, JF als GBF. Het spreekt voor zich dat de grotere afmetingen bij gravitaire funderingen een grotere erosiebescherming vereisen dan bij paalfunderingen.

Door de erosiebescherming a priori aan te brengen worden erosiekuilen vermeden. Dergelijke erosiekuilen kunnen immers dimensies aannemen die de stabiliteit van de volledige windturbineconstructie in gevaar zouden brengen. Het aanbrengen van de erosiebescherming is dus een positieve maatregel voor de bodemstructuur en voor de bedrijfsvoering. Deze erosiebescherming vormt daarentegen een heterogeniteit in de zandige bodem. Doordat de erosiebescherming qua niveau onder het oorspronkelijke niveau van de zeebodem wordt geplaatst, vormt de erosiebescherming geen verticale doorbreking van de bodemstructuur; er kan zelfs verwacht worden dat zand zich op natuurlijke wijze zal verplaatsen bovenop de erosiebescherming.

Hoewel er lokaal ter hoogte van de windturbines een verstoring zal optreden van het natuurlijke sedimenttransport, zal dit amper enig effect hebben op de globale natuurlijke processen in het concessiegebied. Daarvoor is immers het effect van elke constructie – door de aanwezigheid van de erosiebescherming – te gering en de afstand tussen de windturbines te groot (Van den Eynde *et al*., 2013).

Het effect van de windturbines op de globale morfodynamiek van het BDNZ wordt als verwaarloosbaar beschouwd (0/-) voor de verschillende configuratiealternatieven.

Uitvoering in Mermaid en Northwester 2

Voor monopile funderingen zijn twee opties mogelijk. Indien de erosiebescherming zo snel mogelijk na het plaatsen van de fundering aangebracht wordt, wordt dit een 'statische' erosiebescherming genoemd. Indien toegelaten wordt dat er zich eerst een erosieput ontwikkeld in het geval van monopiles, die nadien opgevuld worden, dan spreekt men van een dynamische erosiebescherming. In het eerste geval dient de zeebodem genivelleerd te worden.

Er bestaan theoretische formules voor het berekenen van de minimaal vereiste bescherming (men veronderstelt dat de minimaal vereiste bescherming dezelfde dimensies moet aannemen van een erosieput die zou ontstaan zonder bescherming), die in essentie allemaal functie zijn van een karakteristieke afmeting van de fundering (IMDC 2009, Sumer & Fredsoe, 2002,Ecolas NV, 2003).

Om erosie rond de monopile fundering tegen te gaan, wordt rond elke monopile een erosiebescherming aangebracht met een dimensie van vijf keer de paaldiameter. Bij de basisconfiguratie en configuratie 1 komt dit neer op resp. ca. 1.060 m² en 680 m² rondom elke turbine. De opbouw van de erosiebescherming is in twee verschillende lagen:

- de filter layer is een onderlaag van grind met kaliber Dn50 = 50 mm, met een dikte tot ca. 100 cm.
- de amour layer, i.e. een toplaag van breukstenen van kaliber 15 tot 300 kg; Dn50 = 540 mm), met een dikte tot ca. 100 cm.

Bij keuze voor de jacket fundering wordt er in dit MER door Mermaid en Northwester 2 momenteel van uitgegaan dat op alle locaties een erosiebescherming aangebracht wordt. Rond elk van de locaties wordt een erosiebescherming aangebracht met een dimensie van twee keer de footprint van de JF. Bij de basisconfiguratie is dit een oppervlakte van 40x40 m, bij configuratie 1 30x30 m, bij configuratie 2 50x50 m en bij configuratie 3 60x60 m.

Bij keuze voor gravitaire fundering wordt een erosiebescherming aangebracht met een oppervlakte van ca. 2,5-3 keer de GBF doorsnede aan het zeebodemoppervlak. In het worst-case scenario, waarbij de diameter van de GBF aan de zeebodem 25 m is, komt dit neer op een oppervlakte van ca. 3.900 m² rondom de GBF. De opbouw van de erosiebescherming is in twee verschillende lagen:

- Filter layer met grind: laagdikte ca. 60 cm; kaliber 2-120 mm;
- Armour layer: steenbestorting met breuksteen: laagdikte ca. 70 cm; mengsel van 5-200 kg.

De erosie zal zich verplaatsen naar de grenszone tussen de zeebodem en de erosiebescherming, in stroomafwaartse richting (secundaire erosie). Om de secundaire erosie te minimaliseren mogen het grind of de stenen best niet boven de omringende zeebodem

uitsteken. De erosieput zal echter nooit de omvang krijgen van een erosieput die zou ontstaan zonder erosiebescherming. Indien wordt vastgesteld dat omwille van uitschuring van zand onder de stortlaag de stenen zettingen ondergaan, dienen de steenlagen aangevuld te worden.

Het aanbrengen van de erosiebescherming is enerzijds noodzakelijk voor de stabiliteit van de constructie en mitigeert anderzijds de effecten op bodem van lokale erosie door de aanwezigheid van een constructie. Hoewel de erosiebescherming op zich een lokale heterogeniteit vormt t.o.v. de zandige zeebodem, wordt het aanbrengen van de erosiebescherming beschouwd als een gering negatief effect voor het milieu (0/-).

Invloed op bodemkwaltieit

Net zoals bij de constructiefase, is er geen enkele aanleiding dat de exploitatie zal leiden tot verontreiniging van de bodem (effect = 0).

5.1.4.1.3 Ontmantelingsfase

Invloed op geologie

Verwijdering van de funderingen

Bij een monopile of jacket fundering die ingeheid werd zullen geen bijkomende effecten op de geologische bouw van de betreffende bodempakketten optreden gezien betreffende funderingen deels blijven zitten. In geval de suction bucket techniek gebruikt werd kunnen de funderingen zelfs volledig verwijderd worden.

Bij gravitaire funderingen wordt alles weggehaald en blijft, per turbine, een put over. Ook hier zullen geen bijkomende effecten optreden op de geologie ten opzichte van de constructie- en exploitatiefase.

Verwijdering van de erosiebescherming

De keuze over het al dan niet verwijderen van de erosiebescherming zal op het einde van de exploitatie bepaald worden.

Het enige effect op de geologische bouw in de afbraakfase is het al dan niet weghalen van het erosiebeschermingsmateriaal. Bij het verwijderen ervan wordt de oorspronkelijke geologische bouw hersteld. Het laten zitten ervan creëert een blijvend geologisch artefact per turbinelocatie op het Belgische deel van de Noordzee.

Invloed op morfologie, korrelgrootteverdeling en sedimenttransport

Verwijdering van de funderingen

Het verwijderen van de paalfunderingen heeft geen effect op de morfodynamiek. Indien de put die ontstaat, door de paalfundering tot ca. 2 m onder de zeebodem af te snijden, zich verder zou ontwikkelen door lokale erosie, wordt voorgesteld deze put op te vullen met zand of erosiebeschermingsmateriaal. Het zand kan eventueel afkomstig zijn van de gestockeerde zandhopen bij constructie indien deze stabiel blijken op lange termijn.

Bij gravitaire funderingen wordt alles weggehaald en blijft, per turbine, een put over. Uit literatuur blijkt dat putten redelijk stabiel zijn en zich niet snel natuurlijk herstellen (Van den Eynde *et al.*, 2010). Ook hier wordt voorgesteld deze op te vullen met zand, indien deze uitgraving zich verder zou ontwikkelen door lokale erosie.

Verwijdering van de erosiebescherming

De keuze over het al dan niet verwijderen van de erosiebescherming zal op het einde van de exploitatie bepaald worden.

Indien de bescherming niet verwijderd wordt, treden er tijdens de afbraakfase geen effecten meer op die zich niet al gemanifesteerd hebben tijdens de exploitatiefase. Hoogstwaarschijnlijk is de breuksteen al deels bedekt met zandig materiaal.

Indien de bescherming verwijderd wordt, zal er in essentie een put ontstaan met een diepte van ca. 1,3-2 m ter hoogte van elke fundering. Het herstelgedrag van dergelijke putten verloopt trager dan voor ondiepe baggersleuven. Ter vergelijking: het verdwijnen van baggersporen in gebieden met een relatief lage golfexpositie en gereduceerde getijstromingen kan tussen de 3 en 7 jaar duren (Kenny & Rees, 1996; Essink, 1998). In dynamische gebieden met meer mobiele zandsedimenten zoals de subtidale zandbanken op het BDNZ zouden de sporen verdwenen zijn in minder dan één jaar. Toch moet volgens Seys (2003) eerder gedacht worden aan een volledige herstelperiode van 4 jaar, des te meer om tegemoet te komen aan enig ecologisch herstel. Op de Kwintebank worden baggersporen reeds na drie maanden niet meer teruggevonden wegens opvullen met sediment in beweging (Arcadis, 2010). Een ontginningsput van 5 m diep op de Kwintebank is echter sinds de sluiting van het extractiegebied in 2003 nog steeds niet hersteld.

Het herstel van de funderingsputten is in ruimte en tijd niet in te schatten. De beste benadering kan gevonden worden door toepassing van aangepaste modelleringstechnieken zoals in Nederland toegepast (Roos, 2004).

Invloed op bodemkwaliteit

Net zoals bij de constructiefase en de productiefase, is er geen enkele aanleiding dat de ontmanteling zal leiden tot verontreiniging van de bodem, en dit voor alle Mermaid en Northwester 2 configuratiealternatieven (0).

5.1.4.1.4 WEC

Bij het Wavestar type WEC gebeurt de bevestiging in de bodem door middel van het heien van vier steunpalen, vergelijkbaar met monopile funderingen. Bij het Seabased type bestaat de WEC uit een betonnen gravitaire plaat met diameter van ca. 6 m die boven op de bodem geplaatst wordt en bij de overige types (Poseidon, Weptos, FlanSea en Lifesaver) worden de WEC's door middel van kettingen en een gewicht of ploeg aan de zeebodem bevestigd. Bij geen van de zes WEC types wordt nivellering overwogen voor het plaatsen.

Invloed op geologie

Het enige effect dat de geologie kan beïnvloeden is bij het WEC type Wavestar, waarbij in de onmiddellijke omgeving van de monopiles de bodem gecompacteerd (verdicht) worden, en waar door het inheien van de palen de continuïteit van de geologische lagen verloren gaat. Gezien het Quartair dek in het Mermaid gebied niet veel dikker is dan 16 m zullen sommige geheide palen eindigen in het Paleogeen substraat, meer bepaald in een klei-, zand- of kleihoudende zandlaag van de Formatie van Maldegem. Dit effect wordt als verwaarloosbaar beoordeeld (0/-).

Daar er geen nivellering voorzien wordt worden verder geen effecten verwacht op de geologie.

Invloed op morfologie, korrelgrootteverdeling en sedimenttransport

Aan de zeebodem kan er zich een geringe lokale verandering in de stroomsnelheid voordoen rond de verankering van de WEC's, die mogelijk kan leiden tot erosie. Deze impact zal kleiner zijn dan voor een fundering van een windturbine. Bovendien is de invloedszone van een dergelijke obstructie op de stroming nabij de bodem zo beperkt, dat er geen interferentie optreedt tussen de invloedsfeer van diverse WEC's op de stroming. Het effect van de WEC's op de globale morfodynamiek van het BDNZ wordt als verwaarloosbaar klein beschouwd (0/-) voor de verschillende types.

Daar er geen nivellering of baggerwerken overwogen worden bij de constructie van de WEC's zullen er geen noemenswaardige sedimenttransporten optreden (0).

Invloed op bodemkwaliteit

Er is geen enkele aanleiding dat de constructie, exploitatie of ontmanteling van WEC's zal leiden tot verontreiniging van de bodem (effect = 0).

5.1.4.1.5 Bekabeling

De parkkabels voor windturbines en WEC's zullen door middel van jetting op 1 m diepte geplaatst worden. De verbindingskabels naar Alpha (optie A en B) of de exportkabel naar de kust (fall-back scenario optie C) kunnen buiten de vaargeul door baggeren of jetten geplaatst worden op minimaal 1 m onder de zeebodem. Dus ook de optie van het baggeren van een sleuf langsheen de verbindingskabeltracés en het gehele exportkabeltracé wordt overwogen. In de vaargeul kan mogelijks een combinatie van baggeren en jetten of ploegen vereist zijn.

Berekening grondverzet tijdens plaatsing kabels

Hieronder volgt de berekening van het grondverzet indien de verbindingskabels (optie A en B) van Mermaid en Northwester 2 tot aan Alpha in een voorgebaggerde sleuf zullen geplaatst worden (worst-case optie).

Afhankelijk van de BBT status van 33-66 kV kabels, kunnen de turbines rechtstreeks aangesloten worden op Alpha met meerdere parallelle verbindingskabels (optie A). Hierbij gaan de respectievelijke clusters van windturbines, onderling verbonden via parkkabels op 33kV of 66kV, bij de laatste WTG over in de zogenaamde verbindingskabels op 66kV (4-6 parallelle kabels), die de link naar het offshore transformatorstation op Alpha realiseren.

Van Mermaid tot Alpha gaat het om maximaal 6 (66 kV) verbindingskabels van 20-22 km indien rechtstreeks op Alpha wordt aangesloten (optie A) of 1-2 verbindingskabels van ca. 20 km vanuit een OHVS in Mermaid (optie B). Van Northwester 2 tot Alpha gaat het om maximaal 4 (66 kV) verbindingskabels van 11,3-11,8 km indien rechtstreeks op Alpha wordt aangesloten (optie A) of 1-2 verbindingskabels van 11,8-15,5 km vanuit een OHVS in Northwester 2 (optie B).

Voor het leggen van de kabels op de vereiste dieptes zal er per kabel een sleuf gebaggerd worden ('trenchen') met bodembreedte 5 m, een breedte van 20 m aan het oppervlak en een diepte van 1,5 m. Het gebaggerde materiaal zal tijdelijk gestockeerd worden (via kleppen) in een zone aangeduid door de BMM (mogelijk Sector 3a). Na het kabelleggen zal het materiaal opnieuw opgepompt worden en gebruikt als 'backfill' (via pijpleiding).

Voor de verschillende opties staan de gebaggerde volumes en benodigde volumes voor backfill voor het maximaal aanwezige kabels samengevat in Tabel 5-4, rekeninghoudend met bagger- en dumpverliezen van 30% (Van den Eynde *et al.,* 2010).

Tabel 5-7 Gebaggerd en gestockeerd volume voor maximaal aantal kabels per optie en concessie

Worst-case scenario	Volume (1.000 m³)		Volume (1.000 m³)	
	Trenching	Benodigde backfill	Stockage (-30%)	oppompen voor backfill in toegewezen sector (+30% extra)
Mermaid optie A (6x22 km)	2.475	2.466	1.733	3.523
Mermaid optie B (2x20 km)	750	747	525	1.067
NW2 optie A (4x11,8 km)	885	882	620	1.260
NW2 optie B (2x15,5 km)	581	579	407	827

Voor het leggen van de verbindingskabels elk in een afzonderlijke sleuf, zal tot 2,5 miljoen m³ sediment gebaggerd worden voor Mermaid (optie A) en tot 0,9 miljoen m³ voor Northwester 2 in optie A (meerdere parallelle verbindingskabels rechtstreeks naar Alpha). De mogelijkheid bestaat dat meerdere parallelle verbindingskabels (optie A) in 1 sleuf gelegd worden, waardoor het te baggeren volume veel kleiner wordt. Ook in geval slechts 2 verbindingskabels getrenched worden tot Alpha (optie B) is het grondverzet veel kleiner: 750.000 m³ voor verbindingskabels van uit Mermaid en 580.000 m³ voor verbindingskabels van uit Northwester 2. Uit eerdere ervaringen op het C-Power project worden bagger- en dumpverliezen ingeschat van ca. 30% (voor zand), wat neerkomt op een verlies van ca. 742.000 m³ en 265.000 m³ materiaal voor resp. Mermaid en Northwester 2 (worst-case optie A). Door deze verliezen zal er niet voldoende materiaal op de tijdelijke stortzone achterblijven om de volledige backfill te kunnen voorzien, temeer indien opnieuw rekening wordt gehouden met 30% verliezen. Er zal ongeveer het dubbele gebaggerd dienen te worden van wat gestockeerd werd in de toegezegde zone (1,8 miljoen m³ en 640.000 m³ extra voor resp. Mermaid en Northwester 2). Bij het oppompen in de tijdelijke stortzone en de backfill zal opnieuw ca. 1 miljoen m³ en 0,4 miljoen materiaal verloren gaan voor resp. Mermaid en Northwester 2 (optie A).

Bij het fall-back scenario (optie C) worden de parken rechtstreeks met de kust verbonden met 1-2 exportkabels per park. De tracés vallen maximaal samen met de kabelcorridor van het BOG. Het grondverzet en de verwachtte milieueffecten van het baggeren van een kabelcorridor van Alpha tot de kust werd uitgebreid besproken in MER BOG (IMDC, 2013d). De berekeningsmethode uit MER BOG werd toegepast om tot onderstaande resultaten te komen (IMDC, 2014d). Het grondverzet voor één park zal kleiner zijn omdat in voorliggend MER maar maximaal 2 kabels per park overwogen worden in plaats van 3 in MER BOG (Alpha naar kust), vermeerderd met het grondverzet van optie B tot aan Alpha. Voor het stuk Alpha naar de kust zal ongeveer 8 miljoen m³ sediment gebaggerd dienen te worden voor twee kabels, de benodigde backfill is slechts 2,2 miljoen m³ (refill in Scheur is beperkt). Het te stockeren volume in de aangewezen zone zal ca. 5,6 miljoen zijn, en ongeveer 3,2 miljoen m³ sediment zal in de opslagzone gebaggerd moeten worden om de refill te kunnen voorzien (rekening houdend met verliezen).

Het totale grondverzet van Mermaid tot aan de kust (optie C) resulteert zo in 8,8 miljoen m³ bij het trenchen, benodigde backfill is bijna 3 miljoen m³, het te stockeren volume is 6,1 miljoen m³ en het te baggeren volume in de tijdelijke opslagzone is 4,2 miljoen m³.

Het totale grondverzet van Northwester 2 tot aan de kust (optie C) resulteert zo in 8,6 miljoen m³ bij het trenchen, benodigde backfill is ca. 2,8 miljoen m³, het te stockeren volume is 6 miljoen m³ en het te baggeren volume in de tijdelijke opslagzone is 4 miljoen m³.

Berekening verstoord oppervlak tijdens plaatsing kabels en stockage baggerspecie

Het verstoorde oppervlak aan de zeebodem door het trenchen van het maximaal aantal verbindingskabels (optie A en B), rekening houdend met de totale kabellengte (afhankelijk van aantal kabels) en de sleufbreedte (20 m) aan het oppervlak is samengevat in Tabel 5-8. In het fall-back scenario (optie C) zal het totaal verstoorde oppervlak ca. 290 ha zijn voor 2 exportkabels vanuit Mermaid (optie B + 2 kabels van BOG Alpha tot kust: 211 ha) en ca. 270 ha voor Northwester 2.

Tabel 5-8 Verstoord oppervlak voor maximaal aantal kabels per optie en concessie

	Tijdelijk verstoord oppervlak (ha)
Mermaid optie A (6x22 km)	264
Mermaid optie B (2x20 km)	80
NW2 optie A (4x11,8 km)	94
NW2 optie B (2x15,5 km)	62

Vermoedelijk zal Sector 3a aangewezen worden als tijdelijke stortzone voor het gebaggerde materiaal van de kabelsleuven. De sector is ongeveer 8 km² groot, een volume van 1,7 tot 0,6 miljoen m³ voor resp. Mermaid en Northwester 2 (optie A) zal dus over een dikte van ca. 7-20 cm gestockeerd worden indien het hele gebied gebruikt wordt.

Invloed op geologie tijdens constructie en operationele fase

Bij het trenchen van de verbindingskabels tussen de Mermaid en Northwester 2 concessiezones en Alpha zal de geologie verstoord worden tot een diepte van 1,5 m onder de zeebodem, in het park en bij jetten is de verstoringsdiepte 1 m.

Ter hoogte van de Blighbank en waar duinen van meer dan 1 m hoog voorkomen zal enkel het Quartair verstoord worden. Deze toplaag wordt gemodelleerd onder de huidige hydrodynamische processen en is dus geologisch gezien van weinig belang.

In de geulen tussen de Oosthinder, Blighbank en Lodewijkbank, kan het Quartaire dek zeer dun zijn. Daar zullen Paleogene (Tertiaire) lagen doorsneden worden en gaat de continuïteit van de geologische lagen verloren. Wegens de beperkte breedte van de sleuven wordt dit effect als verwaarloosbaar beoordeeld (0/-).

Doorgaans bevatten Paleogene lagen meer kleihorizonten dan de Quartaire deklagen die ze bedekken. Bij het doorkruisen van dergelijke zones kan tijdelijk een hogere turbiditeit in het water ontstaan (zie discipline 'Water'). Dit effect wordt als verwaarloosbaar beoordeeld (0/-).

Kabels aanwezig in de ondergrond tijdens de operationele fase zijn een geologisch vreemd materiaal. Wegens de geringe diepte en omvang wordt dit als verwaarloosbaar beschouwd (0/-).

De aard en significantie van de invloed op de geologie zijn volledig gelijkaardig (niet-significant) voor de verschillende configuratiealternatieven van de Mermaid en Northwester 2 windparken.

Invloed op morfologie, korrelgrootteverdeling en sedimenttransport tijdens constructiefase

Bij de aanleg van de kabels (1 m) wordt het aanwezige zand uitgespoten door middel van een jetting-mechanisme. Ook 'trenching' of uitbaggeren van een sleuf wordt overwogen. Er wordt verder verwezen naar de discipline 'Water' voor wat betreft de turbiditeit die optreedt bij deze technieken.

Bij jetting 'verweekt' de zeebodem tijdelijk door een op nul vallende korrelspanning (analoog met drijfzand) en kan de kabel wegzakken onder haar eigen gewicht. Enkel door opname in suspensie van het losgewerkte sediment en transport op korte afstand is er een beperkte invloed op de morfologie van de zeebodem. De verplaatste volumes zijn functie van de korrelverdeling, heersende stromingen en diepte van de kabel, maar hebben alleszins geen grootteorde die de morfologie van het gebied enigszins kan beïnvloeden. BMM vermeldt dat sporen van jetting volgens literatuurbronnen (deels observatie, deels modellering) tot enkele tientallen dagen kunnen zichtbaar blijven (BMM, 2007).

Bij het baggeren van sleuven tot een diepte van 1,5 m onder de bodem, worden de bestaande grote morfologische structuren, zoals grote en zeer grote duinen gevolgd. Medium en kleine zandduinen zullen echter verdwijnen. Mogelijk zullen de duinen zich natuurlijk herstellen indien voldoende sediment voorhanden is. Wegens mogelijk herstel van de morfologie en de beperkte breedte van de sleuven wordt dit effect als verwaarloosbaar beoordeeld (0/-).

Over de volledige oppervlakte van de sleuven (Tabel 5-12) zal de korrelgrootte veranderen door backfill met zonevreemd, gemengd materiaal. Bovendien zal door het proces van baggeren en dumpen een deel van de fijne bijmenging verdwenen zijn.

Waar de kabeltrajecten (tussen de concessiezones en Alpha) duinenzones en de Blighbank kruisen bestaat het overgrote deel van het gebaggerde materiaal uit zand en mogelijk grind (Quartaire dek en Top-Pleistocene grindlaag). In de tussenliggende geulen kan het Paleogeen ondiep onder de zeebodem voorkomen en bevindt zich meestal een dunne grove zandlaag met grind bovenop het Paleogeen. Het backfill materiaal zal bestaan uit een mengeling van bovenstaande beschreven sedimenten. Wegens de beperkte breedte van de sleuven wordt dit effect op de korrelgrootte als verwaarloosbaar beoordeeld (0/-).

Een belangrijk effect dat ontstaat bij het baggeren en dumpen is het sedimenttransport (door bagger- en dumpverliezen). Zoals reeds hiervoor berekend zal maximaal 742.000 en 265.000 m³ sediment (bij resp. Mermaid en Northwester 2) verdwijnen bij het baggeren van sleuven voor rechtstreekse aansluiting van de parkkabels via parallelle verbindingskabels op Alpha (optie A). Tijdens de backfill zal opnieuw 1 en 0,4 miljoen m³ sediment weg getransporteerd worden voor resp. Mermaid en Northwester 2 (optie A).

De uitvoering van het kabelleggen zal dus een exces sedimenttransport van 1.740.000 en 665.000 m³ (resp. Mermaid en Northwester 2) veroorzaken bovenop het natuurlijke. De verwachte 30% baggerverliezen zijn een inschatting op basis van waarnemingen in een zandig gebied (Van den Eynde, 2010). Eventueel ondiep gelegen Paleogene lagen bestaan uit klei of kleihoudende zanden wat zou kunnen leiden tot een verhoogd sedimenttransport en verhoogde turbiditeit in de waterkolom tijdens het trenchen. Deze lagen zijn gecompacteerd, dus de invloed zal eerder beperkt zijn (BMM, 2011). Deze impact van de baggerverliezen bij het trenchen op sedimenttransport wordt als matig negatief beschouwd (-).

Er wordt verder verwezen naar de discipline 'Water' voor wat betreft de turbiditeit die optreedt bij het baggeren.

Invloed op morfologie, korrelgrootteverdeling en sedimenttransport tijdens operationele fase

De invloed van de aanwezigheid van de kabels op de globale morfodynamiek is, gezien hun afmetingen en gezien de geringe kans dat de kabels aan het oppervlak komen te liggen, verwaarloosbaar. Zelfs bij occasionele blootstelling of zelfs bij het vormen van zogenaamde 'free spans', waarbij een kabel over een bepaalde afstand vrij van de bodem ligt tussen twee duintoppen, is het effect op de zeebodemmorfologie verwaarloosbaar (0/-).

De kabels worden voldoende diep gelegd zodat de kans dat een kabel bloot komt te liggen, vrij gering is. Op plaatsen met Paleogene klei wordt de diepte eventueel beperkt en een afdoende afdekking voorzien, afhankelijk van de haalbaarheid. Schade aan kabels door ankers t.h.v. vaargeulen zal worden vermeden door het leggen van de kabel in de vaargeul op een gepaste diepte. Bovendien wordt het kabeltracé jaarlijks gemonitord om een eventueel vrijkomen van de kabel tegen te gaan. In BMM (2007) wordt een literatuurbron vermeld waarbij kabels bloot zouden komen te liggen na 6-18 jaar bij een kabeldiepte van 1,8 m door zandgolven die migreren aan een snelheid van 1-3 m per jaar. De voorgestelde jaarlijkse monitoringsfrequentie lijkt dus afdoende.

Uitzondering, nl. bij het overkruisen van andere (pijp)leidingen of kabels (onderkruisen is technisch niet haalbaar), wordt de kabel ter hoogte van de kruising niet ingejet maar gewoon aan de oppervlakte over een beschermingsmat over de leiding heen gelegd en ook zelf bedekt door een beschermingsmat en eventueel erosiebescherming. De kabel vormt op die manier een lokale verhoging in de morfologie.

Een mogelijk effect waarbij de kabels als obstructie op de zeebodem optreden door lokale erosie of bij het overkuisen van kabels en pijpleidingen, wordt als gering negatief (0/-) beoordeeld.

Invloed op bodemkwaliteit tijdens operationele fase

De aanwezigheid van de kabel in de bodem tijdens de operationele fase zal voor een beperkte opwarming zorgen van de omringende bodem door energieverlies. Wegens de diepteligging van de kabels, zal dit voor een beperkte en zeer lokale opwarming zorgen van de zeebodem aan het oppervlak, die niet altijd te onderscheiden is van de natuurlijke fluctuaties in de omgeving (BERR, 2008). Meißner and Sordyl (2006) en OSPAR (2008b) beschrijven de metingen die uitgevoerd zijn om dit effect te begroten voor het Nysted windpark. De kabel bevindt zich voor dit park op een diepte van 0,5 tot 1 m in een sterk zandige mergelbodem. Juist boven de kabel vindt men (ten opzichte van een referentiesite) maximale temperatuurverschillen van -0,2°C (natuurlijke situatie ten opzichte van referentiesite) aan de zeebodem, 0,3°C op 10 cm onder de zeebodem, 1,4°C op 20 cm onder de zeebodem en

2,5°C op 50 cm onder de zeebodem. Indien men 30 cm uit de verticale gaat, worden de temperatuurverschillen direct kleiner: -0,1°C aan de zeebodem, 0,2°C 10 cm onder de zeebodem, 0,5°C 20 cm onder de zeebodem en 1,3°C 50 cm onder de zeebodem.

De temperatuurverschillen zijn dus klein, zeker ter hoogte van de zeebodem en strekken zich maar uit over een beperkt traject langsheen de kabel. De eventuele impact van deze temperatuurverhoging op het benthos wordt besproken in het hoofdstuk fauna en flora.

De aanwezigheid van de kabel heeft een verwaarloosbare impact op de temperatuur van de bodem (0/-).

Ontmantelingsfase

In het Koninklijk Besluit van 12 maart 2002 betreffende o.m. de regels voor het leggen van elektriciteitskabels in de territoriale zee wordt geen verplichting opgelegd om de mariene kabels te verwijderen. Wel wordt er op gewezen dat de 'definitieve afstand in optimale en veilige omstandigheden en met respect voor het milieu' dient te gebeuren (Art.5-11°). In de machtiging voor de bouw en in de vergunning voor de exploitatie van elektriciteitskabels wordt evenwel de voorwaarde opgelegd dat bij ontmanteling de kabels volledig dienen uitgegraven/verwijderd te worden.

Indien de kabels verwijderd worden, zullen ze waarschijnlijk vrij gemaakt worden door middel van jetten en niet door middel van baggeren. Er treden dan niet-significante effecten op die kleiner zijn dan de effecten die optreden tijdens de constructiefase. Indien de kabels niet verwijderd worden, treden er geen effecten op.

5.1.4.1.6 Besluit bespreking en beoordeling van de effecten op bodem

Tabel 5-9 en Tabel 5-10 geven een samenvatting weer van de effecten op de bodem tijdens de volledige levenscyclus van de diverse alternatieven en de basisconfiguratie voor het resp. Mermaid en het Northwester 2 windpark. Volgende definities zijn van toepassing: significant positief (++), matig positief (+), gering positief (0/+), (vrijwel) geen effect (0); gering negatief (0/-), matig negatief (-), significant negatief (--).

Tabel 5-9 Overzicht van de effecten op bodem voor het Mermaid windpark (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering).

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	**MP**	**JF**	**GBF**	**MP**	**JF**	**JF**	**GBF**	**JF**	**GBF**
Constructiefase									
Invloed op de geologie	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Invloed op morfologie, sedimentologie & het globale sedimenttransport	0/-	0/-	-	0/-	0/-	0/-	-	0/-	-
Effecten op de bodemkwaliteit	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operationele fase									
Invloed op de geologie	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Invloed op de globale morfodynamiek	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Lokale erosie door de constructies	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op de bodemkwaliteit	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ontmantelingsfase									
Invloed op de geologie	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Invloed op de morfodynamiek	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Invloed op de bodemkwaliteit	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WEC									
Invloed op de geologie	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Invloed op de morfodynamiek	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Invloed op de bodemkwaliteit	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bekabeling									
Invloed op de geologie	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Invloed op de morfologie en korrelgrootte, sedimenttransport	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Invloed op sedimenttransport	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Invloed op de bodemkwaliteit	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-

Tabel 5-10 Overzicht van de effecten op bodem voor het Northwester 2 windpark (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering).

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	**MP**	**JF**	**GBF**	**MP**	**JF**	**JF**	**GBF**	**JF**	**GBF**
Constructiefase									
Invloed op de geologie	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Invloed op morfologie, sedimentologie & het globale sedimenttransport	0/-	0/-	-	0/-	0/-	0/-	-	0/-	-
Effecten op de bodemkwaliteit	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operationele fase									
Invloed op de geologie	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Invloed op de globale morfodynamiek	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Lokale erosie door de constructies	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op de bodemkwaliteit	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ontmantelingsfase									
Invloed op de geologie	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Invloed op de morfodynamiek van het volledige gebied	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Invloed op de bodemkwaliteit	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bekabeling									
Invloed op de geologie	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Invloed op de morfologie en korrelgrootte,	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-

sedimenttransport									
Invloed op sedimenttransport	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Invloed op de bodemkwaliteit	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-

Het voornaamste effect op 'Bodem' is het sedimenttransport dat ontstaat tengevolge van het grondverzet naar tijdelijke stockageplaatsen bij het uitgraven van gravitaire funderingen en het uitbaggeren van sleuven voor het plaatsen van bekabeling (matig negatief effect (-)). Het is niet goed gekend hoe de werkelijke verliezen zullen uitvallen. Voor de 6 GBF's op de Thorntonbank was dit telkens 30%, bij zowel het baggeren van de funderingsputten, als bij het baggeren van het gestockeerde materiaal voor de backfill. Verwacht wordt dat dit hier in dezelfde orde van grootte zal liggen. Om die reden wordt aanbevolen de nodige aandacht te besteden aan de projectlogistiek teneinde de uitgravingen zo efficiënt mogelijk te laten verlopen in tijd en ruimte.

Andere effecten zijn als verwaarloosbaar (0/-) of onbestaande (0) te beschouwen.

5.1.4.2 Effecten op water

5.1.4.2.1 Constructiefase

Invloed op hydrodynamica

Tijdens de constructiefase – zowel voor de plaatsing van de kabels als van de windturbines – treden geen effecten op de hydrodynamica op, ongeacht het type fundering (0). De effecten op stromingen en golven zijn zeer lokaal (BMM, 2007).

Invloed op waterkwaliteit

Bij het baggeren/jetting voor de plaatsing van de kabels en bij het plaatsen van de fundering (voornamelijk bij de gravitaire fundering) kunnen zware metalen vrijkomen uit het sediment. Er wordt aangenomen dat enkel de bovenste laag van de zeebodem zware metalen bevat (Phua *et al.*, 2004). Gezien er voornamelijk grovere sedimenten verwijderd worden met een laag percentage aan fijn materiaal en lage concentraties aan zware metalen, kan dit als een niet-significant effect beschouwd worden (0/-). Enkele stalen voorzien in het verdere geotechnisch onderzoek zullen geanalyseerd worden om dit effect in te schatten.

Analoog als voor zware metalen, is de potentiële impact van het vrijkomen van organische polluenten uit de bovenste sedimentlaag tijdens de inrichting vrij gering (0/-), gezien er voornamelijk zand geëxtraheerd wordt met een laag percentage aan fijne deeltjes en organisch materiaal. In bepaalde delen van de Mermaid en Northwester 2 projectgebieden kunnen fijnere (Pleistocene) rivierinvullingen voorkomen in het Quartair dek die een hoger organisch gehalte hebben. Het gaat evenwel om een beperkt gebied.

Aangezien de Noordzee aangeduid is als een speciale zone (volgens MARPOL 73/78) voor afval sinds 1991 en voor olie sinds 1999, kan deze activiteit gezien het wettelijk verbod op lozen van afval en olie (door schepen groter dan 400 ton) niet leiden tot lozingen van afval of olie. Het baggeren kan een kleine tijdelijke toename van nutriënten in de waterkolom veroorzaken.

De aangroeiwerende verf die wordt aangebracht op de schepen gebruikt tijdens de inrichtingsfase is TBT- vrij. Het is immers sinds1 januari 2003 wereldwijd verboden om TBT

nog op schepen te gebruiken en sinds 1 januari 2008 moest alle TBT van de scheepsrompen verwijderd zijn. Op temperatuur, opgeloste zuurstof en saliniteit wordt geen invloed verwacht.

Invloed op turbiditeit

Tijdens de constructie van de fundering kan een lokale verhoging van de turbiditeit vastgesteld worden bij het baggeren en terugstorten van zand (statische monopile en alle gravitaire funderingen). Normaliter zal er gewerkt worden bij rustige (weinig opwoeling en stroming door golven) weersomstandigheden, waardoor kan verondersteld worden dat de natuurlijke turbiditeit laag is. Dit betekent eveneens dat de bezinking van het opgewoelde sediment relatief snel zal optreden en in een geringe straal rondom de activiteiten.

In de projectgebieden van Mermaid en Northwester 2 bevinden zich in hoofdzaak een zandige bodem, een sediment met relatief grote korreldiameterverdeling, waardoor gravitaire krachten het zand relatief snel terug doen uitzinken. De gemiddelde korreldiameter is ongeveer 350-400 µm (Figuur 5-19) met iets grover zand in het ZW deel van Mermaid en in een beperkt gebied in het NE van Northwester 2 komt ook wat fijner zand voor met D50 300-350 µm. Voor een waterdiepte van ongeveer 30 m betekent dat zand opgewoeld tot aan het oppervlakte een bezinkingstijd heeft (bij relatief rustige stromingsomstandigheden bvb. gemiddelde stromingssnelheid van 0,5 m/s) van kleiner dan 10 minuten en zal bezinken in de richting van de overheersende stroming binnen een straal kleiner dan 250 m (impact wet).

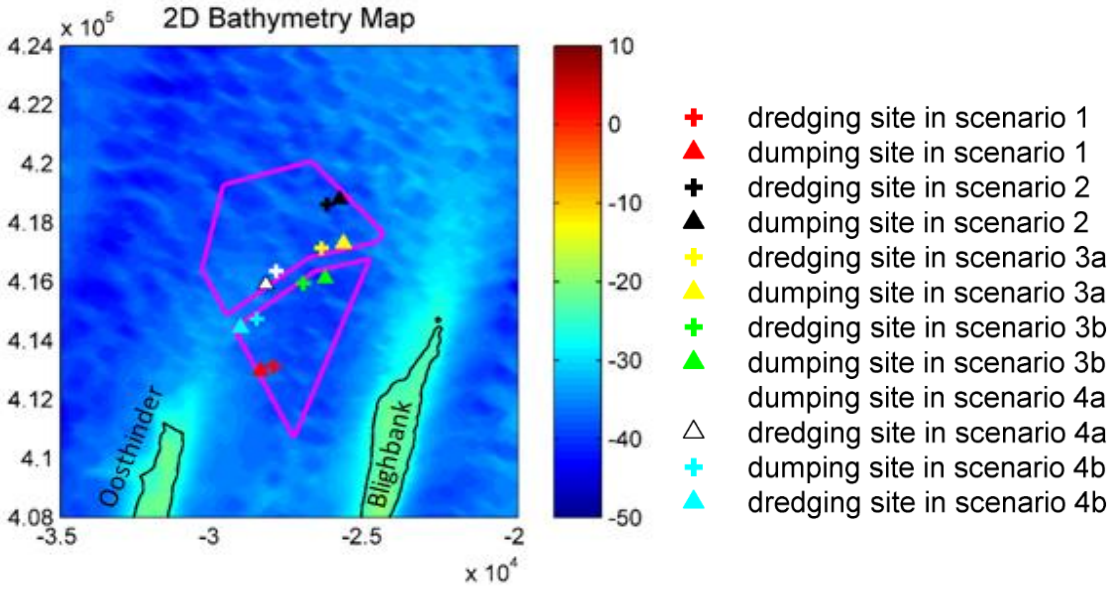
Het is wel duidelijk dat zowel het inheien van palen als de suction bucket methode (monopile, jacket fundering) een veel lagere impact zal hebben op de verhoging van de turbiditeit dan het baggeren, omwille van enerzijds het geringe volume aan zand dat in het proces betrokken wordt (slechts 10-20 m^3 bij suction bucket) en anderzijds omwille van het feit dat er bij baggeren niet alleen bodemmateriaal wordt opgewoeld op de bodem, maar dat het ook in de waterkolom wordt gebracht vanaf het schip.

Het begroten van de maximale concentraties aan gesuspendeerd sediment in de waterkolom omwille van de constructiewerken is een zeer moeilijke opdracht, omdat het een zeer turbulent en driedimensionaal proces is (Ecolas, 2006). Tijdens de constructie van de monopiles op de Blighbank werd er op basis van de monitoringsgegevens geen toename in turbiditeit waargenomen (Van den Eynde *et al.,* 2013). Dit werd ook bevestigd door langdurige tijdsreeksen van zwevend stofgehalte aan de oppervlakte op basis van satellietbeelden van de Blighbank. Er werden geen significante verschillen geobserveerd in de jaarlijkse en maandelijkse achtergrondwaarden voor en na de constructie van de windparken. Mogelijke effecten van de constructie en de operationele fase worden verondersteld zeer lokaal en tijdelijk te zijn (Van den Eynde *et al.,* 2013).

In het kader van deze projecten werd bijkomend een numerieke pluimmodelleringsstudie uitgevoerd om expliciet – bij wijze van 'worst case' illustratie – de turbiditeitsvariatie tijdens het baggeren van een funderingsput voor een GBF te begroten en indien gelijktijdig in het naastliggende park gebaggerd wordt (IMDC, 2014b, cf. externe bijlage). Het baggeren van een funderingsput van 90.000 m^3 werd ingeschat op 14 cycli van baggeren en dumpen, wat in totaal ongeveer 1,5 dag duurt (35h). De simulaties werden uitgevoerd tijdens een springtij om de worst-case effecten te benaderen. Er werden vier scenario's doorgerekend (locaties in Figuur 5-35):

- Scenario 1: een funderingsput gebaggerd aan de ZW grens van Northwester 2 tijdens sterke ebstroming met een nabijgelegen dumplocatie stroomafwaarts van de dominante stroming.

- Scenario 2: een funderingsput gebaggerd aan de NO grens van Mermaid tijdens sterke vloedstroming met een dumplocatie nabij de Belgisch-Nederlandse grens.
- Scenario 3: gelijktijdig baggeren van twee funderingsputten in elk van de concessiezones, gelegen aan de oostelijke grenzen, nabij de B-NL grens, ongeveer 1.300 m uit elkaar. De funderingsputten zijn opgelijnd met de overheersende stroming en worden uitgebaggerd tijdens vloed om de maximale impact op Nederland te kunnen inschatten.
- Scenario 4: gelijktijdig baggeren van twee funderingsputten in elk van de concessiezones, gelegen aan de westelijke grenzen ongeveer 1.700 m uit elkaar. De funderingsputten zijn opgelijnd met de overheersende stroming en worden uitgebaggerd tijdens eb om de maximale uitbreiding uit de windconssiezones te kunnen inschatten.



Figuur 5-35 Bagger- en dumplocaties voor de 4 scenario's voor het uitgraven van een funderingsput voor GBF

Er wordt verondersteld dat de bekomen effecten van scenario 1 (baggeren in Northwester 2) ook geldig zijn bij het uitgraven van een funderingsput aan de ZW zijde van Mermaid. En dat ook de bekomen effecten van scenario 2 (baggeren in Mermaid) geldig zijn bij het uitgraven van een funderingsput aan de NO zijde van Northwester 2.

Het cumulatief effect van het gelijktijdig baggeren en dumpen in twee naburige parken (Mermaid en Northwester 2) op locaties die in elkaars verlengde liggen volgens de stromingsrichting (scenario's 3 en 4) zullen in het hoofdstuk 6: 'Cumulatieve effecten' besproken worden. Het effect van de baggerwerken op Nederlands grondgebied zal besproken worden in hoofdstuk 7: 'Grensoverschrijdende effecten'.

De modelresultaten tonen dat de achtergrondwaarde in de regio van 4 mg/l (Van den Eynde *et al*., 2013) niet langer dan 2,6h (7,5% van de tijd) overschreden wordt tijdens de volledige baggerwerken van één funderingsput, en dit voor alle scenario's. Het is vooral de dumpactiviteit die de hoogste turbiditeit veroorzaakt. Buiten de concessiezones wordt de 4 mg/l achtergrondwaarde minder dan 3% van de tijd (1h) overschreden bij het baggeren van één funderingsput.

In scenario 1 waarbij gebaggerd en gedumpt wordt aan de ZW rand van het Northwester 2 gebied tijdens eb, heeft een dumppluim (waarbij de achtergrondwaarde van 4 mg/l overschreden wordt) een afstand van ongeveer 1,6 km afgelegd, tot buiten de grenzen van de concessiezone. Na minder dan 45 min is de pluim verdund tot beneden achtergrondwaardes. De pluim zelf is nooit groter dan 600 m in doorsnede. Tijdens kentering blijft de overschrijding binnen het Northwester 2 concessiegebied, verplaatst zich slechts een 400 m en is de dumppluim binnen 20 min verdund.

In scenario 2 waarbij gebaggerd en gedumpt wordt aan de NO rand, legt een dumppluim tijdens vloed een afstand van ongeveer 750 m af en beweegt tot buiten de concessiezone in NL gebied. Na 20 min is de pluim opgelost tot beneden de achtergrondwaardes. De pluimdiameter beperkt zich tot 500 m.

Modelleringen voor een Deens project (DHI, 2009) vermelden een concentratie > 10 mg/l gedurende 20% van de tijd, dit bij de aanleg van een funderingsplaat en een worst-case veronderstelling van 3% verlies aan baggerslib (dat voor turbiditeit zorgt) dat volledig aan de wateroppervlakte wordt geïnjecteerd. In een gebied van ongeveer 7 km² rond de baggerlocatie vond men 50% van de tijd concentraties terug > 2 mg/l. Zelfs in dit 'worst-case scenario', voor partikels met een kleinere D50 dan aanwezig in het projectgebied, wordt de toename van partikels in suspensie als niet significant beoordeeld in vergelijking met de natuurlijke concentratie.

Ecolas (2006) vermeldt nog een aantal literatuurbronnen die ingaan op concentraties optredend bij baggeractiviteiten, in bijzonder omwille van de oppervlakkige sedimentwolk die ontstaat door het overstorten van een water-sediment mengsel via de overloopconstructie vanuit een hopperzuiger in het omringende zeewater. Interessant is o.a. de variatie van de invloedsstraal in functie van de korrelgrootte van het sediment (bvb. uit een studie in het Kanaal bleek 11 km voor fijn slib, 5 km voor fijn zand, 1 km voor medium zand).

BMM (2006a) haalt aan dat onderzoek heeft uitgewezen dat turbiditeitsverhogingen beperkt blijven tot 3%. Concentraties aan gesuspendeerd materiaal tijdens de constructie activiteiten zullen dus ten hoogste in dezelfde grootteorde liggen als natuurlijke concentraties bij stormweer.

De constructie van de fundering zal een lokale en tijdelijke verhoging van de turbiditeit veroorzaken voor de funderingstypes waarbij gebaggerd wordt (GBF, statische monopiles), in vergelijking met turbiditeitsconcentraties die van nature optreden tijdens stormen. Het effect kan beschouwd worden als gering negatief (0/-). Voor jacket funderingen, waarbij geen nivellering moet worden uitgevoerd, wordt er geen effect (0) verwacht op de turbiditeit.

5.1.4.2.2 Operationele fase

Invloed op hydrodynamica

In Ecolas (2003 en 2006) wordt uitvoerig ingegaan op de invloed van een obstructie op de hydrodynamica. Het besluit uit beide studies kan hier expliciet overgenomen worden. In het bijzonder wordt hier herhaald dat er geen significante invloed is van één windturbineconstructie op de stroming. Een windturbine in de zee veroorzaakt slechts een geringe lokale verandering van de stroomsnelheid aan weerszijden van de paal en turbulentie aan de lijzijde van de paal in de directe omgeving van de betreffende constructie. Ook de golfwerking zal geen noemenswaardige verandering ondergaan door de aanwezigheid van een funderingsconstructie en bovenliggende windturbine.

Bovendien is de invloedszone van een dergelijke obstructie op de stroming zo beperkt, dat er geen interferentie optreedt tussen de invloed van diverse palen op de stroming. De grote onderlinge tussenafstanden tussen windturbines zorgen ervoor dat geen parkeffecten op de stroming en golfpatronen te verwachten zijn. Let wel, de veranderende stroomsnelheden lokaal rondom een funderingspaal zorgt wel voor het optreden van lokale 'scour', i.e. de vorming van erosieputten, besproken in § 5.1.4.1.2.

De invloed van een gravitaire fundering op de hydrodynamica is door de grotere afmetingen weliswaar groter dan bij een paalfundering, maar nog steeds als gering negatief (0/-) te bestempelen.

Invloed op waterkwaliteit

Er is geen langetermijn effect op de waterkwaliteit te verwachten (0). De kans op een accidentele lozing met acuut effect op de waterkwaliteit wordt als zeer gering beschouwd. Dit wordt hieronder voor een aantal polluenten nog iets verder gestaafd.

Olie

Het vrijkomen van olie vanuit een windturbine is vrijwel onmogelijk:

- Zowel windturbines met als zonder tandwielkast vormen een mogelijkheid. Onder de tandwielkast, die ongeveer 750-1.000 liter olie bevat, is een lekbak voorzien in het geval van lekkende dichtingen.
- Voor het hydraulische systeem, dat 200- 300 liter hydraulische olie bevat, is eveneens een lekbak voorzien. In het geval van breuk aan een leiding kan gedurende korte tijd olie vrijkomen in de gondel, maar die wordt opgevangen in de gondelbodem en bij een volgend onderhoud verwijderd.
- Ter hoogte van ladders en geleidingen is er ongeveer 200-300 kg vet aanwezig. Ook daar zorgen lekbakken voor verwijdering van overtollig vet.
- De transformatoren, die zich in de gondel of in de voet van de turbine bevinden, zullen vermoedelijk van het droge type zijn, maar ook het olie gekoelde type is mogelijk. Indien gekozen wordt voor oliekoeling, worden de transformatoren geplaatst in een aangepaste inkuiping zodat emissie van olie onmogelijk is.

Bij een onderhoudsbeurt wordt overtollige olie (uit lekbakken) of verbruikte olie (bijvoorbeeld 5-jaarlijkse vervanging van olie van de tandwielkasten) verwijderd uit de windturbine.

Aangroeiwerende verf

Aangezien er geen chemicaliën, zoals TBT, ingezet worden voor de beperking van de aangroei van de paal onder water, dient niet voor enige verontreiniging met TBT gevreesd te worden. Bij gravitaire funderingen wordt er geen aangroeiwerende verf gebruikt.

Corrosiebescherming

De stalen mast wordt voorzien van meerlagige corrosiebescherming die aangebracht wordt op land. Deze bescherming bestaat uit een epoxy-coating geschikt voor toepassing in marien milieu met een hoog vast stof gehalte (glasvezel).

Bij een monopile of jacket fundering wordt een corrosiebescherming voorzien, ofwel een kunststoflaag, ofwel een Zn- of Al-laag met een meerlagige epoxy-coating erbovenop. Bovendien is er een kathodische bescherming met Al-opofferingsanodes. In Ecolas (2003) werd berekend dat de vrijstelling van Al uit deze anodes verwaarloosbaar lage concentraties aan Al in het zeewater veroorzaakt.

Er is dus geen effect van de corrosiebescherming op de waterkwaliteit.

Invloed op turbiditeit

Tijdens de exploitatie van de windparken wordt er geen effect (0) op de turbiditeit verwacht.

5.1.4.2.3 Ontmantelingsfase

De effecten tijdens de ontmantelingsfase (die bestaat uit het verwijderen van de palen en het eventuele verwijderen van de erosiebescherming en ondergrondse park- en exportkabels) zullen gelijkaardig zijn als in de inrichtingsfase. Voor de meeste effecten zal de impact bovendien geringer zijn dan tijdens de inrichtingsfase.

5.1.4.2.4 WEC

Invloed van hydrodynamica

Tijdens de constructiefase treden geen effecten op de hydrodynamica op, ongeacht het type WEC (0). De effecten op stromingen en golven zijn zeer lokaal.

De WEC's zullen tijdens de operationele fase energie onttrekken aan de golven waardoor de zee achter de WEC's lokaal kalmer wordt. Het reducerend effect is het grootste achter een opstelling van geschrankte WEC's van het type single-point absorbers (bvb. FlanSea, Seabased, Lifesaver) bij lange onregelmatige golven (Stratigaki, 2014). Dit bleek uit uitvoerige testen in een labo-opstelling met tot 25 WEC's van het single-point absorber type. Het golfreducerend effect heeft als voordeel dat de toegang voor onderhoudsschepen achter de WEC's vereenvoudigd wordt. De WEC velden zullen zo ingeplant worden dat de golfreductie geen negatief effect heeft op de productiviteit van nabijgelegen velden.

Aan de zeebodem kan er zich een geringe lokale verandering in de stroomsnelheid voordoen rond de verankering van de WEC's, die mogelijk kan leiden tot erosie. Deze impact zal kleiner zijn dan voor een fundering van een windturbine. Bovendien is de invloedszone van een dergelijke obstructie op de stroming zo beperkt, dat er geen interferentie optreedt tussen de invloedsfeer van diverse WEC's op de stroming. Tijdens de operationele fase worden de effecten op de hydrodynamica als verwaarloosbaar beoordeeld (0/-).

Invloed op waterkwaliteit

Het plaatsen van de verschillende WEC types vereist geen baggerwerken, de opwoeling van sediment zal dus heel beperkt zijn. Er wordt dan ook geen toename van nutriënten in de waterkolom verwacht tijdens de constructiefase.

Er is geen langetermijn effect (0) op de waterkwaliteit te verwachten tijdens de operationele fase. De kans op een accidentele lozing van olie of vet wordt als zeer gering beschouwd. De ontwerpen van de WEC's brengen voorzorgsmaatregelen in rekening om vrijkomen van olie of vet te vermijden. Bvb. de FlanSea boei is geheel water- en lekdicht gemaakt en de winch is bijkomend ondergebracht in een wetbox met lucht onder overdruk.

Om de efficiëntie van de WEC's te vrijwaren zal het waarschijnlijk nodig zijn om ze (gedeeltelijk) met aangroeiwerende verf te behandelen. Hierbij zullen geen stoffen gebruikt worden die schadelijk zijn voor het mariene milieu.

Op temperatuur, opgeloste zuurstof, saliniteit wordt geen invloed verwacht.

Invloed op turbiditeit

Tijdens de volledige constructie- en exploitatiefase van de WEC's wordt er geen effect (0) op de turbiditeit verwacht.

5.1.4.2.5 Bekabeling

Invloed op hydrodynamica

Tijdens de plaatsing van de kabels treden geen effecten op de hydrodynamica op. De ondergronds geplaatste kabels hebben evenmin tijdens de exploitatiefase een invloed op de stroming (0).

Invloed op waterkwaliteit

Bij baggeren en jetting voor de plaatsing van de kabel kunnen zware metalen vrijkomen uit het sediment. Er wordt aangenomen dat enkel de bovenste laag van de zeebodem zware metalen bevat (Phua *et al.*, 2004). Gezien er voornamelijk grovere sedimenten verwijderd worden voor het kabeltracé tot aan Alpha (optie A en B), met een laag percentage aan fijn materiaal en lage concentraties aan zware metalen, kan dit als een niet-significant effect beschouwd worden (0/-).

In principe zal de coating van een onderwaterkabel – indien in permanent contact met zeewater - na verloop van tijd verslijten ten gevolge van de veranderende temperatuur, golfwerking, enz. (OSPAR, 2008b). De bedekking van de parkkabels, verbindingskabels en exportkabels voor de windturbines wordt periodiek gecontroleerd zodat de kans op direct contact van kabel met zeewater bijzonder gering is.

De elektrische kabels voor de WEC's (bij alle basistypes uitgezonderd Wavestar en Seabased) zweven continu in de waterkolom en worden permanent blootgesteld aan het zeewater, veranderende temperatuur, stroming, etc. en zullen daardoor sneller kunnen verslijten. De coating van de kabels is echter aangepast aan de ruwe omstandigheden en de staat van de bekabeling zal regelmatig gecontroleerd worden zodat de kans op vrijkomen van bijvoorbeeld zware metalen gering is.

Omdat de kabels na de exploitatieperiode normaliter verwijderd worden en de vrijgestelde concentraties aan bijvoorbeeld zware metalen bijzonder gering zijn, wordt deze potentiële invloed als verwaarloosbaar gecatalogeerd (0/-).

De elektrische WEC kabels tijdens de operationele fase zullen warmte afgeven aan de omringende waterkolom door energieverlies. Dit warmteverlies zal door stroming en golfwerking echter zeer snel verspreid worden doorheen het water. De aanwezigheid van de kabel heeft geen impact op de temperatuur van de waterkolom (0).

Invloed op turbiditeit

De verbindingskabels tussen de parken en Alpha zullen mogelijk in een voorgebaggerde sleuf geplaatst worden op minimaal 1,5 m onder de zeebodem. Het aanleggen van deze kabels zal een tijdelijke verhoging van de turbiditeit veroorzaken. Over het merendeel van de kabellengte zal voornamelijk zand worden opgewoeld en zal de straal waarbinnen het sediment terug bezinkt vrij gering zal zijn.

Waar de Quartaire deklaag dun is kan door baggeren het Paleogeen substraat aan het oppervlak komen. De Paleogene lagen bestaan uit klei of kleihoudende zanden wat zou kunnen leiden tot een verhoogd sediment transport en verhoogde turbiditeit in de waterkolom.

Deze lagen zijn evenwel gecompacteerd, dus de invloed zal eerder beperkt zijn op korte termijn (BMM, 2011).

Gezien de geringe dimensies van de kabelsleuven, het niet-permanent karakter en in vergelijking met natuurlijke dynamiek wordt de aanleg van de kabels als een proces beschouwd met een verwaarloosbare impact op de turbiditeit (0/-). Er wordt geen lange termijneffect verwacht.

De parkkabels zullen waarschijnlijk door middel van jetting op minimaal 1 m diepte geplaatst worden om beschadiging te voorkomen. De totale lengte aan parkkabel wordt afhankelijk van het kabeltype en de configuratie vandaag geraamd op zo'n 35 tot 50 km voor Mermaid en ca. 21 tot 39 km voor Northwester 2. Voor het alternatief met rechtstreekse aansluiting op de Alpha-installatie (optie A) van Elia worden de parkkabels als rechtstreekse verbinding tussen elk windpark en dit offshore platform doorgetrokken als verbindingskabels in een kabelcorridor buiten het concessiegebied over een afstand van 20-22 km voor Mermaid en om en bij 11 à 12 km voor Northwester 2. Bij jetting 'verweekt' de zeebodem tijdelijk door een op nul vallende korrelspanning (analoog met drijfzand) en kan de kabel wegzakken onder haar eigen gewicht. De verbindings- of exportkabels zullen buiten de vaargeul waarschijnlijk door ploegen geplaatst worden op minimaal 1,5 m onder de zeebodem. Ook de mogelijkheid van baggeren of 'trenching' wordt overwogen. In de vaargeul zal mogelijks een combinatie van baggeren en jetten of ploegen vereist zijn om de voorgeschreven diepteligging maximaal te garanderen.

Het aanleggen van de kabels zal een tijdelijke verhoging van de turbiditeit veroorzaken. Voornamelijk zand wordt opgewoeld, waardoor de straal waarbinnen het sediment terug bezinkt vrij gering zal zijn. Deze verhoging zal groter zijn bij de aanleg van de verbindings- of exportkabels, enerzijds omwille van de grotere diepte (meer zand in beweging), anderzijds omwille van de andere uitvoeringstechniek (het baggeren zal meer turbiditeit veroorzaken).

De kabels worden voldoende diep gelegd zodat de kans dat een kabel bloot komt te liggen, vrij gering is. Op plaatsen met Paleogene klei wordt de diepte eventueel beperkt tot 1 m, afhankelijk van de haalbaarheid. Doorgaans zijn Tertiaire lagen meer gecompacteerd en bevatten ze meer kleihorizonten dan de Quartaire deklagen die ze bedekken. Bij het doorkruisen van dergelijke zones kan tijdelijk een hogere turbiditeit in het water ontstaan.

BMM (2004) haalt aan dat bij het ploegen of jetten van de exportkabels in de zone dichter bij de kust nieuw fijn tot gemiddeld korrelig sediment in suspensie wordt gebracht omdat daar slibrijke fracties in de bodem aanwezig zijn. Aangezien dit tevens de zone is waar van nature een hogere achtergrondsturbiditeit heerst, is de impact van de werken verwaarloosbaar (0/-). Een modelleringsstudie toont een depositie van 1-5 mm in een zone van enkele honderden meters rond de kabel, en 20 mm dicht tegen de kabel (BMM, 2007).

Een zeer uitgebreide literatuurstudie omtrent de milieu-impact van het leggen van kabels (o.a. verhoging turbiditeit) is terug te vinden in BERR (2008). Voor een windpark (Norfolk) wordt bijvoorbeeld berekend dat de impactzone bij kabellegging varieert tussen 200 m van de kabel (met kleine depositiedikten van enkele mm) tot 20 m van de kabel (met deposities van ongeveer 10 mm) afhankelijk van de stromingscondities (aanname dat alle geploegde materiaal in suspensie komt). De achtergrondconcentraties aan turbiditeit zouden voor de gehele range slechts enkele percentages toenemen. Voor een ander park (Sheringham) werd gemodelleerd dat (bij ploegen van een kabel) de additionele concentraties terugvallen tot minder dan 1 mg/l binnen de eb- of vloedcyclus met een maximale invloedszone van 9 km.

Men besluit dat de impact van ploegen op turbiditeit zeer kort en lokaal is, maar dat over andere technieken (jetting, cutting, etc.) weinig data voorhanden is.

De impact van de plaatsing van kabels wordt als zeer tijdelijk en lokaal beoordeeld (0/-). Gezien de geringe dimensies van de kabelsleuf en in vergelijking met natuurlijke dynamiek wordt de aanleg van de kabels als een proces beschouwd met een verwaarloosbare impact op de turbiditeit. Er wordt geen langere termijneffect verwacht.

Tijdens de operationele fase hebben ondergrondse kabels geen invloed op de turbiditeit. Enkel indien de kabel na verloop van tijd zou vrijkomen op een bepaalde plaats, kan lokaal een tijdelijke verhoging van de turbiditeit optreden bij het opnieuw begraven van de kabel.

De effecten tijdens de ontmantelingsfase (die bestaat uit het vrij jetten van de kabels waarna ze verwijderd worden) zullen kleiner zijn dan in de inrichtingsfase.

5.1.4.2.6 Besluit bespreking en beoordeling van de effecten op water

Tabel 5-11 en Tabel 5-12 geven een samenvatting weer van de effecten op water tijdens de volledige levenscyclus van de diverse alternatieven en de basisconfiguratie van resp. het Mermaid en het Northwester 2 windpark. Volgende definities zijn van toepassing: significant positief (++), matig positief (+), gering positief (0/+), (vrijwel) geen effect (0); gering negatief (0/-), matig negatief (-), significant negatief (--).

Tabel 5-11 Overzicht van de effecten op water voor het Mermaid windpark (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering).

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	MP	JF	GBF	MP	JF	JF	GBF	JF	GBF
Constructiefase									
Invloed op hydrodynamica	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Invloed op waterkwaliteit	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Invloed op turbiditeit	0/-	0	0/-	0/-	0	0	0/-	0	0/-
Operationele fase									
Invloed op hydrodynamica	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Invloed op waterkwaliteit	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Invloed op turbiditeit	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ontmantelingsfase									
Invloed op hydrodynamica	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Invloed op waterkwaliteit	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Invloed op turbiditeit	0/-	0	0/-	0/-	0	0	0/-	0	0/-
WEC									
Invloed op hydrodynamica tijdens operationele fase	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Invloed op waterkwaliteit	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Invloed op turbiditeit	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bekabeling									
Invloed op hydrodynamica	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Invloed op waterkwaliteit	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Invloed op turbiditeit	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-

Tabel 5-12 Overzicht van de effecten op water voor het Northwester 2 windpark (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering).

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	MP	JF	GBF	MP	JF	JF	GBF	JF	GBF
Constructiefase									
Invloed op hydrodynamica	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Invloed op waterkwaliteit	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Invloed op turbiditeit	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Operationele fase									
Invloed op hydrodynamica	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Invloed op waterkwaliteit	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Invloed op turbiditeit	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ontmantelingsfase									
Invloed op hydrodynamica	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Invloed op waterkwaliteit	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Invloed op turbiditeit	0/-	0	0/-	0/-	0	0	0/-	0	0/-
Bekabeling									
Invloed op hydrodynamica	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Invloed op waterkwaliteit	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Invloed op turbiditeit	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-

5.1.5 Leemten in de kennis

5.1.5.1 Bodem

Ondanks de globale modelleringstudie is er op dit moment nog steeds onvoldoende kennis betreffende de meer lokale, gedetailleerde sedimentdynamiek in de concessiegebieden (duinen, geulen,…) om bijvoorbeeld de meest geschikte stockageplaats te kiezen.

De monitoring op de Thorntonbank (Van den Eynde *et al.*, 2010) heeft ook uitgewezen dat bij elke verplaatsing van een zandhoeveelheid, grosso modo iets meer dan 30% verloren gaat. Er wordt van uit gegaan dat dit in deze concessiegebieden waarschijnlijk vergelijkbaar zal zijn. Maar bijkomende monitoring is aangewezen in functie van de gekozen funderingstechniek en

de vooropgestelde baggerhoeveelheden. Naast kwantiteit dient hierbij ook de kwaliteit van de te baggeren sedimenten in beeld gebracht te worden.

Het verdient aanbeveling om voor realisatie, indien gekozen wordt voor een gravitaire fundering, fysische modelproeven uit te voeren omtrent de erosie van een windturbine met gravitaire fundering, om het technisch ontwerp van de erosiebescherming te verfijnen en te optimaliseren.

Ook is het eroderend effect op dagzomende Paleogene klei een onbekende parameter. In deze concessiegebieden waar door de beperkte dikte van het aanwezige Quartair dek een aantal van de gravitaire funderingen op Paleogene klei of zandhoudende klei geplaatst zullen worden is dit een niet onbelangrijke leemte in kennis. Het is niet gekend of er erosie optreedt van de dagzomende gecompacteerde klei voor de funderingslagen en erosiebescherming worden aangebracht.

5.1.5.2 Water

Naast de uitvoerig gekalibreerde modelleringsstudie rond de hydrodynamische karakterisatie bestaan er weinig stromingsmetingen in geulen tussen de banken. Het merendeel van de monitoringscampagnes voor andere windparken werden uitgevoerd bovenop zandbanken.

Er is geen gebiedsspecifieke informatie (specifiek voor de concessiegebieden van Mermaid en Northwester 2) omtrent de waterkwaliteit. Er is evenwel geen enkele reden (omwille van bepaalde activiteiten) om aan te nemen dat de waterkwaliteit voor deze concessiegebieden sterk zou afwijken van de rest van het BDNZ. Gezien de geringe significantie van waterkwaliteitsaspecten verdient deze leemte dan ook weinig prioriteit.

5.1.6 Milderende maatregelen

5.1.6.1 Bodem

Er moet aandacht geschonken worden aan een goede afstemming in de tijd tussen het aanbrengen van de fundering en het aanbrengen van de erosiebescherming bij statische monopiles. Dit voorkomt immers erosie en leidt tot een minimaal gebruik van steenbestorting. Een goede afstemming van de deeltrajecten is hoe dan ook een vereiste bij het tussentijds stockeren van zand, dit om diverse verliezen en de daar bijhorende turbiditeitsvariaties zo veel mogelijk te beperken.

Om de impact van het gestockeerde materiaal te verminderen wordt de voorkeur gegeven om de oppervlakte van de verstoring zo klein mogelijk te houden, maar er wordt beter niet hoger gestockeerd dan de natuurlijke zandduinen in de omgeving. Een compromis is een stockagehoogte van maximaal 5 m. De stockage zal gebeuren waar mogelijk opwaarts van de overheersende stromingsrichting zoals afgeleid uit de sedimenttransport modellering en asymmetrie van de lokale bodemstructuren, zodat natuurlijke stromingen de genivelleerde zones opnieuw kunnen aanvullen rondom de funderingen.

Op het kabeltracé moet bij overkruisingen van andere leidingen, waarbij de minimale begravingsdiepte niet kan behaald worden, een extra bescherming aangebracht worden. Dit kan geschieden met dezelfde breuksteen die aangewend wordt voor de erosiebescherming op het windpark en/of met betonnen beschermingsmatrassen. Een geschikt ontwerp – gebeurlijk in combinatie met een gepaste monitoring - verzekert de morfodynamische stabiliteit van deze extra bescherming.

5.1.6.2 Water

Als onderdeel van het globale veiligheidsysteem, dient er een duidelijke procedure beschikbaar te zijn die beschrijft op welke manier en door wie acties worden ondernomen op het moment dat er tijdens de inrichting, exploitatie of ontmanteling van de turbines en de WEC's een calamiteit ontstaat met nadelige gevolgen voor de waterkwaliteit (vb. olielek). Hiervoor wordt verwezen naar de discipline 'Risico en veiligheid'.

5.1.7 Monitoring

Nu en in de komende jaren worden verschillende windparken gerealiseerd binnen de afgebakende windconcessiezone. Een afstemming tussen de verschillende monitoringsprogramma's is aangewezen. Dit houdt onder andere in dat monitoring waarvan de resultaten representatief zijn voor meerdere windparken, niet bij andere windparken herhaald worden. De monitoringsprogramma's voor de hier beschouwde windparken in de 2 concessiegebieden zullen kunnen aansluiten bij deze van de windparken in opbouw en reeds gerealiseerd.

De in dit hoofdstuk beschreven monitoringsresultaten kunnen worden verkregen met de aanpak zoals die reeds voor C-Power is vastgesteld (BMM, 2004, 2006a), alsook voor Belwind (BMM, 2007), Northwind (BMM, 2009), Norther (BMM, 2011b), Rentel (BMM, 2012a) en SeaStar (BMM, 2013). Dit betekent dat met het monitoringsprogramma:

- de evolutie van de erosie/sedimentatie en morfologie rond de turbines wordt gemeten om de effectiviteit van het aanbrengen van erosiebescherming na te gaan;
- de ingravingsdiepte van zowel de verbindingskabels naar de Alpha-installatie als de gebeurlijke exportkabels naar land wordt bewaakt;
- een nauwkeurige registratie van de baggeractiviteiten (meer expliciet de baggervolumes en de vorming van turbiditeitspluimen) vormen een geschikte basis voor opvolging, evaluatie en beheer van de baggerefficiëntie. Hierbij dienen expliciet de bewegingen van het gestockeerde zand worden opgemeten in het geval van gravitaire funderingen om een inschatting te maken van de werkelijke verliezen tijdens baggeren en dumpen;
- en dat voor de werken een bodemonderzoek (boringen, korrelgrootte, …) wordt uitgevoerd;

Voor de frequentie, technieken, etc. wordt verwezen naar bovenstaande referenties: de monitoringsprogramma's voorgesteld door BMM voor de overige windparken. Essentieel zijn ook de recente resultaten rond monitoring en evaluatie van milieueffecten tijdens de bouw van de windparken op de Thorntonbank (C-Power) en de Blighbank (Belwind), met aandacht voor wijzigingen in het natuurlijk milieu (in ruimte en tijd) (Degraer *et al.* 2010a, 2011, 2012, 2013a).

Voortschrijdende inzichten, absolute observaties en grondige analyse van meetgegevens in naburige windparken bieden aldus een maximale garantie op een optimale invullig van het verdere monitoringsprogramma rond de ontwikkeling van offshore windprojecten in het BDNZ.

Gelet op de vrij beperkte kennis en inzicht rond de invloed van WEC-systemen op hydrodynamica en morfologie buiten labo-opstellingen, is het aangewezen om niet in één keer het volledige te installeren energievermogen te plaatsen binnen Mermaid. Een stapsgewijze opbouw van het te installeren vermogen, met één of meerdere WEC-systemen als proefproject, kan de inzichten in opeenvolgende fazen optimaliseren en verfijnen om tot een beter onderbouwde golfenergie-invulling te komen binnen het park. In een eerste fase zullen

slechts enkele units (eventueel verschillende types) worden geplaatst zodat deze uitgebreid getest en gemonitord kunnen worden, o.a. op mogelijke milieueffecten op morfologie en hydrodynamica. Multibeam echosounder bathymetrische meetcampagnes op regelmatige basis kunnen inzicht verschaffen over het ontstaan van erosieputten rondom de verankering van de WEC's. Het plaatsen van golf- en stromingsmeters op verschillende plaatsen binnen het Mermaid windpark zullen de inzichten rond de effecten van WEC's (gecombineerd met windturbines) op hydrodynamica verhogen.

5.2 KLIMAAT EN ATMOSFEER

5.2.1 Methodologie

5.2.1.1 Klimaat

De referentiesituatie en de effecten worden beschreven op basis van een samenvatting van de beschikbare literatuurbronnen, websites, en gelijkaardige milieueffectenrapporten.

Bij de bespreking van de specifieke impact van de Mermaid en Northwester 2 offshore parken wordt aandacht besteed aan de volgende effecten:

- Impact op het globale klimaat door de vermindering van de emissie van broeikasgassen;
- Impact op het lokale windklimaat door de aanwezigheid van de windparken;
- Impact van de elektrische bekabeling op de temperatuur van de zeebodem en het zeewater.

5.2.1.2 Atmosfeer

Voor het bepalen van de luchtkwaliteit in de concessiezone wordt gebruik gemaakt van meetgegevens en jaarrapporten van VMM. Gezien de dichtstbijzijnde (relevante) meetposten van VMM reeds enkele kilometers landinwaarts staan kunnen de meetgegevens slechts als indicatieve (overschatte) waarden aanzien worden, tenzij het concessiegebied sterk zou beïnvloed worden door de uitlaatgassen van de vrachtschepen op de Noordzee.

De meest relevante parameters in het kader van dit project zijn de algemene luchtverontreinigende componenten NO_X, SO_2, PM10 (stof), O_3 en CO_2. De actuele luchtkwaliteit van het studiegebied wordt getoetst aan de Europese luchtkwaliteitsdoelstellingen, gezien deze van toepassing zijn binnen de Europese Unie en in de nationale wetgevingen dienen geïmplementeerd te zijn.

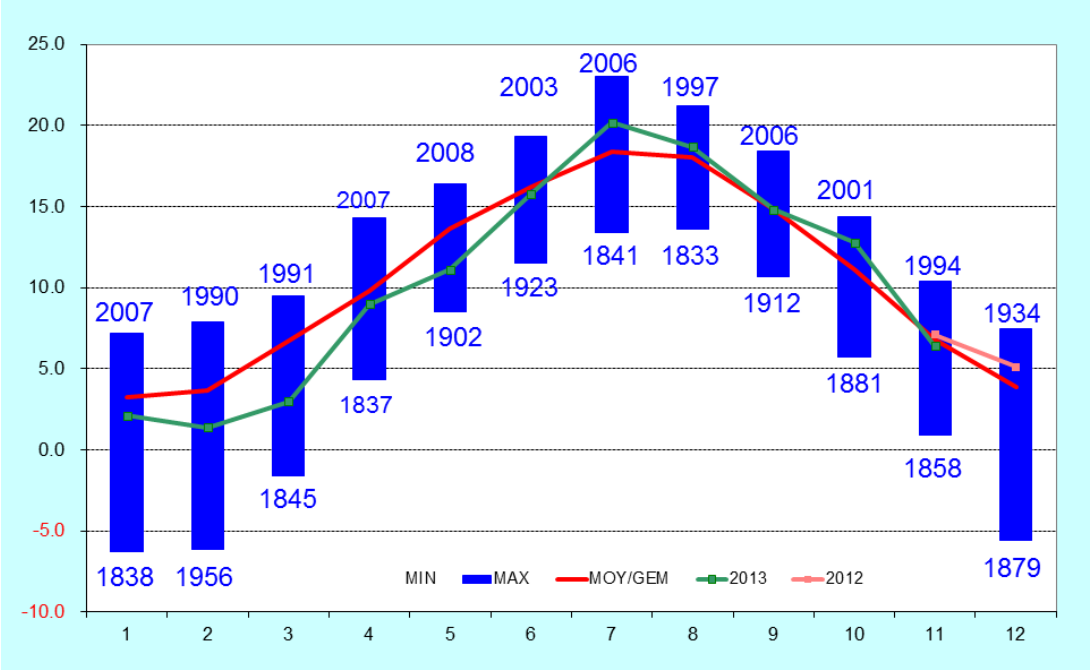
Voor dit MER heeft IMDC een nieuwe Life Cycle Analysis (LCA) opgesteld waarbij de mogelijke CO_2-uitstoot en het energieverbruik werd berekend tengevolge van de productie, constructie, exploitatie en ontmanteling van een 10 MW (jacket en een gravitaire fundering) gelegen op 55 km van de kust (IMDC, 2014c externe bijlage). Hierbij werd ook rekening gehouden met de bekabeling (in het park en verbindingskabels tot Alpha) en de aanwezigheid van WEC's in Mermaid. De conclusies uit deze studie werden verwerkt in dit hoofdstuk, voor het integraal rapport wordt verwezen naar de externe bijlage.

5.2.2 Referentiesituatie en autonome ontwikkeling

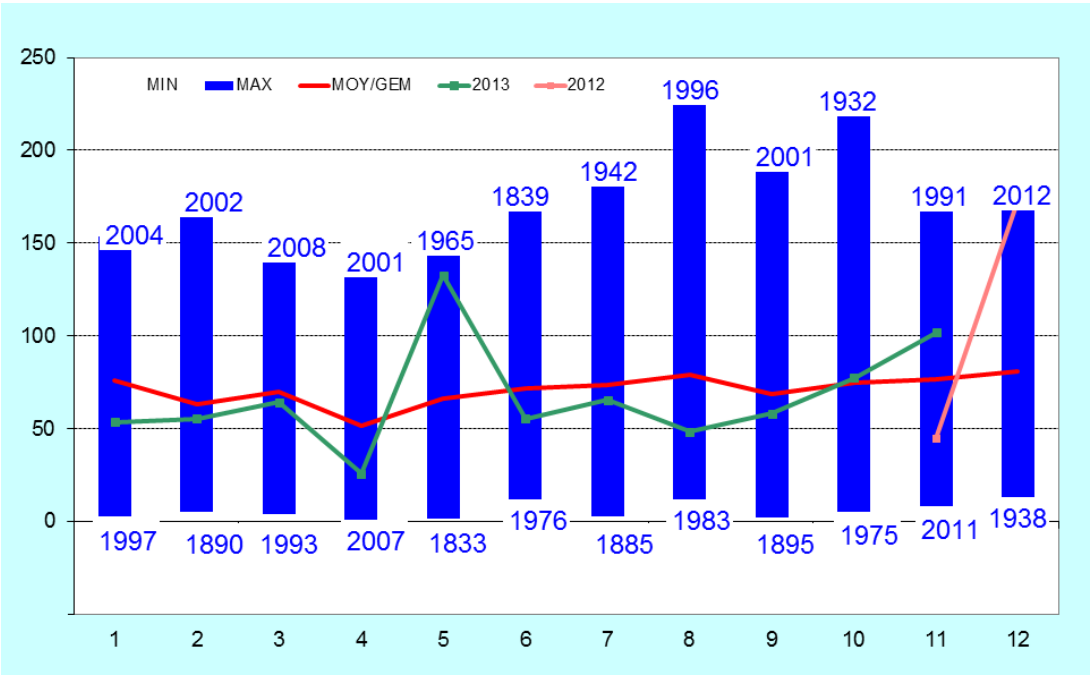
5.2.2.1 Klimaat

België kent over het algemeen een gematigd zeeklimaat. Het zeeklimaat wordt gekenmerkt door vrij veel regen en wind, en kleine temperatuursvariaties tussen de verschillende seizoenen. Het heeft een koele zomer en een zachte winter. Aan de kust komt een echt zeeklimaat voor. Het gemiddelde temperatuurverschil tussen de warmste en de koudste maand is hier het kleinst (zomer 16,9°C; winter 3°C).

In Figuur 5-36 en Figuur 5-37 worden de gemiddelde temperatuur en neerslag voor de periode 1833-2013 weergegeven voor Ukkel.



Figuur 5-36 Maandelijks gemiddelde luchttemperatuur in Ukkel (C°). Normalen en absolute uitersten vanaf 1833 tot 2013 (KMI, 2013)

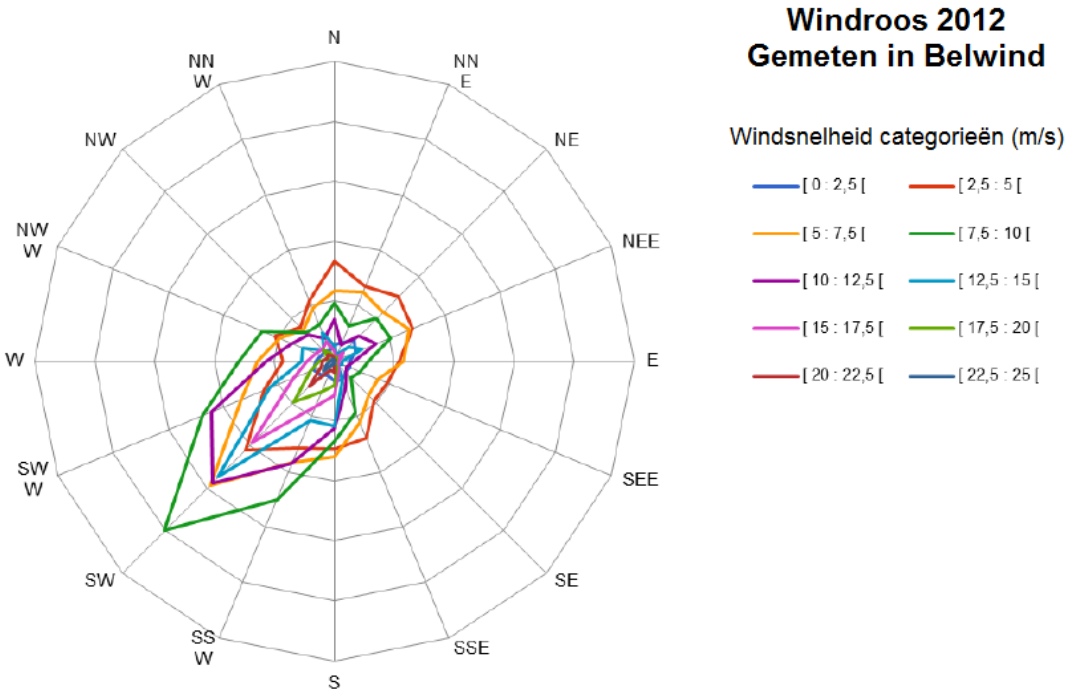


Figuur 5-37 Maandelijkse totalen van neerslag in Ukkel (mm). Normalen en absolute uitersten vanaf 1833 tot 2013. (KMI, 2013)

De klimaatskarakteristieken die heersen aan land gelden in grote mate ook voor het klimaat ter hoogte van de geplande energieparken. Op zee is er gemiddeld een meer constant

windklimaat en een hogere windsnelheid. In de eerste 20 km vanaf de kust, stijgt de gemiddelde windsnelheid relatief snel met de afstand. Bijvoorbeeld, op 10 km van de kust kan de windsnelheid op zee 25% hoger zijn dan aan de kust. Vanaf 20 km uit de kust wordt deze toename in windsnelheid significant kleiner. In nabijgelegen parken werden de windkarakteristieken reeds eerder in detail bestudeerd volgens verschillende methodes. In een eerste benadering werd een grondige analyse uitgewerkt van de lange termijn dataset van het nabijgelegen meetstation van Westhinder, zo'n 35 km zuidwestelijk van de Mermaid en Northwester 2 concessiezones gelegen. Hierbij werd ook een correlatie met de meetgegevens van de 116 m hoge Nederlandse NoordZeeWind meetmast op de Noordzee meegenomen (deze mast is zo'n 150 km noordoostwaarts van het gebied gelegen). In een andere benadering wordt gebruik gemaakt van het zogenaamde WRF-model (Weather Research and Forecasting), waar op mesoschaal een numerieke tijdreeks van windsnelheden en windrichtingen wordt gesimuleerd. IJking op basis van beschikbare meetreeksen in nabijgelegen meetposten verzekert de kwaliteit van deze numerieke berekeningen. Beide methoden genereren nagenoeg dezelfde resultaten.

Een rudimentaire screening van de geregistreerde windmeetgegevens ter hoogte van het nabijgelegen Belwind park geeft duidelijk Zuid West als dominante windrichting aan (Figuur 5-38).



Figuur 5-38 Wind Energie Roos (combinatie frequentie en windsnelheid) ter hoogte van turbine B05 in het Belwind windpark (bron: Belwind, 2012)

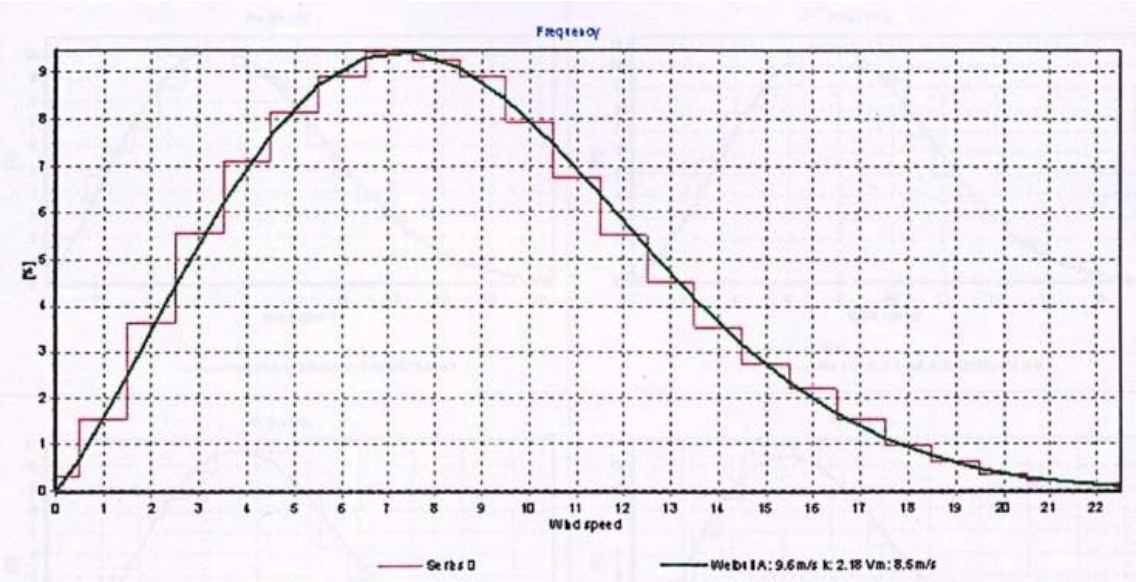
In een studie van 3E (2011) worden de actuele meteorologische gegevens van de meetstations van het "Meetnet Vlaamse Banken"-systeem gebruikt om het lokale windklimaat ter hoogte van de offshore Rentel-zone te simuleren. Volgende meetstations worden hierbij in ogenschouw genomen:

- Wandelaar MOW 0 (10 km uit de kust van Blankenberge op een afstand van ca. 36 à 40 km van de Northwester 2 en Mermaid sites);
- Westhinder MOW 7 (32,5 km uit de kust van Nieuwpoort op een afstand van ca. 40 km van de Northwester 2 en Mermaid sites).

In Tabel 5-13 worden de karakteristieke windgegevens weergegeven voor beide windmeetstations en Figuur 5-39 toont de frequentiedistributie van de windsnelheid voor Westhinder. In het kader van windparkpark Northwind worden in IMDC (2011) gelijkaardige windgegevens vermeld voor de Lodewijkbank. De gemiddelde windsnelheid is er 9,6 m/s, de dominante windrichting (20% van de tijd) is eveneens WZW.

Tabel 5-13 Windgegevens meetstations 'Wandelaar' en 'Westhinder'

	MOW 0 Wandelaar	MOW 7 Westhinder
Registratie niveau (m TAW)	25,30	25,25
Beschikbare meetperiode	2002-2009	1994-2003
Gemiddelde windsnelheid (m/s)	8,15	8,52
Gemiddelde windrichting	WZW (14,3%)	WZW(18,8%)



Figuur 5-39 Frequentiedistributie van de windsnelheid voor MOW 7 Westhinder (3E, 2001)

De windsnelheid neemt toe met de hoogte boven de waterspiegel volgens een logaritmische functie: de windsnelheid neemt snel toe vanaf het oppervlak, op een hoogte interessant voor windenergiegebruik wordt de gradiënt kleiner. De gemiddelde windsnelheid voor de Noordzee op verschillende hoogtes wordt gegeven in Tabel 5-14.

Tabel 5-14 Windsnelheid op open zee (>10 km van de kust) voor 5 standaard hoogtes (Söker et al., 2000)

Hoogte	Windsnelheid (m/s)
10 m	7,0 – 8,0
25 m	7,5 – 8,5
50 m	8,0 – 9,0
100 m	8,5 – 10,0
200 m	9,5 – 11,0

Voor het windpark Northwind op de Lodewijkbank werden snelheden van 41,9 m/s gemodelleerd op een hoogte van +84 m LAT voor een terugkeerperiode van 50 jaar. Bij een terugkeerperiode van 1 jaar is de windsnelheid op die hoogte 26 m/s (IMDC, 2011). De modelleringen zijn gebaseerd op monitoringsdata van de meteomast van het windpark Egmond aan zee (data 2005-2006).

5.2.2.2 Atmosfeer

Aan de kust is er slechts 1 VMM-meetstation gelegen dat relevant is voor de kwaliteit van de lucht boven zee. Het gaat hier om station 44N002 – Zeebrugge Zeesluis. In 2010 werden de metingen in dit station stopgezet. Ongeveer 10 km landinwaarts liggen de meetstations 44N012 – Moerkerke, 44N029 – Houtem, 47E714 – Dudzele en 47E715 – Zuienkerke.

In deze meetstations werden de volgende componenten gemeten (VMM, 2013):

- Zeebrugge (2008): SO_2
- Moerkerke: NO_X, PM10, O_3
- Houtem: SO_2, NO_X, PM10, O_3
- Dudzele: NO_X
- Zuienkerke: NO_X

5.2.2.2.1 SO_2

SO_2 werd het laatst in Zeebrugge gemeten in 2008 en in 2012 in Houtem. Tabel 5-15 geeft de gemeten waarden weer. De grenswaarde van 350 µg/m³, bepaald door Europese Richtlijn 2008/50/EG als uurgrenswaarde voor de bescherming van de gezondheid van de mens, werd in beide meetstations gerespecteerd. Deze grenswaarde mag niet meer dan 24 keer per jaar overschreden worden.

Sinds 2000 daalde de totale SO_2-uitstoot met 69% door het gebruik van brandstoffen met een lager zwavelgehalte voor transport, industriële processen en energieopwekking (VMM, 2013).

Tabel 5-15 Gemiddelde, 50-percentiel en 98-percentielwaarde voor SO_2 in de nabijheid van de kust in Zeebrugge (2008) en Houtem (2012) (uurwaarden in µg/m³) (VMM, 2009, 2013)

Meetstation SO_2	Gemiddelde (µg/m³)	50-percentieel (µg/m³)	98-percentieel (µg/m³)
Zeebrugge	4	3	31
Houtem	1	1	5

5.2.2.2.2 NO_X

Tabel 5-16 geeft de waarden weer voor de concentratie aan NO en NO_2 in de omgevingslucht vastgesteld in 2012 (VMM, 2013). De grenswaarde van 200 µg/m³ voor NO_2, bepaald door Europese Richtlijn 2008/50/EG als uurgrenswaarde voor de bescherming van de gezondheid van de mens, werd in alle meetstations gerespecteerd. Deze grenswaarde mag niet meer dan 18 keer per jaar overschreden worden.

De totale NO_x-emissie is in 2011 met 30% gedaald ten opzichte van 2000. Dit komt voornamelijk door een emissievermindering in elektriciteitscentrales. Alhoewel de uitstoot door het verkeer op 10 jaar tijd met 22% gedaald is, neemt het relatief aandeel toe ten opzichte van 2000 (VMM, 2013).

Tabel 5-16 Gemiddelde, 50-percentiel en 98- percentielwaarde voor NO en NO_2 in de nabijheid van de kust in 2010 (uurwaarden in µg/m³) (VMM, 2013)

Meetstations NO_X	Gemiddelde (µg/m³)		50-percentieel (µg/m³)		98-percentieel (µg/m³)	
	NO_2	NO	NO_2	NO	NO_2	NO
Moerkerke	15	3	11	1	51	28
Houtem	13	3	10	1	46	25
Dudzele	19	4	14	1	56	31
Zuienkerke	18	4	12	1	57	42

5.2.2.2.3 O_3

Tabel 5-17 geeft de waarden weer voor de concentratie aan ozon nabij de kust vastgesteld in 2012 (VMM, 2013). De grenswaarde voor de hoogste 8-uurgemiddelde van een dag bedraagt 120 µg/m³, bepaald door Europese Richtlijn 2008/50/EG als uurgrenswaarde voor de bescherming van de gezondheid van de mens, en werd in beide meetstations gerespecteerd. Deze grenswaarde mag gemiddeld over 3 jaar niet meer dan 25 keer per jaar overschreden worden.

De ozonachtergrondconcentraties zijn lichtjes gestegen in de periode 2002-2012 ten opzichte van de periode 1990-2001. De hogere ozonconcentraties zijn op heel wat plaatsen gedaald. Die trend, een stijging van de lagere percentielen en een daling van de hogere, is vergelijkbaar met de geobserveerde trends in het netwerk van het Europese Monitorings- en Evaluatieprogramma (VMM, 2013).

Tabel 5-17 Gemiddelde, 50-percentiel en 98-percentielwaarde voor O_3 in de nabijheid van de kust in 2012 (uurwaarden in µg/m³) (VMM, 2013)

	Gemiddelde (µg/m³)	50-percentieel (µg/m³)	98-percentieel (µg/m³)
Uurwaarden			
Moerkerke	45	48	82
Houtem	47	49	82
Dagelijkse maximale 8-uurgemiddelden			
Moerkerke	64	64	119
Houtem	64	63	119

5.2.2.2.4 PM10

De concentraties aan stof in de omgevingslucht die in 2012 in de relevante meetstations werden gemeten zijn terug te vinden in Tabel 5-18. Gemiddeld voldoen de gemeten PM10 waarden aan de vooropgestelde daggrenswaarde van 50 µg/m³, bepaald door Europese Richtlijn 2008/50/EG voor de bescherming van de gezondheid van de mens. Deze grenswaarde mag niet meer dan 35 keer per jaar overschreden worden.

In de periode 1996-1998 daalden de PM10-concentraties sterk. In de periode 1999-2006 schommelden de concentraties, maar de voorbije jaren was er een lichte daling te merken. Deze dalende trend is zichtbaar voor alle meetstations (VMM, 2013).

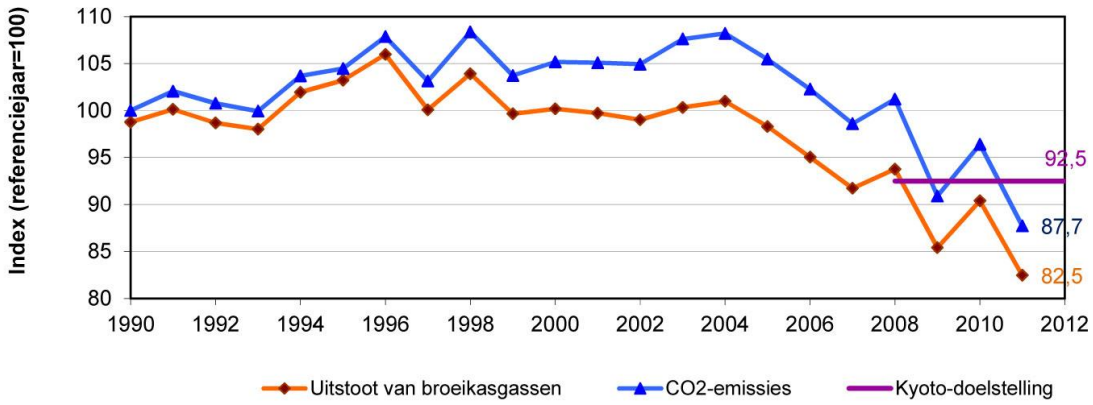
Tabel 5-18: Gemiddelde, 50-percentiel en 98-percentielwaarde voor stof in de omgeving van de kust (dagwaarden in µg/m³) (VMM, 2013)

Meetstation PM10	Gemiddelde (µg/m³)	50-percentieel (µg/m³)	98-percentieel (µg/m³)
Moerkerke	23	19	82
Houtem	22	18	81

5.2.2.2.5 CO_2

CO_2 is niet opgenomen in het meetprogramma van de VMM en er bestaan voor deze parameter ook geen luchtkwaliteitdoelstellingen. CO_2 is het belangrijkste broeikasgas van antropogene oorsprong. De concentratie in de atmosfeer is gestegen van 280 ppm (pre-industriële toestand) naar 397,21 ppm in 2013 (NOAA, 2014). De CO_2-uitstoot van fossiele oorsprong is aanzienlijk gestegen tussen 1990 (22,1 Gt CO_2 per jaar) en 2011 (33,4 Gt CO_2 per jaar) (JRC, 2011).

In 2011 bedroeg de totale uitstoot van broeikasgassen in België 120,2 Mt CO_2-equivalenten, wat een daling van 16,5% inhoudt ten opzichte van referentiejaar 1990 (Figuur 5-40). De uitstoot van CO_2 is gedaald met 12,3% in vergelijking met 1990. Bijkomende inspanning blijven evenwel noodzakelijk aangezien de EU beslist heeft om tegen 2020 de emissies met minstens 20 % te verminderen t.o.v. het niveau van 1990. Ook de uitstoot van algemene luchtverontreinigende componenten CO, SO_2, en PM10 dient beperkt te worden in het kader van de NEC-richtlijn (2001/81/EG).



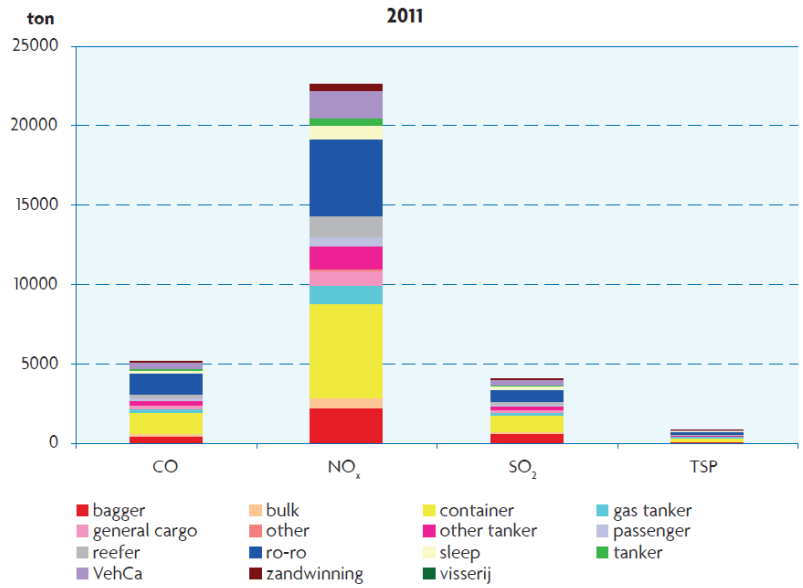
Figuur 5-40 Evolutie van de uitstoot van broeikasgassen in België (in Mt CO_2-eq) (www.klimaat.be)

5.2.2.2.6 Evaluatie van de luchtkwaliteit

Op basis van het voorgaande kan besloten worden dat de luchtkwaliteit ter hoogte van het projectgebied voor alle relevante componenten ruimschoots aan de vooropgestelde (Europese) luchtkwaliteitdoelstellingen voldoet.

5.2.2.2.7 Emissies tengevolge van zeescheepvaart

In VMM (2012) wordt een overzicht gegeven van de emissies tussen 2000 en 2011 tengevolge van de zeescheepvaart in Vlaanderen. Het betreft hier de scheepvaart in Vlaamse havens, op de Schelde bij de haven van Antwerpen en op het BDNZ, exclusief de internationale noord-zuid zeevaartroute via het Kanaal. Figuur 5-41 illustreert de totale uitstoot van de verschillende parameters voor 2011, per scheepstype. De scheepstypes ro-ro en container vertegenwoordigen samen ongeveer de helft van de emissies, terwijl de emissies over de andere scheepstypes ongeveer evenredig verdeeld zijn.



Figuur 5-41 Totale CO-, NO_x-, SO_2- en TSP-emissies (totaal zwevend stof in ton) per scheepstype door de zeescheepvaart in Vlaanderen (2011) (VMM, 2012)

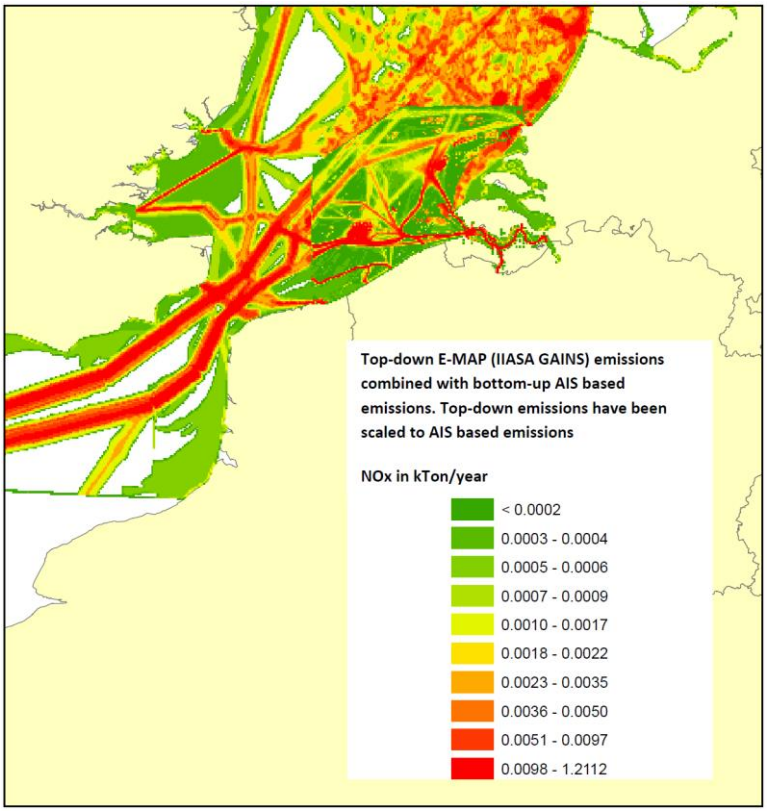
Tabel 5-19 geeft de emissies weer van CO_2, SO_2 en NO_x in de lucht door zeescheepvaart en zeevisserij in 2010 en 2011, opgesplitst naar internationaal (emissies op Belgisch grondgebied in de haven of onderweg, van alle schepen die reizen tussen een Vlaamse en een niet-Vlaamse haven) en binnenlands verkeer (vertrekkend en aankomend in België).

Tabel 5-19 CO2, SO2 en NOx Emissie door zeescheepvaart en zeevisserij in 2010 en 2011 (VMM, 2012)

	Uitstoot in Vlaanderen (ton/jaar)		
	CO_2	**SO_2**	**NO_x**
2010			
zeescheepvaart internationaal	910.958	3.813	18.969
zeescheepvaart binnenlands	188.958	1.135	3.833
zeeviserij internationaal	3.000	4	52
zeevisserij binnenlands	5.000	6	72
Totaal	1.107.916	4.958	22.926
2011			
zeescheepvaart internationaal	900.459	3.108	18.453
zeescheepvaart binnenlands	189.457	936	3.766
zeeviserij internationaal	3.000	4	52
zeevisserij binnenlands	5.000	6	72
Totaal	1.097.916	4.054	22.343

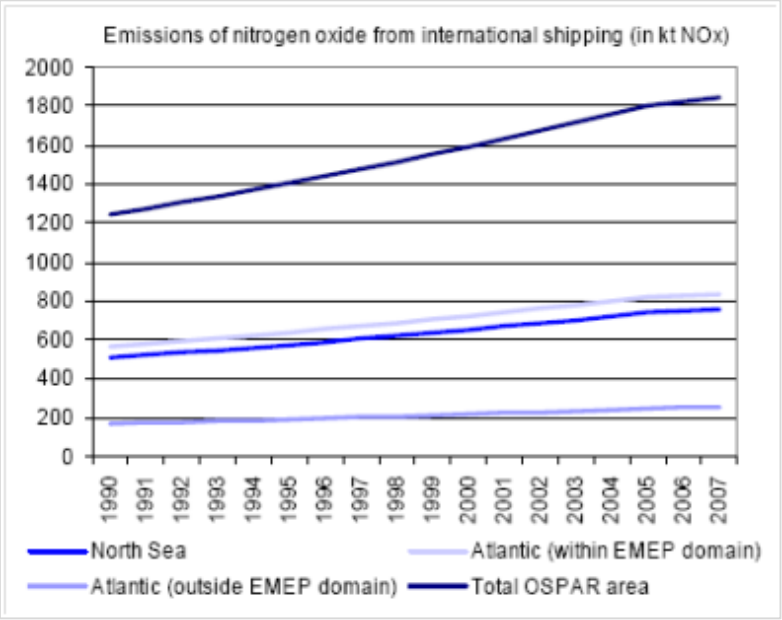
De emissies van alle luchtverontreinigende stoffen, uitgestoten door de binnenlandse zeescheepvaart in Vlaanderen, dalen over het algemeen in 2011 ten opzichte van 2010 (VMM, 2010). In de uitstoot door de binnenlandse zeescheepvaart is het aandeel van de bagger- en sleepactiviteiten heel groot. Hierbij dient wel opgemerkt dat de berekeningsmethode voor de emissies van baggerschepen en sleepboten, gebeurt met een vereenvoudigde methode op basis van brandstofverbruik (VMM, 2012).

In het kader van het SHIPFLUX project werden in 2010 en 2011 zeven meetcampagnes uitgevoerd voor het meten van de luchtvervuiling door scheepvaart (NO, NO_2, NOx, O_3, SO_2) op zee (BDNZ ter) en aan de kust (De Haan) (Bencs *et al*., 2012). De atmosferische concentraties waren hoger ter hoogte van de belangrijkste scheepvaartroutes en de directe omgeving dan in de offshore en kust referentielocaties. De verhoging in concentraties nabij de scheepsroutes varieerde aanzienlijk met de atmosferische omstandigheden (wind snelheid, richting, mist, temperatuur, etc.) (Bencs *et al*., 2012). Deze data werden gebruikt voor het opzetten van luchtkwaliteitsmodellen van het BDNZ (zie ook § 5.2.2.3). Verschillende aanpakken werden vergeleken voor het opstellen van de modellen, o.a. op basis van AIS data en emissiefactoren. Figuur 5-42 toont de gemodelleerde NO_x uistoot op het Belgisch deel van de Noordzee voor het jaar 2009.



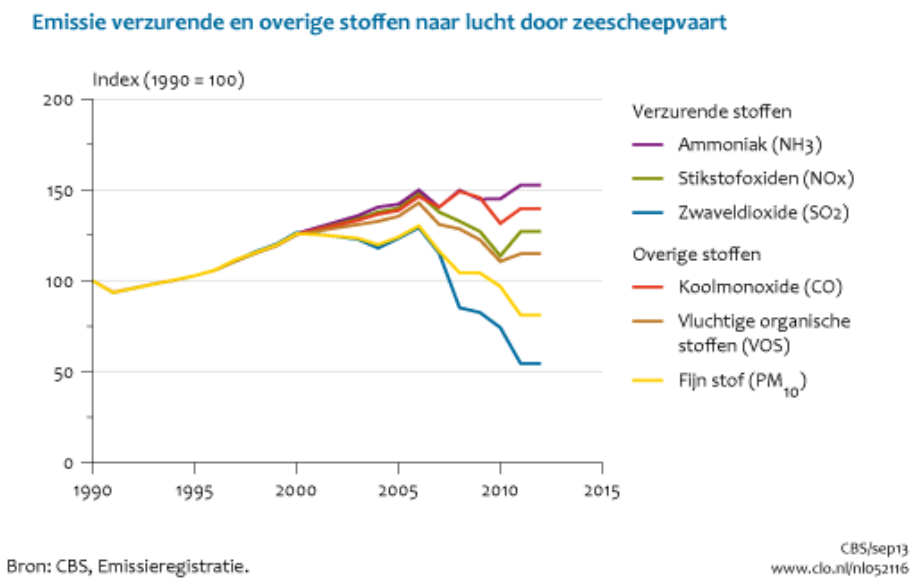
Figuur 5-42 Gemodelleerde offshore NO_x emissies (in kt/jaar) in 2009 (Bincs et al., 2012)

Daarnaast zijn ook EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) uitstootgegevens beschikbaar van scheepsverkeer in de Noordzee (OSPAR, 2010). In de Noordzee is de totale bijdrage aan NO_x rechtstreeks afkomstig van het internationaal scheepsverkeer sterk toegenomen sinds 1998, zoals weergegeven in Figuur 5-43.



Figuur 5-43 NOx uitstoot van internationaal scheepvaartverkeer in kt NOx per jaar in 1990-2007, gebaseerd op EMEP emissie data (OSPAR, 2010)

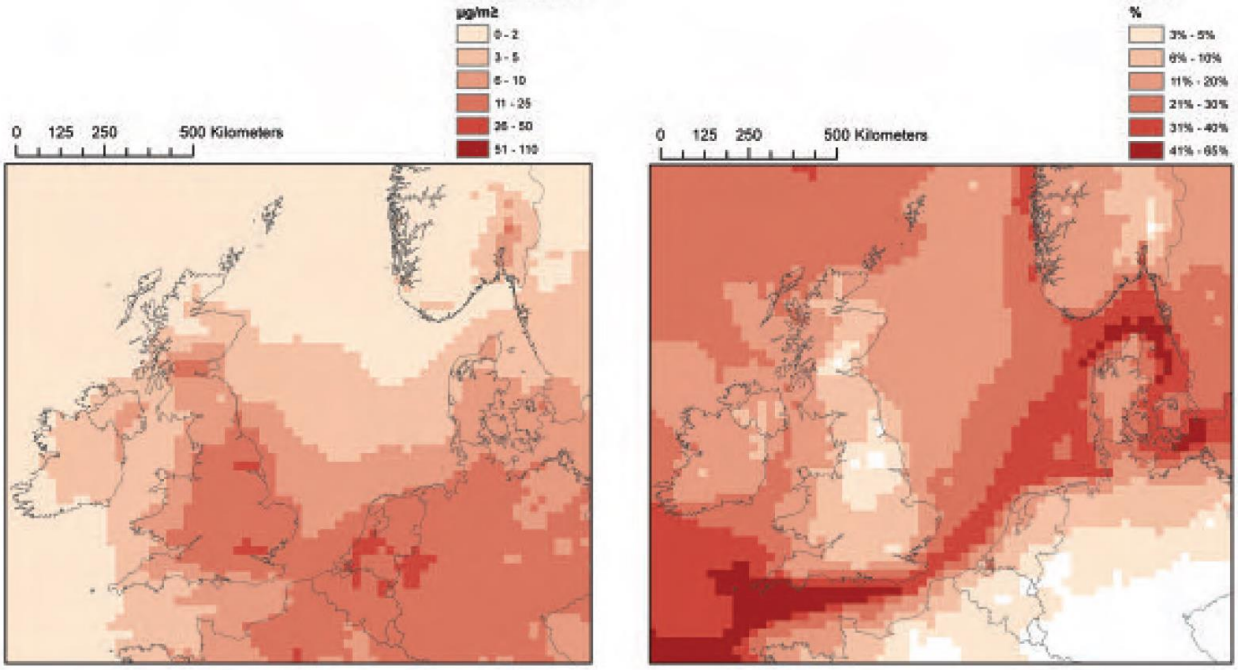
De zeevaart op het Nederlands Continentaal Plat en in de Nederlandse zeehavens heeft vanaf 2007 aanzienlijk minder luchtverontreiniging veroorzaakt dan in de jaren ervoor (Figuur 5-44) (CBS, PBL, Wageningen UR, 2013). Tussen 2006 en 2012 is de uitstoot van SO_2 58% afgenomen, terwijl de uitstoot van fijn stof met een kwart is verminderd. Ook bij NO_x is in deze periode een daling zichtbaar met 14%. De oorzaak van deze lagere emissies is tweeledig. Doordat schepen de laatste jaren minder snel varen, verbruiken zij minder brandstof. Daarnaast is het zwavelgehalte van de brandstoffen voor schepen die varen op de Noordzee stelselmatig verlaagd van 1,5% naar 1% sinds juli 2010.



Figuur 5-44 Emissies verzurende en overige stoffen naar de lucht door zeescheepvaart in Nederland (1990-2012) (CBS, PBL, Wageningen UR, 2013)

CNSS (Clean North Sea Shipping) (2014) modelleerde voor 2011 de bijdrage van scheepvaart op de luchtkwaliteit in het Noordzeegebied door middel van een drie-dimensioneel 'chemisch transport model' CMAQ. Dit model houdt rekening met uitstoot en meteorologische variabelen zoals wind snelheid, richten en temperatuur om het transport en de chemische omzettingen van vervuilende stoffen in de atmosfeer te simuleren.

Figuur 5-45 toont de gemodelleerde aandeel van de scheepvaart aan de NO_x concentratie boven de Noordzee tijdens de zomer van 2011. Op het BDNZ is 21-30% van de heersende concentratie tijdens de zomer ten gevolge van scheepvaart. Tijdens de winter is het aandeel relatief lager door de bijdrage van verwarming op land.



Figuur 5-45 Gemodelleerde NOx concentratie in de zomer van 2011. Links: concentratie NO_x in µg/m³, rechts: aandeel in % door scheepvaart (CNSS, 2014)

Door de internationale scheepvaartorganisatie (IMO, International Maritime Organisation) zijn beperkingen opgesteld van het zwavelgehalte in stookolie voor zeeschepen. Deze zijn opgenomen in het zogenaamde MARPOL-verdrag voor het voorkomen van verontreiniging door schepen. Op volle zee mag sinds 2012 nog stookolie met maximaal 35.000 ppm zwavel worden gebruikt (voordien 45.000 ppm). Na 2020 moet dit gehalte dalen naar 5.000 ppm zwavel. Sinds 2007 moesten schepen in zogenaamde 'emission control areas' (SECA), waaronder de Noordzee, al voldoen aan een maximum limiet van 15.000 ppm zwavel. Vanaf 2010 is deze limiet verscherpt tot maximaal 10.000 ppm zwavel, en na 2015 is het maximum 1.000 ppm zwavel.

5.2.2.3 Autonome ontwikkeling

De autonome ontwikkeling van het globale klimaat is relatief moeilijk in te schatten gezien de problematiek rond het broeikaseffect en de opwarming van de aarde. De globale atmosferische concentraties van de broeikasgassen koolstofdioxide (CO_2), lachgas (N_2O) en methaan (CH_4) zijn veel hoger nu dan in de pre-industriële tijden. De stijging van de concentraties CO_2 en CH_4 is voornamelijk te wijten aan de emissies die worden veroorzaakt door het gebruik van de fossiele brandstoffen, de landbouw en de wijziging van landgebruik.

De verwachtingen omtrent de toename van de globale gemiddelde temperatuur tegen 2100 hangen af van het emissiescenario, maar zou volgens het IPCC kunnen gaan tot 4,8°C vergeleken met de periode 1986-2005 (Collins *et al*., 2013). De verwachte stijging van de zeespiegel tegen 2100 ten gevolge van thermische uitzetting van zeewater en smeltende ijskappen wordt ingeschat op 0,26-0,98 m (afhankelijk van het gebruikte model) ten opzichte van de periode 1986-2005 (Church *et al*., 2013).

Wat betreft de luchtkwaliteit, kan gesteld worden dat de emissies, die een gevolg zijn van het materiaalgebruik, de constructie en ontmanteling van de parken niet zullen plaatsvinden bij een autonome ontwikkeling. Bijgevolg zal er geen tijdelijke beïnvloeding zijn van de lokale luchtkwaliteit. Daarentegen zal de vermeden uitstoot als gevolg van de elektriciteitsproductie door de parken toch geproduceerd worden en zal de CO_2-concentratie in de atmosfeer zonder verregaande reductiemaatregelen verder toenemen.

De schaalgrootte in de scheepvaart neemt wel steeds toe. Dit betekent dat meer en meer grote schepen de West-Europese havens zullen aandoen en de vaargeulen op de Noordzee nodig hebben om deze havens te bereiken. De frequentie van de vaarbewegingen van alle zeeschepen samen op de vaarroutes in de Noordzee zullen eerder gaan stagneren, gezien de groei van de havens en de goederenoverslag wordt opgevangen door de toename van de scheepsgrootte.

De eisen inzake luchtkwaliteit worden in de komende jaren nog verder opgeschroefd. Zoals eerder vermeldt heeft het IMO (International Maritime Organisation) vastgelegd dat vanaf 2015 op de Noordzee alleen het gebruik van brandstof met minder dan 0,1% zwavel is toegestaan. Emissies zullen dus waarschijnlijk in werkelijkheid minder zijn, wat de luchtkwaliteit positief zal beïnvloeden.

CNSS onderzoekt verschillende technologieën die het mogelijk zouden maken de uitstoot van schepen in de Noordzee te verminderen. Om het effect van die technologieën en de veranderende MARPOL richtlijnen voor SOx en NOx in te schatten werden verschillende emissie scenario's ontwikkeld door CNSS voor het jaar 2030 (CNSS, 2014). Afhankelijk van hoe strikt en vanaf welk jaar de richtlijnen worden toegepast en de toekomstige kostprijs van LNG kan de NOx uitstoot in 2030 tot 15% verminderen ten opzichte van 2011. Voor het worst-case scenario, wanneer de toekomstige richtlijnen worden uitgesteld wegens het slechte economische klimaat (enkel richtlijn van 0,1% S in brandstoffen vanaf 2020 in SECA landen) zal de uitstoot tot 15% toenemen ten opzichte van 2011.

Ook in het kader van SHIPFLUX werd een toekomst scenario gemodelleerd (2020), rekening houdend met de implementatie van de MARPOL-richtlijnen. Bovendien werden van de belangrijkste luchtverontreinigende stoffen de afzetting ervan op het BDNZ bepaald en het scheepsaandeel ervan. Door de vermindering van de zwavelinhoud in scheepsbrandstof zou de afzetting van zwavel op het BDNZ verminderen en zou het aandeel van de scheepsuitstoot aan de zwavelafzetting verminderen van 23% in 2009 naar 3% in 2020 (Bencs, *et al.*, 2012).

5.2.3 Effecten

5.2.3.1 Klimaat

Voor de bespreking van de effecten op het klimaat wordt aandacht besteed aan drie aspecten, namelijk de effecten die bijdragen tot de globale klimaatsverandering, de effecten op het lokale windklimaat en tenslotte de effecten die de elektrische bekabeling van enerzijds de windturbines en anderzijds de WEC's kunnen hebben op het lokale temperatuursklimaat en de interactie met de directe omgeving (zeebodem en waterkolom).

5.2.3.1.1 Constructiefase

Gedurende de inrichting van de parken zullen het globale klimaat en het lokale windklimaat geen effecten (0) ondervinden.

5.2.3.1.2 Operationele fase

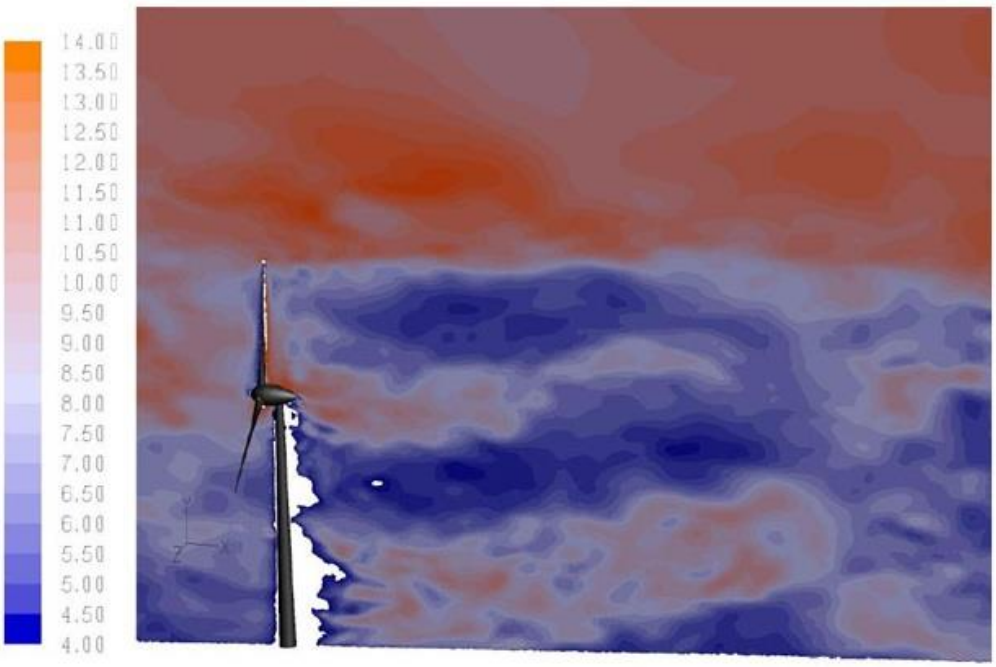
Globaal klimaat

De belangrijkste impact van de exploitatie van de parken is de reductie van de emissies van broeikasgassen, die mee verantwoordelijk zijn voor de globale klimaatsverandering. De netto elektriciteitsproductie van de energieparken dient niet door middel van klassieke energie te worden opgewekt, wat aanleiding geeft tot vermeden emissies op het land (verder besproken in § 5.2.3.2).

De energieparken zullen slechts in zeer kleine mate bijdragen tot het reduceren van de uitstoot van broeikasgassen op wereldschaal, maar zal wel een meetbare bijdrage leveren op lokaal Belgisch vlak. Het effect op het globaal klimaat wordt daarom als gering positief beoordeeld (0/+).

Lokaal windklimaat

De impact van de windparken op het lokale windklimaat wordt enerzijds veroorzaakt door het feit dat de windturbines een obstakel zijn voor de wind, en anderzijds doordat de windturbines energie onttrekken aan de wind. Daardoor ontstaat achter de rotor een turbulente zogstroming met lagere windsnelheden (Figuur 5-46). De wind is dus binnen het park en in de nabije omtrek vertraagd en ook verstoord. Brand (2009) berekende dat de windsnelheid achter een offshore windpark ca. 40% lager is dan vlak ervoor. Om het verlies in windsnelheid achter een windpark te beperken tot 0,5 m/s dient een tussenafstand van 10 tot 30 km in acht genomen te worden tussen de parken in de overheersende windrichting (WZW) (Brand, 2009).



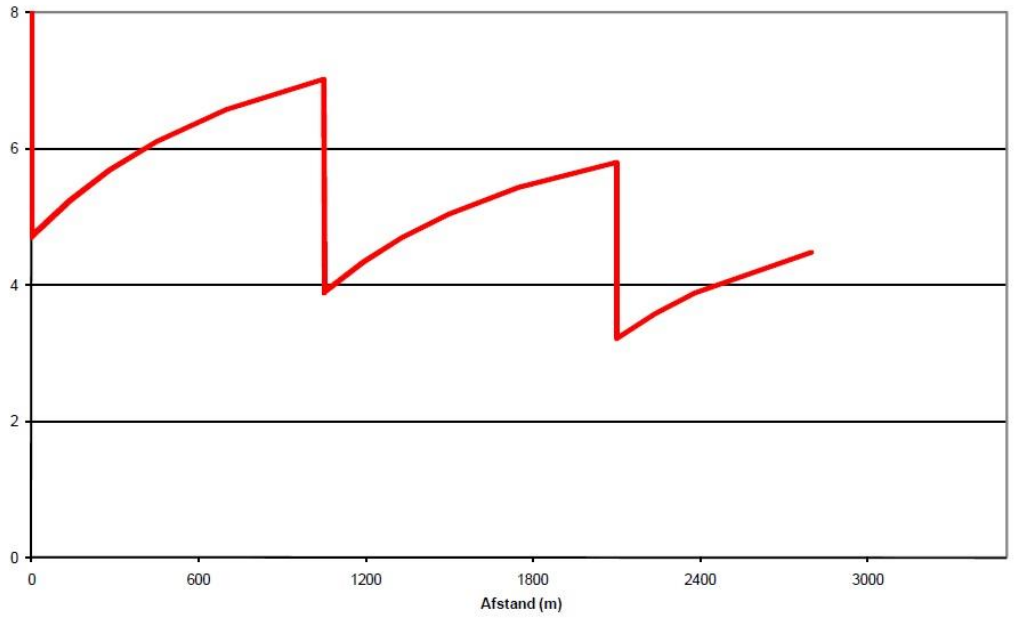
Figuur 5-46 Contouren van de windsnelheden (in m/s) bij een gemiddelde v_{in}=10 m/s op rotorhoogte (Wußow et al., 2007)

Om de onderlinge afstand tussen de windturbines te bepalen moet er een optimalisatie gevonden worden tussen twee factoren. Enerzijds moeten de turbines op een zekere afstand van elkaar geplaatst worden om de opbrengst van de individuele turbines te maximaliseren. Anderzijds is het geïnstalleerd vermogen per oppervlakte best zo groot mogelijk om een

optimale benutting van de beschikbare zone te bekomen. In elk geval dient er een minimale afstand gehouden te worden om de turbulenties en bijgevolg de resulterende belasting van de windturbines tot een aanvaardbaar niveau te beperken. In de overheersende windrichting wordt over het algemeen een gemiddelde afstand van 5,5 tot 8 rotordiameters gerespecteerd tussen rijen (afstand in de hoofdwindrichting) en een tussenafstand van 3,5 tot 5 rotordiameters in de rij (voor turbines van 7 MW) (Tractebel Engineering, 2010, 2011) als rudimentaire ontwerpregels.

Een actuele optimalisatiestudie met gelijkaardige turbines als voorgesteld door Mermaid en Northwester 2, geeft ontwerpwaarden voor de onderlinge tussenafstand in het park van 3,3-4,5 rotordiameters in de rij (resp. 7 MW-10 MW) en 6,0-6,1 rotordiameters tussen rijen (in windrichting) (resp. 10 MW-7 MW) (3E, 2011).

In Figuur 5-47 wordt het cumulatieve effect van verschillende windturbines achter elkaar weergegeven (Sanderhoff, 1993). De wind heeft net achter de eerste windturbine bijna 45% van zijn snelheid verloren. Juist voor de tweede windturbine bedraagt de windsnelheid terug ca. 82% van zijn initiële waarde, na de tweede windturbine neemt de windsnelheid opnieuw af met ca. 45%, etc. De windturbines bevinden zich evenwel niet perfect achter elkaar zodat het effect van de eerste rij windturbines op de tweede rij kleiner zal zijn. De efficiëntie van de windturbines hangt dus af van de opstelling en de windrichting.



Figuur 5-47 Cumulatief effect van verschillende windturbines op één rij achter elkaar (met een windrichting parallel aan de windturbines) (Sanderhoff, 1993)

Een tweede factor die het lokale windklimaat beïnvloedt, is de turbulentie veroorzaakt door de windturbines. De turbulentie intensiteit verhoogt namelijk in het zog van de windturbine. Het effect van deze parameter is over een grotere afstand merkbaar dan de windsnelheid. Turbulentie is voornamelijk belangrijk voor de stressgevoeligheid van het materiaal, maar binnen het park heeft turbulentie eveneens een effect op de efficiëntie. Hoe dichter twee windturbines bij elkaar geplaatst zijn, hoe hoger de turbulentie.

De effecten van de parken op het lokale windklimaat zullen beperkt blijven tot zeer lokale effecten en worden bijgevolg als gering negatief (0/-) beoordeeld.

Lokaal temperatuursklimaat onder invloed van kabels

Bij het transport van elektriciteit ontstaan kleine energieverliezen. De beperkte energie die verloren gaat, wordt omgezet in warmte. Het type kabel (gelijkstroom of wisselstroom, mono- of bipolair, gebundeld of niet gebundeld, type isolatiemateriaal, diepte waarop de kabel wordt gelegd), het aantal kV en de karakteristieken van de omgeving (thermische conductiviteit en weerstand van de bodem waarin de kabel is geplaatst) bepalen het energieverlies en dus de hoeveelheid warmte die vrijkomt (Merck, 2009). Merck (2009) geeft hierbij aan dat warmteverlies groter is bij wisselspanning (zoals de kabels Mermaid en Northwester 2) dan bij gelijkspanning.

Grontmij (2006) geeft aan dat bij een maximale belasting van de elektriciteitskabels van het windpark van Katwijk de kabels intern zullen opwarmen tot ca. 60°C. Er bestaat nog onduidelijkheid betreffende de graad van opwarming van de zeebodem gaande van een stijging van de temperatuur juist boven de kabel van 0,19°C (BERR, 2008) tot max. 3°C (Grontmij, 2006). Veldonderzoek uitgevoerd in het Nysted windpark toont aan dat de temperatuursstijging op een diepte van 20 cm boven de kabel niet hoger is dan 1,6°C (Meißner *et al.*, 2007). Wegens de hier vooropgestelde minimale diepteligging van de kabels (1 m onder de lokale zeebodem), zal dit voor een beperkte en zeer lokale opwarming zorgen van de zeebodem aan het oppervlak, die niet altijd te onderscheiden is van de natuurlijke fluctuaties in de omgeving (BERR, 2008). Aangezien de warmte-productie door de ingegraven kabels hier eerder gering is en de effecten zeer lokaal zijn, wordt het effect van opwarming als verwaarloosbaar (0/-) beoordeeld. De effecten van de opwarming op fauna wordt besproken in § 5.4.3.1.5.

De in de zeebodem ingegraven elektrische kabels voor de WEC's hebben een kleinere capaciteit dan die van de WTG's, maar de ruimtelijke spreiding van de kabels bij bepaalde types WEC's (bvb. Seabased) is veel groter. Maar aangezien de warmte-productie door de ingegraven kabels gering is en de effecten zeer lokaal zijn, wordt ook het effect van opwarming door de bekabeling voor WEC's als verwaarloosbaar (0/-) beoordeeld. De elektrische WEC kabels die in de waterkolom zweven zullen warmte afgeven aan het omringende water door energieverlies. Dit warmteverlies zal door stroming en golfwerking evenwel zeer snel verspreid worden doorheen het water. De aanwezigheid van de kabel heeft daarom geen impact op de temperatuur van de waterkolom (0).

5.2.3.1.3 Ontmantelingsfase

Gedurende de ontmanteling van de twee parken zullen het globale klimaat en het lokale windklimaat geen effecten (0) ondervinden.

5.2.3.2 Atmosfeer

Voor de bepaling van de impact van de bouw van een energiepark op de luchtkwaliteit, dient enerzijds rekening gehouden te worden met de emissies die vrijkomen als gevolg van het energieverbruik tijdens de productiefase, de constructiefase, de operationele fase en de ontmantelingsfase, en anderzijds met de vermeden emissies tijdens de operationele fase door het gebruik van wind- en golfenergie in plaats van klassieke energiebronnen.

In wat volgt wordt in de mate van het mogelijke een opsplitsing gemaakt tussen de verschillende fases, maar wat uiteindelijk telt, is de balans van energieverbruik versus energieproductie en geproduceerde versus vermeden emissies gedurende de volledige levenscyclus van de windparken. Een gedetailleerde beschrijving van de levenscyclus en de

berekeningen van de CO_2-emissies en het energieverbruik, inclusief de bekabeling en de WEC's zijn gegeven in het LCA- rapport in de externe bijlage (IMDC, 2014c).

5.2.3.2.1 LCA windturbines en bekabeling

Productiefase

10 MW turbine

Tijdens de productiefase worden de verschillende onderdelen van de windturbine en zijn fundering aangemaakt. Deze fase omvat de ontginning en verwerking van de basisgrondstoffen die nodig zijn voor de productie van de verschillende onderdelen van een windturbine of zijn fundering. En daarnaast ook de productie van de verschillende onderdelen zelf en een eventuele voorafgaande montage in een nabijgelegen haven.

Door de snelle ontwikkelingen in de offshore windindustrie, waarbij nieuwe technieken en mechanismen toegepast worden om de efficiëntie van de turbines en de energieopbrengst per turbine te vergroten, kunnen het energieverbruik en de CO_2-emissie tijdens de productiefase niet exact bepaald worden. In IMDC (2014c) wordt een inschatting gemaakt van het energieverbruik en de CO_2-uitstoot tijdens de productie van een 10 MW windturbine, rekening houdend met de massa en het materiaal waaruit de verschillende onderdelen zijn opgebouwd. Hieruit blijkt dat het type fundering (verschillende grondstof en verschillend volume) een belangrijke invloed heeft op het energieverbruik en uitstoot van broeikasgassen tijdens de productiefase.

Tijdens de productiefase van een 10 MW windturbine wordt ca. 11,3 GWh energie verbruikt. Bij de productie van een transitiestuk voor een dergelijke turbine wordt ca. 725 MWh aan energie gebruikt. De totale energieconsumptie voor de productie van een 10 MW turbine op JF bedraagt ca. 16 GWh, voor een gelijkaardige turbine op een GBF wordt ca. 18 GWh energie gebruikt. Hierbij komt respectievelijk ca. 22.000 en 23.000 ton CO_2 vrij.

Bekabeling

Als typevoorbeelden worden 66 kV (parkkabels) en 220 kV (exportkabels) driefasig wisselstroom kabels met geïntegreerde glasvezelkabel aangenomen. De opbouw van de exportkabel is gelijkaardig aan de opbouw van de 66 kV kabel, enkel zullen de diameters van de verschillende materialen groter zijn.

Voor de productie van de ruwe materialen van 1 km 66 kV parkkabel is er ruim 1,25 GWh vereist, en wordt ca. 290 ton CO_2 uitgestoten. Voor 1 km 220 kV exportkabel is 1,67 GWh nodig en wordt er 370 ton CO_2 uitgestoten. Voor het combineren van deze materialen tot een park- of exportkabel blijkt uit Birkeland (2011) dat er een gelijkaardige hoeveelheid energie nodig is als voor de productie van de materialen die de kabels samenstellen. Deze berekeningen geven aan dat dit productieproces instaat voor ca. 29% van de totale impact op het milieu van de kabel. Hiervan uitgaande is er ca 2,50 GWh energie nodig om 1 km parkkabel (66 kV) te produceren en 3,34 GWh voor een 220 kV exportkabel. Aangezien de elektriciteitsmix in Noord Europa, waar de belangrijkste kabelproducenten hun fabrieken hebben, voor een belangrijk deel uit duurzame energiebronnen afkomstig is wordt er 392 ton CO_2/GWh als conversiefactor gebruikt. Tijdens het complete productieproces van 1 km 66 kV parkkabel wordt er ca. 780 ton CO_2 uitgestoten en 1.023 to CO_2 voor 1 km 220 kV exportkabel.

Transportfase

10 MW turbine

De transportfase omvat het transport van de productielocatie naar een nabijgelegen haven (in dit geval de haven van Oostende) en het transport van die haven naar het concessiegebied. Doordat het type windturbine dat gebruikt zal worden vandaag nog niet finaal is vastgelegd (als onderdeel van het lopende integrale ontwerpproces van het windpark) is het nog niet mogelijk om een productielocatie vast te leggen. In IMDC (2014c) wordt verondersteld dat de turbines ergens in Noord-Duitsland of Denemarken gemaakt zullen worden. Van de transitiestukken en funderingen wordt verondersteld dat ze in België zelf geproduceerd zullen worden.

Het exacte aantal transporten is nog niet bekend, maar het is logisch dat het scenario met het grootste aantal turbines (scenario 1 voor zowel Mermaid als Northwester 2) het grootste aantal transporten zal omvatten. Het kanaal behoort tot de drukst bevaren scheepvaartroutes en er wordt dan ook verwacht dat de emissies van vaartuigen bij het transport en de constructie van de windparken slechts een zeer beperkte invloed zullen hebben op de lokale luchtkwaliteit. Meer info over het ingezette materieel en de hoeveelheid transporten kan gevonden worden in hoofdstuk 2.

Het totale energieverbruik voor alle transport van een 10 MW turbine is afhankelijk van het type fundering dat toegepast zal worden, een GBF wordt immers in de haven zelf aangemaakt, maar is dan weer veel moeilijker te vervoeren dan een JF of MP, die vaak met een aantal tegelijkertijd naar de concessiezone (op 55 km) worden gebracht. In IMDC (2014c) bedraagt de schatting voor alle transport van een windturbine op JF of GBF, respectievelijk 194 en 217 MWh. Hierbij zou een CO_2-uitstoot van ca. 52 en 56,5 ton gegenereerd worden. Bij de berekeningen werd rekening gehouden met gekende types schepen met specifiek vermogen en brandstofverbruik per kilometer.

Bekabeling

Voor deze studie wordt er van uitgegaan dat alle activiteiten gerelateerd aan de eigenlijke kabelinstallatie uitgevoerd zullen worden door een state of the art kabellegschip (bijvoorbeeld het veelzijdige werkschip Willem de Vlamingh).

Rekening houdend met het laadvermogen van de draaitafel op een dergelijk kabellegschip, kan maximaal ca. 63,5 km parkkabel (66 kV) of 41 km exportkabel (220 kV) aan boord worden genomen. De kabels zullen rechtstreeks worden opgehaald bij de producent van de kabel, bijvoorbeeld ergens in het zuiden van Zweden, ongeveer een 1.030 km (555 NM) verwijderd van de gecombineerde concessie Mermaid – Northwester 2.

Tijdens de totale trip wordt er ca. 0,07 ton CO_2 per ton getransporteerde kabel uitgestoten. Voor de totale lading bedraagt dit ca. 367 ton CO_2. Per km getransporteerde kabel betekent dit een energieconsumptie van 7,8 MWh en 5,8 ton CO_2 voor de 66 kV kabels en 12 MWh en 9 ton CO_2 voor de 220 kV kabels.

Constructiefase

10 MW turbine

Het energieverbruik tijdens de constructiefase bestaat in hoofdzaak uit de energie die nodig is voor het heffen en monteren van de verschillende delen. Daarnaast dienen ook eventuele voorbereidende baggerwerken, het heien van palen en storten van erosiebescherming in rekening gebracht te worden. Welke van deze werken allemaal dienen uitgevoerd te worden is

sterk afhankelijk van het gekozen funderingstype en de omgeving waarin de turbines geplaatst zullen worden (diepte, stroomsnelheid, stroomrichting, enz.). GBF-funderingen zullen bijvoorbeeld meer energie vragen, aangezien hiervoor extra baggerwerken nodig zijn.

In de LCA wordt een energieverbruik van 580 tot 650 MWh ingeschat tijdens het plaatsen van de windturbine. Tijdens deze fase zou in dat geval ca. 165 tot 185 ton CO_2 vrijkomen, rekeninghoudend met een CO_2-uitstoot van 284 g/kWh (Defra, 2012).

Bekabeling

In deze fase wordt uitgegaan dat de parkkabels geïnstalleerd worden door middel van jetting en de exportkabels door middel van trenchen (baggeren).

Bij de jettingtechniek worden de kabels door eenzelfde schip geplaatst en begraven. Het kabelleggen gebeurt met een snelheid van ca. 3,3 km per dag wanneer enkel de kabel gelegd dient te worden. Bij directe begraving wordt deze snelheid gehalveerd.

Tabel 5-20 Berekende waarden voor het leggen van 1 km kabel gebruik makende van twee verschillende technieken

Techniek	Snelheid	Duur	Gewicht	Energieverbruik	CO_2 uitstoot
Enkel leggen (66/220 kV)	3,3 km/dag	7u 20 min	85 ton	44.020 kWh	117 ton
Leggen + jetten (66 kV)	1,65 km/dag	14u 40 min	85 ton	88.645 kWh	234 ton

Het is mogelijk dat de 66 kV kabels ook gebruikt worden als verbindingskabels tot aan de Alpha-installatie. Voor het leggen van deze 66 kV kabels buiten de concessiegebieden, wordt verwacht dat er geen gebruik zal gemaakt worden van een ploeg of de jetting-techniek, maar dat de kabelsleuven eerst gebaggerd zullen worden, net zoals dit het geval is voor de 220 kV exportkabels. Voor 1 km sleuf dient netto ca. 15.000 m³ gebaggerd te worden (16.800 m³ beunvolume of 31.800 ton zand).

De totale baggercyclus bestaat uit het opbaggeren van de specie, het transport ervan naar de tijdelijke stortzone, het dumpen en het terugvaren naar de baggerzone. De totale energieconsumptie bedraagt 57.487 kWh per baggercyclus en de CO_2-uitstoot 27 ton per trip. De energieconsumptie en CO_2-uitstoot voor trenchen van 1 km 66 kV of 220 kV kabel wordt gegeven in Tabel 5-21.

Tabel 5-21 Energieconsumptie en CO_2 uitstoot voor 1 km kabel

Fase	Aantal trips	Energieconsumptie (kWh)	CO_2 uitstoot (ton)
Baggeren geul	1,33	76.170	36
Kabel leggen	1	44.020	117
Vullen geul	1,9	109.225	51
Totaal	4	229.415	204

Extra transportbewegingen worden voorzien voor assisterende schepen. Voor een trip van ca. 50 km (Zeebrugge-Mermaid-Northwester 2) wordt ingeschat dat ca. 6,6 ton CO_2 en 5.100 kWh energie wordt verbruikt.

Voor het kruisen van kabels of leidingen worden extra scheepsbewegingen voorzien voor de plaatsing van de beschermingsmatten en steenbestorting. Er wordt verondersteld dat één barge met beschermingsmatten minstens 3 kruisingen met kabels en gasleidingen kan uitvoeren. Per kruising betekent dit een CO_2 uitstoot van ca. 1,7 ton en een energieverbruik van ca. 1.345 kWh.

Personeelstransport per schip gedurende de constructiefase worden geraamd op 100 transporten, onafhankelijk van de gekozen configuratie. De transportbewegingen voor het personeel vinden plaats over de gehele duur van de constructiefase. Er wordt uitgegaan van het feit dat het personeel aan boord blijft bij de installatieschepen. Voor een trip van ca. 50 km (Zeebrugge-Mermaid-Northwester 2) genereert een enkel transport ca. 6,6 ton CO_2 en verbruikt ze 5.100 kWh energie.

Operationele fase

10 MW turbine

Tijdens de exploitatiefase zal er een beperkt energieverbruik zijn voor inspectie en onderhoud van het turbinepark. In de LCA van IMDC (2014c) wordt het totale energieverbruik tijdens de operationele fase geschat op ca. 3.300 MWh per turbine. Hierbij wordt verondersteld dat elke turbine 20 jaar in gebruik zal zijn en er ca. 255 dagen per jaar onderhoud nodig is met 2 schepen met specifiek vermogen en vaarsnelheid. De CO_2-uitstoot gedurende die 20 jaar bedraagt ca. 937 ton per turbine. In de LCA studie van Vestas (2006) werd het energieverbruik en de CO_2-productie voor inspectie en onderhoud tijdens de operationele fase zwaar onderschat vergeleken met de ervaringen van de bestaande Belgische windparken.

Aangezien uiteindelijk de volledige Belgische windconcessiezone zal afgesloten worden voor scheepvaart, zullen schepen moeten omvaren. MARIN-IMDC (2014) becijferde dat voor het omvaren wanneer alle windparken gerealiseerd zijn, de CO_2 uitstoot ten opzichte van een referentiescenario (alle parken, uitgezonderd Mermaid en Northwester 2 als gerealiseerd) op het BDNZ zal afnemen met 0,01%, wegens het meer gestroomlijnde verkeer rondom Mermaid. Maar inclusief het omliggende Nederlands, Frans en Brits grondgebied zou dit leiden tot een lichte verhoging van de emissies door scheepvaart (plus 0.18% ten opzichte van de situatie zonder Mermaid en Northwester 2) (MARIN-IMDC, 2014 in bijlage). De verwachtte emissies voor het scenario met realisatie van alle parken en de relatieve toename ten opzichte van de situatie zonder Mermaid en Northwester 2 gerealiseerd staan opgelijst in Tabel 5-22.

De grootteorde van de afname in emissies op het BDNZ is afhankelijk van het type schip en scheepsgrootte. In een eerdere studie werd berekend dat door de bouw van de eerste windparken (C-Power, Belwind en Northwind, i.e. de huidige situatie) de toename in afgelegde afstand door omvaren minder is dan 500 NM (MARIN, 2011a, 2011b). Emissies werden toen niet gekoppeld aan de extra afstand.

Tabel 5-22 Verwachte emissies voor het scenario met alle parken gerealiseerd (MARIN-IMDC, 2014) en veranderde emissie op het BDNZ door omvaren t.o.v. het basisscenario

	Mermaid, NW2, Belwind, SeaStar, Northwind, Rentel, C-Power, Norther gerealiseerd t.o.v. basisscenario zonder Mermaid of NW2		
	Op BDNZ na omvaren (ton/jaar)	Relatief t.o.v. basisscenario	Absolute verandering t.o.v. basisscenario (ton/jaar)
CO_2	679.000	-0,01%	-70
CO	3.000	-0,02%	-0,6
SO_2	7.000	-0,01%	-0,7
NO_x	8.000	-0,03%	-2,4

Het belangrijkste effect tijdens de operationele fase is de vermeden emissies op het land als gevolg van de netto elektriciteitsproductie van de parken (900 - 1.200 GWh/jaar[1] voor Mermaid en 850 – 1.100 GWh/jaar voor Northwester 2) die niet door middel van klassieke, al dan niet in combinatie met nucleaire, productie dient te worden opgewekt. In de praktijk zullen deze emissies niet strikt vermeden worden, maar zal de toename van de totale emissies afgeremd worden. De omvang van deze vermeden emissies op het land is afhankelijk van het feit of enkel klassieke of de combinatie van klassieke en nucleaire productie wordt beschouwd voor het opwekken van de netto elektriciteitsproductie van de energieparken. Omwille van de onzekerheid met betrekking tot het tijdstip van de geplande uitstap uit de kernenergie, wordt met beide rekening gehouden. Voor het berekenen van de vermeden emissies wordt uitgegaan van de emissiefactoren voor klassieke thermische elektriciteitsproductie in België (VMM, 2012). De emissiefactor van SO_2 is de voorbije jaren fel gedaald (-31% in 2011 t.o.v. 2010) door een daling van het stookolie- en vooral het steenkoolverbruik, alsook door het verstoken van steenkool met een lager zwavelgehalte. De daling van de NO_x-emissie is het gevolg van wijzigingen in de brandstofmix en de genomen technische maatregelen. De emissiefactor van CO_2 is licht gestegen door het gebruik van hoogovengas i.p.v. de verbranding van traditionele fossiele brandstoffen (VMM, 2012).

De emissiefactoren voor de gecombineerde klassieke en nucleaire productie in België werden afgeleid uit deze voor de klassieke thermische productie, rekening houdend met een aandeel van 53,7% van de nucleaire productie in de Belgische mix (bron: ENTSO-E), waarbij geen emissies naar lucht voor de nucleaire productie in rekening worden gebracht (Tabel 5-23).

[1] Basisconf. Mermaid: 38 x 6 MW = 228 MW levert opbrengst van ca. 900 GWh/jaar; conf. 1: 80 x 3,3 MW = 264 MW levert opbrengst van ca. 1.000 GWh/jaar; conf. 2: 38 x 8 MW = 304 MW levert opbrengst van ca. 1.200 GWh/jaar. Hierbij wordt rekening gehouden met een geproduceerd vermogen van ongeveer 45% van het geïnstalleerd vermogen.

Tabel 5-23 Emissiefactoren voor elektriciteitsproductie in België in 2011 (VMM, 2012)

	Klassieke productie	Klassieke en nucleaire productie
CO_2 (ton/GWh/jaar)	776	417
SO_2 (ton/GWh/jaar)	0,1	0,054
NO_x (ton/GWh/jaar)	0,1	0,054

Aan de hand van deze emissiefactoren en de netto elektriciteitsproductie door elk park werden de emissies berekend die op jaarbasis vermeden worden (**Tabel 5-24** en Tabel 5-25). Als referentie zijn in deze tabel ook de totale emissies als gevolg van klassieke productie in Vlaanderen voor 2011 (VMM, 2012) opgenomen.

Tabel 5-24 Vermeden emissies (ton/jaar) als gevolg van de werking van het windpark Mermaid

	Klassieke productie		Klassieke en nucleaire productie		Uitstoot klassieke productie Vlaanderen (2011)
	900 GWh	*1.200 GWh*	*900 GWh*	*1.200 GWh*	
CO_2 (ton/jaar)	698.400	931.200	375.300	500.400	13.705.000
SO_2 (ton/jaar)	90	120	49	65	1.728
NO_x (ton/jaar)	90	120	49	65	5.792

Tabel 5-25 Vermeden emissies (ton/jaar) als gevolg van de werking van het windpark Northwester 2

	Klassieke productie		Klassieke en nucleaire productie		Uitstoot klassieke productie Vlaanderen (2011)
	850 GWh	*1.100 GWh*	*850 GWh*	*1.100 GWh*	
CO_2 (ton/jaar)	659.600	853.600	354.500	458.700	13.705.000
SO_2 (ton/jaar)	85	110	46	59	1.728
NO_x (ton/jaar)	85	110	46	59	5.792

De jaarlijks vermeden emissies, berekend op basis van de emissiefactoren voor klassieke productie, bedragen 5,1% (900 GWh) tot 6,8% (1.200 GWh) van de emissies door klassieke productie in Vlaanderen voor alle polluenten voor Mermaid en 4,8% (850 GWh) tot 6,2% (1.100 GWh) voor Northwester 2. De jaarlijks vermeden emissies, berekend op basis van de emissiefactoren voor klassieke en nucleaire productie, bedragen 2,7% tot 3,6% van de emissies door klassieke productie in Vlaanderen voor alle polluenten voor Mermaid en 2,6% tot 3,3% voor Northwester 2.

Bekabeling

Voor de elektrische kabels worden enkel herstelwerkzaamheden voorzien, geen preventief onderhoud. Birkeland (2011) geeft aan dat ca. 30% van de CO_2- uitstoot gegenereerd wordt

door schepen gebruikt tijdens de 40-jarige levensduur van de kabels (respectievelijk 31,5% voor de parkkabels, en 29% voor de exportkabel). Aangezien de afbraak- en recyclagefase niet in rekening worden gebracht in Birkelands studie, betekent dit dat de productie, het transport en het installeren van de kabels 70% van de totale CO_2-uitstoot vertegenwoordigen. De controle en het onderhoud van de kabel zal dus 387 ton CO_2-uitstoot genereren per kilometer parkkabel en 528 ton per kilometer exportkabel. Aangezien deze energiekost net zoals in de transportfase voornamelijk toe te schrijven is aan de verbranding van diesel, zal dit een energiekost vertegenwoordigen van respectievelijk ca. 500 MWh en 709 MWh voor 66 kV en 220 kV kabels.

Ontmantelingsfase

10 MW turbine

In de LCA analyse van Vestas (2006) werd ook de energieconsumptie tijdens de ontmantelingsfase ingeschat. Deze werd bepaald op -4.751 MWh. In de LCA van IMDC (2014c) werd de fase als energieneutraal beschouwd. Er werd geen kwantitatieve inschatting gemaakt, wel werden een aantal kwalitatieve overwegingen aangegeven:

- Tijdens deze fase zal er energiewinst zijn door recyclage. De ontmantelingsfase heeft een positieve invloed op het energieverbruik omdat ca. 80% van het turbinemateriaal kan worden hergebruikt. Om de effecten hiervan niet te overschatten - het kost ook energie om de materialen tot nieuwe grondstoffen te verwerken - wordt deze fase als energieneutraal beschouwd.
- Een gelijk aantal scheepsbewegingen als voor de transportfase en de constructiefase dient in rekening gebracht te worden. De impact op de luchtkwaliteit als gevolg van emissies van vaartuigen die worden ingezet bij de ontmanteling is - zoals in de constructiefase - lokaal (ter hoogte van de locatie waar de windturbines staan), beperkt in de tijd en zeer beperkt in vergelijking met de totale emissies door scheepvaart in het Kanaal, zodat de negatieve impact op de luchtkwaliteit gering is (0/-). Bovendien kan worden aangenomen dat de transportemissies tijdens de afbraakfase per transporteenheid lager zullen zijn dan bij de aanlegfase, daar de emissiefactoren van transportschepen binnen zowat 20 à 25 jaar aanzienlijk lager zullen liggen dan momenteel het geval is.
- Voor de afbraak van windturbines op een JF zijn minder scheepsbewegingen vereist dan bij de afbraak van turbines op een GBF. Bij een JF moet het vele heien niet herhaald worden terwijl het verwijderen van de ballast uit de GBF meer energie vraagt dan het storten van die ballast. De erosiebescherming die zowel bij JF als bij GBF geplaatst wordt moet nadien terug verwijderd worden en er dienen corrigerende baggerwerken uitgevoerd te worden om de put in de zeebodem terug te dichten. Voortschrijdende inzichten kunnen mogelijk leiden tot een maximaal behoud van de ingerichte zeebodem om aldus de ontstane specifieke habitats met natuurwaarden maximaal te vrijwaren. Door dergelijke benadering krijgt de ontmanteling een totaal andere invulling dan de hierboven geschetste traditionele benadering van “verwijderen”.

Bekabeling

In de machtiging voor de bouw en in de vergunning voor de exploitatie van elektriciteitskabels wordt evenwel de voorwaarde opgelegd dat bij ontmanteling de kabels volledig dienen uitgegraven/verwijderd te worden.

De metalen uit de kabels kunnen gerecycleerd worden en de plastics verbrand met recuperatie van warmte-energie. Het positief effect hiervan mag evenwel niet overschat worden, aangezien de kabels minder recycleerbare elementen bevatten dan windturbines. De positieve invloed van de recyclage zal teniet gedaan worden door de benodigde scheepsbewegingen tijdens het verwijderen. Echter, er zullen veel minder scheepsbewegingen nodig zijn om de kabels te verwijderen dan om ze te plaatsen, aangezien er hierbij niet meer geploegd of gebaggerd dient te worden. Er kan, net zoals voor de ontmantelingsfase van de windturbines, dan ook verondersteld worden dat deze fase energieneutraal zal zijn.

Energieconsumptie volledige levenscyclus en emissies per jaar

10 MW turbine

De energieconsumptie voor het plaatsen van een enkele windturbine wordt nog eens samengevat in Tabel 5-26 en in Tabel 5-27, respectievelijk afgeleid uit de LCA van Vestas (2006) en deze van IMDC (2014c). De turbines die gebruikt zullen worden in het Mermaid en Northwester 2 concessiegebied hebben een individuele capaciteit die deze volledige range (3-10 MW) omvat. De omgevingscondities zijn gelijkaardig aan deze van IMDC (2014c).

Tabel 5-26 Energieconsumptie V90-3,0 MW windturbine (Vestas, 2006)

Fase	Energieconsumptie
Productiefase	12.255 MWh
Transport- en bouwfase	477 MWh
Operationele fase (20 jaar)	117 MWh
Ontmantelingsfase fase	-4.751 MWh
Volledige levenscyclus	8.098 MWh

Tabel 5-27 Energieconsumptie 10 MW turbine respectievelijk op JF en op GBF (IMDC, 2014c)

Fase	Energieconsumptie (MWh)	
	JF	GBF
Productiefase	16.090	18.360
Transportfase	194	217
Constructiefase	580	650
Operationele fase (20 jaar)	3.300	3.300
Ontmantelingsfase	0	0
Totaal	**20.160**	**22.530**

De productiefase komt in beide LCA's duidelijk als het meest energieconsumerende proces naar voren. Afhankelijk van het gekozen funderingstype ligt het energieverbruik tijdens de productiefase 4.000 tot 6.000 MWh hoger bij een 10 MW turbine dan bij een 3 MW turbine. Gedeeltelijk is dit te wijten aan het verschil in volumes van de benodigde bestanddelen. Een

groot verschil zit ook in de gebruikte bestanddelen. In Vestas (2006) worden de rotorbladen uit glasvezel vervaardigd, hiervoor is 13,42 MWh (48,3 GJ) energie per ton materiaal nodig (Joshi *et al.,* 2003). Voor een 10 MW turbine zijn rotorbladen uit glasvezel te zwaar om dragen en worden de bladen uit carbonvezels gemaakt. Het produceren van een ton carbonvezels vraagt 286 GJ, wat beduidend meer is dan de hoeveelheid energie nodig voor het produceren van een ton glasvezel.

Een tweede verschil in energieconsumptie komt voor in de operationele fase van de turbine. In Vestas (2006) wordt ervan uitgegaan dat een turbine slechts 4 maal per jaar gecontroleerd dient te worden. Uit ervaring met de bestaande windparken Belwind en C-Power, is evenwel gebleken dat dit een serieuze onderschatting is. De assumptie is dan ook dat de waarde voor energieconsumptie tijdens de operationele fase van IMDC (2014c) dichter bij de realiteit zal liggen.

Een derde verschil wordt gemaakt in de ontmantelingsfase. Aangezien het erg moeilijk is om de situatie over 20 jaar in te schatten, werd in IMDC (2014c) geen waarde voor energieconsumptie aan deze fase toegekend. Wel werd aangegeven dat er in deze fase eerder energiewinst dan consumptie kan optreden. In Vestas (2006) werd er wel een waarde toegekend (energiewinst), maar door het hierboven aangegeven argument is deze inschatting weinig betrouwbaar.

Met de energieconsumptie gaat ook uitstoot van broeikasgassen gepaard. Logischerwijs zullen de fasen die zwaarder doorwegen op de energieconsumptie ook zwaarder doorwegen op de uitstoot van CO_2 en andere broeikasgassen. In Vestas (2006) wordt er rekening gehouden met een gemiddelde van 5,23 g CO_2 per geproduceerde kWh, bij IMDC (2014c) ligt de gemiddelde uitstoot ca. 5 keer hoger en bedraagt deze ca. 28 g per geproduceerde kWh. De uitstoot per windturbine ligt ongeveer 20 keren hoger voor een 10 MW turbine dan voor een 3 MW turbine, de belangrijkste oorzaak hiervan is het verschil tussen de CO_2 uitstoot bij de productie van glasvezel (2,04 ton/ton) en deze bij de productie van carbon (22,4 ton/ton). In mindere mate wordt ook SO_2 en NO_x geproduceerd, in Vestas (2006) wordt deze hoeveelheid ingeschat op respectievelijk 0,0222 g per kWh en 0,0204 g per kWh. Aangezien IMDC (2014c) geen waarden voor deze broeikasgassen geeft zullen de waarden van Vestas (2006) gebruikt worden voor de berekening van de vermeden emissies in **Tabel 5-29** en Tabel 5-30 (Tabel 5-28).

Tabel 5-28 Uitstoot broeikasgassen per geproduceerde kWh

	Uitstoot (g/kWh)	bron
CO_2	29	IMDC (2014c) ca. 23.200 ton/800 GWh
SO_2	0,0222	Vestas (2006)
NO_x	0,0204	Vestas (2006)

Op basis van bovenstaande vergelijking kan aangenomen worden dat de waarden voor energieconsumptie en CO_2-uitstoot van een turbine in de Mermaid en Northwester 2 energieparken zich in de range zullen bevinden tussen de waarde van de LCA van Vestas (2006) en deze van IMDC (2014c). De typevoorbeelden die in voorliggend MER besproken worden, hebben immers een productiecapaciteit die varieert tussen 3,3 MW en 10 MW. In IMDC (2014c) wordt de totale energieconsumptie per windturbine tussen de 20.160 MWh en

22.530 MWh ingeschat, terwijl de beschouwde turbine ca. 800.000 MWh elektriciteit opwekt op 20 jaar tijd (46% van de tijd in werking). Dit levert een resulterende energiewinst van ca. 780.000 MWh op.

De emissies die, rekening houdend met de totale energieproductie van de Mermaid en Northwester 2 energieparken (900 – 1.200 GWh voor Mermaid en 850 – 1.100 GWh voor Northwester 2, turbines 45% van de tijd in werking) zullen vrijkomen op jaarbasis, zijn opgenomen in **Tabel 5-29** en Tabel 5-30. In deze tabellen zijn ter vergelijking ook de vermeden emissies tengevolge van klassieke productie opgenomen, de toegenomen emissies door omvaren scheepvaart bij het sluiten van de Belgische concessiezone en de emissiebalans.

Tabel 5-29 Geproduceerde en vermeden emissies per jaar als gevolg van de werking van het Mermaid park (berekend met Tabel 5-28)

	Geproduceerde emissies Mermaid project (ton/jaar)		**Gereduceerde emissies door omvaren scheepvaart (t.o.v. scenario zonder Mermaid en NW2) (ton/jaar)**	**Vermeden emissies (Klassieke Belgische productie) (ton/jaar)**		**Emissiebalans**	
	900 GWh	*1.200 GWh*		*900 GWh*	*1.200 GWh*	*900 GWh*	*1.200 GWh*
CO_2 (ton/jaar)	26.100	34.800	-70	-698.400	-931.200	-672.370	-896.470
SO_2 (ton/jaar)	20,0	26,6	-0,7	-90	-120	-70,7	-94,1
NO_x (ton/jaar)	18,4	24,5	-2,4	-90	-120	-74	-97,9

Tabel 5-30 Geproduceerde en vermeden emissies per jaar als gevolg van de werking van het Northwester 2 park (berekend met Tabel 5-28)

	Geproduceerde emissies NW2 project (ton/jaar)		**Gereduceerde emissies door omvaren scheepvaart (t.o.v. scenario zonder Mermaid en NW2) (ton/jaar)**	**Vermeden emissies (Klassieke Belgische productie) (ton/jaar)**		**Emissiebalans**	
	850 GWh	*1.100 GWh*		*850 GWh*	*1.100 GWh*	*850 GWh*	*1.100 GWh*
CO_2 (ton/jaar)	24.650	31.900	-70	-659.600	-853.600	-635.020	-821.770
SO_2 (ton/jaar)	18,9	24,4	-0,7	-85	-110	-66,8	-86,3
NO_x (ton/jaar)	17,3	22,4	-2,4	-85	-110	-70,1	-90

Bekabeling

De totalen per kilometer 66 kV parkkabel en 220 kV exportkabel worden weergegeven in onderstaande tabellen. Hierin zijn de extra transporten van hulpschepen en aflossing van de bemanning, alsook de steenbestorting van de kabelkruisingen nog niet in rekening gebracht.

In Tabel 5-32 worden de totalen weergegeven voor 1 km 66 kV verbindingskabel die mogelijk tussen de concessiegebieden en de Alpha-installatie gelegd worden. Hierbij wordt uitgegaan dat de kabels gebaggerd worden in plaats van gejet.

Tabel 5-31 Totale energieconsumptie en CO_2 productie voor 1 km 66 kV parkkabel (jetting)

Eindafrekening	Energieconsumptie (MWh)	CO_2 uitstoot (ton)
Productiefase	2.500	780
Transportfase	8	6
Constructiefase	44	117
Operationele fase	520	387
Afbraakfase	-	-
Totaal	3.072	1.290

Tabel 5-32 Totale energieconsumptie en CO_2 productie voor 1 km 66 kV verbindingskabel (baggeren)

Eindafrekening	Energieconsumptie (MWh)	CO_2 uitstoot (ton)
Productiefase	2.500	780
Transportfase	8	6
Constructiefase	220	200
Operationele fase	568	422
Afbraakfase	-	-
Totaal	3.296	1.408

Tabel 5-33 Totale energieconsumptie en CO_2 productie voor 1 km 220 kV exportkabel

Eindafrekening	Energieconsumptie (MWh)	CO_2 uitstoot (ton)
Productiefase	3.330	1.023
Transportfase	12	9
Constructiefase	220	200
Operationele fase	709	528
Afbraakfase	-	-
Totaal	4.271	1.760

Volledige windparken (windturbines en bekabeling)

Onderstaande tabellen geven de totale energiekost van de Mermaid en Northwester 2 windparken tijdens de volledige levenscyclus (inclusief alle transporten en kabelkruisingen) rekening houdend met de aanwezige 10 MW windturbines (22 in Northwester 2 en 24 in Mermaid) en de bekabeling binnen het windpark en tot Alpha (Tabel 5-34 tem Tabel 5-37). Daarnaast is de vermeden CO_2 uitstoot in vergelijking met de traditionele energiemix en een energiemix zonder kernenergie ook berekend (Tabel 5-38).

Tabel 5-34 Energieopbrengst en CO_2 uitstoot voor de windparken Mermaid en Northwester 2 waarbij de windturbines met een JF rechtstreeks aangesloten worden op Alpha (optie A)

Windpark	Delen	Totale energieopbrengst (MWh)	Totale CO_2-uitstoot (ton)
NW2	Totaal bekabeling	-227.000	97.000
	Totaal turbines	17.160.000	509.400
	Totaal NW2	**16.933.000**	**606.400**
Mermaid	Totaal bekabeling	-312.300	133.400
	Totaal turbines	18.720.000	555.700
	Totaal Mermaid	**18.407.700**	**689.100**
Totaal		**35.386.700**	**1.295.500**

Tabel 5-35 Energieopbrengst en CO_2 uitstoot voor de windparken Mermaid en Northwester 2 waarbij de windturbines met een GBF rechtstreeks aangesloten worden op Alpha (optie A)

Windpark	Delen	Totale energieopbrengst (MWh)	Totale CO_2-uitstoot (ton)
NW2	Totaal bekabeling	-227.000	97.000
	Totaal turbines	17.105.000	531.900
	Totaal NW2	**16.933.000**	**628.900**
Mermaid	Totaal bekabeling	-312.300	133.400
	Totaal turbines	18.660.000	580.300
	Totaal Mermaid	**18.347.700**	**713.700**
Totaal		**35.225.700**	**1.342.600**

Tabel 5-36 Energieopbrengst en CO_2 uitstoot voor de windparken Mermaid en Northwester 2 waarbij de windturbines met een JF via een OHVS aangesloten worden op Alpha (optie B)

Windpark	Delen	Totale energieopbrengst (MWh)	Totale CO_2-uitstoot (ton)
NW2	Totaal bekabeling	-177.000	74.000
	Totaal turbines	17.160.000	509.400
	Totaal NW2	**16.983.000**	**583.400**
Mermaid	Totaal bekabeling	-211.100	88.100
	Totaal turbines	18.720.000	555.700
	Totaal Mermaid	**18.508.900**	**643.800**
Totaal		**35.491.900**	**1.227.200**

Tabel 5-37 Energieopbrengst en CO_2 uitstoot voor de windparken Mermaid en Northwester 2 waarbij de windturbines met een GBF via een OHVS aangesloten worden op Alpha (optie B)

Windpark	Delen	Totale energieopbrengst (MWh)	Totale CO_2-uitstoot (ton)
NW2	Totaal bekabeling	-177.000	74.000
	Totaal turbines	17.105.000	531.900
	Totaal NW2	**16.928.000**	**605.900**
Mermaid	Totaal bekabeling	-211.100	88.100
	Totaal turbines	18.720.000	580.300
	Totaal Mermaid	**18.508.900**	**668.400**
Totaal		**35.491.900**	**1.274.300**

Tabel 5-38 Vermeden CO_2 uitstoot in vergelijking met de traditionele energiemix en de energiemix rekening houdend met een kernuitstap

Energiemix	Bekabeling	Fundering	NW2 (ton)	Mermaid (ton)	Totaal (ton)
i.v.m. traditionele energiemix	Rechtstreeks op Alpha	JF	6.732.800	7.317.300	14.050.100
		GBF	6.710.300	7.292.700	14.003.000
	Via OHVS op Alpha	JF	6.755.800	7.362.600	14.118.400
		GBF	6.733.300	7.338.000	14.071.300
I.v.m. energiemix zonder kernenergie	Rechtstreeks op Alpha	JF	13.051.200	14.210.100	27.261.300
		GBF	13.028.700	14.185.500	27.214.200
	Via OHVS op Alpha	JF	13.074.200	14.255.400	27.329.600
		GBF	13.051.700	14.230.800	27.282.500

Uit bovenstaande tabellen kan afgeleid worden dat de Mermaid en Northwester 2 projecten voor alle relevante componenten aanleiding geven tot een reductie van de emissies in vergelijking met klassieke energieproductie. Indien de elektriciteitsproductie door deze energieparken effectief aanleiding zou geven tot een equivalente vermindering van de elektriciteitsproductie op land door middel van klassieke thermische productie, zal dit leiden tot een significant positief effect op de luchtkwaliteit op het land in het algemeen en het broeikaseffect en de zure depositie in het bijzonder. Naar verwachting zal de uitstoot op land blijven stijgen (Collins *et al.,* 2013) en zullen in werkelijkheid de projecten enkel leiden tot een afremmen van de stijgende emissies die bijdragen tot het broeikaseffect.

De positieve impact op het broeikaseffect zal op wereldschaal verwaarloosbaar zijn (zie ook deel 'klimaat'), maar de emissiereductie is niet onbelangrijk en onontbeerlijk in het licht van de Belgische reductiedoelstellingen voor CO2. De Europese Unie heeft voor België een nieuwe doelstelling vastgelegd op een vermindering van de uitstoot van broeikasgassen in de niet-ETS sectoren met minstens 15% in 2020 ten opzichte van 2005 (LNE, 2013). In 2013 werd dan ook het Derde Vlaams Klimaatsbeleidplan voor de periode 2013-2020 opgesteld conform de door Europa voor België vastgelegde doelstelling en zullen de effectief vermeden emissies tengevolge van de windparken significant bijdragen tot het behalen van deze doelstelling. Het gaat om de sectoren die niet onder het Europees emissiehandelssysteem voor bedrijven vallen m.n. mobiliteit, gebouwen, landbouw en de (beperkte) niet-ETS onderdelen voor industrie en energie. Deze doelstelling moet nog verdeeld worden tussen de gewesten en de federale overheid (www.lne.be).

Ook voor SO_2 en NO_x werden in het kader van de NEC-richtlijn (2001/81/EG) reductiedoelstellingen vooropgesteld. Voor 2010 werden aan België emissieplafonds voor SO_2 en NO_x opgelegd van respectievelijk 99.000 en 176.000 ton/jaar. De effectief vermeden emissies, berekend op basis van de emissiefactoren voor klassieke productie, bedragen respectievelijk 0,55 tot 0,95% van het emissieplafond voor SO_2 en 0,32 tot 0,56% van het emissieplafond voor NO_x, wat eveneens significant is. In de thematische strategie luchtverontreiniging van de Europese Commissie is een herziening van de NEC-richtlijn voorzien. Deze herziening houdt geen aanpassing in van de emissieplafonds van 2010, maar wel dat emissieplafonds zullen opgelegd worden voor 2020.

5.2.3.2.2 LCA WEC

Naast een LCA voor de windturbines en bekabeling werd er ook een LCA voor de WEC's opgesteld. In dit hoofdstuk wordt een samenvatting gegeven van de aldus uitgewerkt LCA, voor het volledige rapport wordt er verwezen naar de externe bijlage (IMDC 2014d). Voor

deze studie werd de Poseidon P60 als voorbeeld geselecteerd met een afmeting van 60 m x 60 m en een individueel vermogen van 600 kW. Van dit type WEC zouden er 9 in een basisveld in de basisconfiguratie passen.

Productiefase

De Poseidon WEC is voor het overgrote deel uit staal opgebouwd. De verkregen gewichten voor de P60 zullen dan ook het gewicht van staal vertegenwoordigen. Het totaal voor de verankering komt zo op 100 ton. Op de verankering na zullen alle onderdelen uit plaatstaal opgebouwd worden, voor de productie van de ankers en de kettingen wordt gegalvaniseerd staal gebruikt.

Om de CO_2-uitstoot en de energieconsumptie tijdens de productie van het nodige staal te berekenen werden de respectievelijke omzettingsfactoren van plaatstaal en gegalvaniseerd staal toegepast. Voor de productie van het nodige staal voor één Poseidon P60 is ca. 9 GWh energie vereist en wordt ruim 1.700 ton CO_2 gegenereerd.

In mindere mate zijn er ook andere grondstoffen gebruikt, voornamelijk voor de elektrische infrastructuur van de Power Takeoff Unit (PTU) en de bescherming tegen corrosie. De verworven informatie over het design van de Poseidon is niet van die aard dat we de energiekost en de CO_2-uitstoot voor al deze verschillende componenten kunnen berekenen. Om deze componenten toch in rekening te brengen, wordt een forfaitaire energiekost en CO_2-uitstoot in rekening gebracht die 10% van de energiekost van het benodigde staal bedraagt. Voor de combinatie van alle basismaterialen tot onderdelen van de Poseidon P60 wordt nog eens 10% in rekening gebracht. Dit brengt het totale energieverbruik tijdens de productiefase op 10.796 MWh en de CO_2-uitstoot op 2.081 ton.

Transport en constructiefase

De Poseidon is zodanig ontworpen dat het grootste deel van de “individuele” onderdelen op scheepswerven in de buurt van de concessiezones geproduceerd kunnen worden. Voor deze studie gaan we ervan uit dat de P60 in Vlissingen geproduceerd en geassembleerd zal worden. Het benodigde staal zal per schip aangevoerd worden vanaf de hoogovens van Gent (38 km). Verder worden ook twee transporten over land vanuit Denemarken in rekening gebracht, omdat verwacht wordt dat de PTU daar geproduceerd zal worden (ca. 800 km).

Eenmaal geassembleerd in de haven van Vlissingen kan de P60 drijvend naar het Mermaid concessiegebied getransporteerd worden (75 km) door middel van een sleepboot. Ook de ploegankers en de ankerkettingen worden met ditzelfde transport ter plaatse gebracht. Tijdens de installatie worden de ploegankers eerst aangebracht en in het sediment verankerd waarna de ankers aan de ‘turret mooring’ rollager bevestigd worden.

Er wordt een typevoorbeeld van een sleepboot in rekening gebracht, die zowel het transport van het staal als het transport van de P60 aankan. Voor de trip van Gent naar Terneuzen heeft de sleepboot 2,5 uren nodig (tijd in de sluis niet meegerekend) en verbruikt het schip 4,1 MWh energie. Voor een trip van Terneuzen naar de Mermaid concessie is het schip ca. 4,5 uren onderweg en verbruikt ze ca. 7,4 MWh.

Het transport over land zal gebeuren met normale vrachtwagens. Voor de twee transporten van telkens 800 km wordt ca. 512 l diesel verbruikt en komt de totale uitstoot van het transport over land op 1,3 ton CO_2. De verbruikte energie tijdens de twee transporten van de PTU naar Terneuzen bedraagt 6,6 MWh.

De totale energieconsumptie tijdens de transportfase bedraagt ca. 18 MWh, de CO_2-uitstoot tijdens deze fase bedraagt bijna 16 ton.

Operationele fase

Een Poseidon P60 is ontworpen om minstens 30 jaar operationeel te zijn en het ontwerp ervan zal aangepast worden aan het lokale golfklimaat om de energieopbrengst te maximaliseren. Gezien de concessievergunning voor het Mermaid windpark slechts 20 jaar geldig is, gaan we uit van een levensduur van 20 jaar. Gezien het om een vrij nieuwe technologie gaat, wordt ervan uitgegaan dat de WEC's gemiddeld ongeveer één derde van de tijd effectief energie zullen genereren gezien het Belgische golfklimaat, de lage efficiëntie en mogelijk technische problemen (een overall efficiëntie van 33%). Dit is minder dan de verwachte 45% efficiëntie bij windturbines. In de eerste jaren na de installatie worden er geregeld technisch-operationele problemen verwacht, maar naarmate de tijd vordert zal de technologie beter op punt komen te staan. Een Poseidon P60 heeft een individueel vermogen van 600 kW. Tijdens de 20-jarige levensduur zal er ca. 57.024 uur aan energie geproduceerd worden, wat een totale brutto energieproductie van ca. 34 GWh betekent.

Het personeelstransport voor herstellingen en onderhoud van één enkele P60 zal gebeuren in combinatie met het personeelstransport voor de windturbines en de andere P60's. We gaan ervan uit dat elke P60 dagelijks gecontroleerd zal worden wanneer de weersomstandigheden dit toelaten (Hs lager dan 1,5 m). Elke P60 zal ca. 250 keer per jaar bezocht worden. Per trip worden alle negen P60's in één veld aangedaan aandoen waardoor er per P60 ca. 27 transporten nodig zijn op jaarbasis of 540 gedurende de levenscyclus. Bij complexe technische problemen kan het platform losgekoppeld worden van de verankering en wordt de volledige P60, op de verankering na, terug naar de haven gesleept. In onze berekeningen gaan we ervan uit dat dit ca. 2 maal per jaar zal gebeuren en bijgevolg ca. 40 maal gedurende de volledige levenscyclus van de P60. Gerekend over de levensduur van 20 jaar zijn dit 580 transporten per P60. Voor een trip van 51 km (Zeebrugge-Mermaid-Zeebrugge) genereert een enkel transport ca. 6,6 ton CO2 en wordt er 5.100 kWh energie verbruikt. Voor 580 dergelijke trips wordt ca. 3.828 ton CO2 uitgestoten en bijna 3 GWh energie verbruikt.

Gedurende de operationele fase zal één enkele P60 netto ca. 31 GWh energie opbrengen en zal er bijna 4.000 ton CO2 uitgestoten worden.

Afbraak en recyclagefase

Aangezien de Poseidon P60 voor het overgrote deel is opgebouwd uit ijzer en staal, zal het transport van de WEC terug naar de kust en de afbraak ervan gecompenseerd worden door de energiewinst uit de recyclage van dit staal. De afbraak en recyclagefase wordt dan ook als energieneutraal beschouwd.

Balans volledige levenscyclus

Per P60 wordt één kilometer 66 kV kabel in beschouwing genomen, in de praktijk zal mogelijks een lichtere kabel van toepassing zijn. De totale energieconsumptie en de totale CO_2-uitstoot, rekening houdend met de kabel, worden weergegeven in Tabel 5-39. In Tabel 5-40 wordt een overzicht gegeven van de energieproductie en energieconsumptie van 1 en 9 Poseidons P60 in een basisveld in de basisconfiguratie. Indien het energieverbruik tijdens de levensloop (productie tot afbraak) van de P60 (met kabel) in rekening wordt genomen, is er een netto rendement van ca. 50% of m.a.w. een terugverdientijd van 10 jaar. Deze berekende terugverdientijd komt sterk overeen met een LCA uitgevoerd door Dahlsten (2009) een LCA, waarbij (hypothetisch) Seabased units voor de kust van Zweden werden geplaatst. Voor de

berekening van deze LCA werden de 1.000 generatoren, de boeien, de substations en de bekabeling mee opgenomen, vanaf de productiefase tot de ontmanteling. De opbrengst efficiëntie van het park werd ingeschat als 15%, waardoor het park op 20 jaar tijd 395 GWh aan energie zal produceren. Er werd berekend dat de periode die nodig is om de productiefase te compenseren 9,8 jaar duurt (Dahlsten, 2009). Wel wordt er verwacht dat toekomstige modellen een grotere energie- en materiaalefficiëntie hebben.

Tabel 5-39 Totale energieconsumptie en CO_2-uitstoot tijdens de levenscyclus van één P60 met kabel

	Energieconsumptie (MWh)	CO_2-uitstoot (ton)
Productiefase	10.796	2.081
Transport- en constructiefase	18	16
Operationele fase	2.958	3.828
Kabel (IMDC, 2014b)	3.072	1.290
Totaal	**16.844**	**7.215**

Tabel 5-40: Energieproductie en energieconsumptie van één Poseidon P60 en 9 Poseidon P60's in één basisveld in basisconfiguratie

	Energieproductie (MWh)	Energieconsumptie (MWh)	Energieproductie – Energieconsumptie (MWh)
1 P60+kabels	34.000	16.844	17.156
9 P60's+kabels	306.000	151.596	154.404

Om elektriciteit te produceren volgens de traditionele Belgische elektriciteitsmix (klassiek en nucleaire energie) wordt 417 ton CO_2/GWh uitgestoten. Indien ook rekening gehouden wordt met een geplande kernuitstap zou de CO_2-uitstoot 776 ton CO_2/GWh bedragen. In Tabel 5-41 wordt een samenvatting weergegeven hoeveel de CO_2-uitstoot en de vermeden CO_2-uitstoot bedraagt bij de installatie van 1 en 9 Poseidon P60's in 1 basisveld.

Tabel 5-41: CO_2-uitstoot en vermeden CO_2-uitstoot bij de installatie van één Poseidon P60 en 9 Poseidon P60's in één basisveld in basisconfiguratie

	Klassieke productie	Klassieke en nucleaire productie
CO_2-uitstoot bij 34 GWh (~1 P60) (ton)	26.384	14.178
CO_2-uitstoot bij 306 GWh (~9 P60's) (ton)	237.456	127.602
CO_2-uitstoot door gebruik 1 P60 (ton)	7.215	7.215
vermeden CO_2-uitstoot indien 1 P60 wordt ingezet (ton)	19.169	6.963
CO_2-uitstoot door gebruik 9 P60's (ton)	64.935	64.935
vermeden CO_2-uitstoot indien 9 P60's worden ingezet (ton)	172.521	62.667

5.2.3.3 Besluit bespreking en beoordelingen van de effecten op het klimaat en de atmosfeer

Tabel 5-42 en Tabel 5-43 geven een samenvatting weer van de effecten tijdens de volledige levenscyclus van de diverse alternatieven en het basisscenario voor respectievelijk Mermaid en Northwester 2. Volgende definities zijn van toepassing: significant positief (++), matig positief (+), gering positief (0/+), (vrijwel) geen effect (0); gering negatief (0/-), matig negatief (-), significant negatief (--).

Tabel 5-42 Overzicht van de effecten van het Mermaid energiepark op het klimaat en de atmosfeer voor de verschillende scenario's (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering).

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	**MP**	**JF**	**GBF**	**MP**	**JF**	**JF**	**GBF**	**JF**	**GBF**
Constructiefase (inclusief WEC)									
Invloed op het globaal klimaat	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissies tijdens de assemblage van de turbines en WEC's	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Emissies tijdens de transport- en bouwfase	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Operationele fase (inclusief WEC)									
Globaal klimaat	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
Lokaal windklimaat	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Emissies tengevolge van inspectie en onderhoud	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vermeden emissies op het land	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ontmantelingsfase (inclusief WEC)									
Invloed op het globaal (wind)klimaat	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissies tijdens de transport- en afbraakfase	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Bekabeling									
Lokaal temperatuursklimaat o.i.v. kabels	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Emissies tijdens de transport- en bouwfase	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-

Tabel 5-43 Overzicht van de effecten van het Northwester 2 energiepark op het klimaat en de atmosfeer voor de verschillende scenario's (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering).

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	**MP**	**JF**	**GBF**	**MP**	**JF**	**JF**	**GBF**	**JF**	**GBF**
Constructiefase									
Invloed op het globaal klimaat	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissies tijdens de assemblage van de turbines	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Emissies tijdens de transport- en bouwfase	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-

Configuratie	Basis			1		2		3	
Funderingstype	MP	JF	GBF	MP	JF	JF	GBF	JF	GBF
Operationele fase									
Globaal klimaat	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
Lokaal windklimaat	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Emissies tengevolge van inspectie en onderhoud	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vermeden emissies op het land	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ontmantelingsfase									
Invloed op het globaal (wind)klimaat	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissies tijdens de transport- en afbraakfase	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Bekabeling									
Lokaal temperatuursklimaat o.i.v. kabels	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Emissies tijdens de transport- en bouwfase	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-

5.2.4 Leemten in de kennis

Er zijn geen lokale windgegevens en actuele gegevens omtrent de luchtkwaliteit beschikbaar ter hoogte van de projectgebieden van Mermaid en Northwester 2. Een mogelijke bron kunnen de lopende metingen zijn die vandaag geregistreerd worden bij de operationele windparken Belwind en C-Power.

De reële emissies tijdens de levenscyclus van de parken zullen afhankelijk zijn van de finale keuze van de windturbine. Dit werd in het kader van deze MER ondervangen door extrapolatie van de gegevens van verscheidene LCA-studies. De resultaten van beide LCA studies liggen ver uit elkaar, de LCA van IMDC (2014c) wordt beschouwd als de studie die het dichtst bij de realiteit voor Mermaid en Northwester 2 zal aanleunen. Gezien de beperkte omvang van deze emissies in vergelijking met de jaarlijks vermeden emissies als gevolg van de werking van de parken, zal deze werkwijze de conclusies met betrekking tot de discipline atmosfeer niet significant beïnvloeden.

5.2.5 Milderende maatregelen

De impact van de parken op het lokale windklimaat en van de kabel op het omringende sediment blijft beperkt en er worden dan ook geen milderende maatregelen of compensaties voorgesteld. Door de reductie van de CO_2-emissies is de impact op het globale klimaat positief.

5.2.6 Monitoring

Gezien de verwachte impact op de luchtkwaliteit globaal gezien positief zal zijn, dient geen verdere monitoring van de kwaliteit van de omgevingslucht te gebeuren.

5.3 GELUID EN TRILLINGEN

5.3.1 Methodologie

Ten behoeve van de referentiesituatie wordt de huidige situatie van het geluidsklimaat beschreven. De onshore en offshore achtergrondgeluidsniveaus in het studiegebied moeten worden bekomen voor specifieke windcondities waaronder de windturbine kan opereren.

Voor de beschrijving van de referentiestituatie, zowel voor het geluid boven als onder het wateroppervlak, als aan de kustlijn, wordt gesteund op de informatie uit gepubliceerde milieueffectenrapporten en recente meetgegevens onshore en offshore (Degraer & Brabant, 2009; Degraer *et al.*, 2010a, 2011, 2012, 2013a). Het windpark wordt immers gerealiseerd in de nabijheid van windparken waarvoor reeds een MER werd ingediend (bvb. Belwind, SeaStar, Northwind, Rentel, C-Power, Norther).

In het kader van de Europese Kaderrichtlijn Mariene strategie (2008/56/EG) werd er een indicator bepaald die van toepassing is op het heien van palen onderwater (Tasker *et al.*, 2010). Als indicator wordt de verhouding van het aantal dagen per jaar beschouwd waarin in een bepaalde oppervlakte de antropogene geluidsbron (hier dus het heien) ofwel het SEL[2] van 183 dB (re 1µPa²s) ofwel het geluidsniveau van 224 dB_{p-p} (re 1µPa) overschrijdt (gemeten op 1 m). Het aantal dagen dat deze niveaus overschreden mogen worden werd niet bepaald.

De milieudoelen voor de Belgische mariene wateren naar de toekomst toe voor het behouden van een goede milieutoestand en daarmee samenhangende indicatoren zijn:

- Het niveau van antropogene impulsgeluiden is kleiner dan 185 dB re 1 µPa (nul tot max. SPL (Sound Pressure Level)) op 750 m van de bron. (Beschikking 2010/477/EU van de Commissie, geëxpliciteerd)
- Geen positieve tendensen in de jaarlijkse gemiddelde omgevingslawaainiveaus binnen de 1/3-octaafbanden 63 en 125 Hz. (Beschikking 2010/477/EU van de Commissie)

Bij de effectbespreking wordt er een onderscheid gemaakt in de verstoring die optreedt tengevolge van werkzaamheden voor de aanleg van het windpark (constructie van windturbines en bekabeling), verstoring die optreedt ten gevolge van de ingebruikname van het windpark, en verstoring door de ontmanteling ervan. De werkzaamheden zijn op geluidsemitterend vlak vergelijkbaar met deze van reeds uitgevoerde offshore windparken.

De effectbeschrijving wordt doorgevoerd voor het geluid in twee media: ‘lucht’ (geluid boven het wateroppervlak t.a.v. de receptor mens) en ‘water’ (geluid onder het wateroppervlak t.a.v. de receptor fauna).

Naast de beschrijving van de relevante effecten (geluidshinder voor mens en rustverstoring voor fauna), worden de effecten ook beoordeeld: positieve effecten duiden op een verhoging, ondersteuning of versterking van de betrokken (natuurlijke of gewenste) eigenschap van het milieu, een negatieve beoordeling wijst op het verdwijnen, een verlaging of een aantasting van een bepaalde (natuurlijke of gewenste) eigenschap.

[2] SEL: sound exposure level: gemiddeld geluidsniveau over 1 seconde; dit wordt gemeten door de som van de energie die vrijkomt bij een impulsgeluid (bijvoorbeeld heien) te nemen en bijgevolg het niveau te berekenen van een continue geluid over 1 seconde waarbij dezelfde energie vrijkomt. De eenheid van SEL wordt uitgedrukt in dB re 1 µPa²s.

5.3.2 Referentiesituatie

5.3.2.1 Omgevingsgeluid boven het wateroppervlak

5.3.2.1.1 In volle zee (offshore)

Van het op water heersende omgevingsgeluid is weinig bekend. Geluidsmetingen op het water zijn namelijk moeilijk uit te voeren door het bijkomende lawaai van de golven tegen de meetboot. Boven water zal het omgevingsgeluid vooral bepaald worden door het geluid van watervogels, schepen, en reeds gebouwde windturbines.

Uit een staving met de recente meetresultaten van de offshore geluidsmetingen kan worden besloten dat het omgevingsgeluid boven de waterspiegel in volle zee ca. 40-45 dB(A) kan bedragen zonder exploitatie van windturbines. Variaties zijn hoofdzakelijk het gevolg van de zeegang.

De informatie in de milieueffectenrapporten van Belwind (Ecolas, 2007) en Northwind (voorheen Eldepasco) (Arcadis, 2008) geven een geraamd omgevingsgeluid nabij de kust rond het Zwin weer van 35 + 5 dB(A)[3].

Momenteel staan er 55 operationele windturbines op monopiles (3 MW) van Belwind op de Blighbank, 72 operationele windturbines op monopiles (3 MW) van Northwind op de Lodewijkbank, 6 operationele gravitaire turbines (5 MW) en 48 operationele jacket turbines (6,15 MW) van C-Power op de Thorntonbank. De aanwezige windturbines dragen op hun beurt bij tot het huidige referentieomgevingsgeluid. In het MER voor het windpark Norther werd een geluidsoverdrachtberekening boven het wateroppervlak doorgevoerd voor een cumulatieve werking van 55 windturbines van Belwind met 6 windturbines van het windpark C-Power. De specifieke bijdrage van deze configuratie aan windturbines overeenkomstig met het oorspronkelijk aanwezig omgevingsgeluidsniveau van ca. 45 dB(A), werd berekend op een afstand van 600 tot 1.000 m van het windturbinepark. Dit betekent dat het oorspronkelijk omgevingsgeluid op deze afstand met 3 dB(A) wordt verhoogd als gevolg van de geluidsimmissie van de windturbines in deze toestand van voorjaar 2012. Twee gelijke geluidsniveaus (windturbines en omgevingsgeluid) op die locatie geven opgeteld namelijk een geluidsniveau dat gelijk is aan het ene vermeerderd met +3 dB. Een verhoging van het oorspronkelijk omgevingsgeluid wordt voorkomen (+0 dB) wanneer de specifieke geluidsbijdrage van de windturbines minstens 10 dB lager is dan het oorspronkelijk geluidsniveau (i.e. 35 dB(A)). Dit punt werd berekend op een afstand van 2.000 tot 3.000 m.

Dus in de doorgerekende werkingstoestand van de windturbines op de Thorntonbank en de Blighbank is de invloedzone, waar een geluidsverhoging wordt veroorzaakt van het oorspronkelijk omgevingsgeluid bij een kabbelende zee (zeegang 1), een afstand van 2.000 à 3.000 m vanaf elk windpark.

Uit meerdere modelleringsstudies is gebleken dat het cumulatief effect van meerdere parken samen beperkt is: op een afstand van 500 m rond de operationele parken zal het geluidsniveau lager zijn dan 50 dB(A) (Arcadis, 2011, IMDC, 2012a, 2013e). In de Mermaid en

[3] bron: ‘onderzoek naar het stiltekarakter van gebieden’, uitgevoerd door universiteit Gent in opdracht van AMINAL 1 (Decloedt *et al.*, 1998).

Northwester 2 concessies zal het bovenwatergeluid veroorzaakt door de nabijgelegen reeds gerealiseerde parken dus vergelijkbaar zijn met het geluidsniveau veroorzaakt door licht autoverkeer op 30 m, regen, koelkast, afwasmachine, omgevingsgeluid in het bos, bovenop de natuurlijke aanwezige geluiden.

Voor het monitoringsprogramma van het windpark C-Power werden tijdens de constructiefase in september 2008 offshore geluidsmetingen uitgevoerd door het studiebureau Technum i.s.m. de BMM (Haelters *et al.*, 2009). De geluidsmetingen werden uitgevoerd van op een drijvende (reddings)boot, binnen de veiligheidszone van het windpark en telkens op drie plaatsen rondom het transformatorplatform. Tijdens de metingen waren er weinig werkzaamheden en een kabbelende zee (zeegang 1), waarbij auditief enkel het continu geluid van elektrische componenten op het transformatorplatform waarneembaar waren. De meetresultaten gaven geluidswaarden van minstens 45 dB(A) aan op 3 m hoogte boven de waterspiegel. In de minimum geluidswaarde is slechts een beperkte bijdrage vervat van zowel de golfslag tegen de boot (momentaan geluidsniveau op ogenblikken met zwakke golfslag) als de constructiegeluiden op het platform.

5.3.2.1.2 Aan de Belgische kust (onshore)

Alhoewel Mermaid en Northwester 2 zich ca. 50 km uit de kust bevinden, wordt hierna toch de referentiesituatie aan de kust besproken.

De wind en de golven domineren het geluidsniveau op het strand. Volgens meerdere studies en metingen is het geluid afhankelijk van de windkracht en windrichting (de verschillende literatuurstudies worden uitgebreid besproken in het MER van C-Power (Ecolas, 2003) en het MER van het windpark SPE te Zeebrugge (SGS Environmental Services, 2003). Het gemiddeld geluidsniveau ligt tussen 50 en 65 dB(A) op 25 m van de kustlijn.

In de kustzone zal het omgevingsgeluid verschillen van plaats tot plaats, afhankelijk van de verkeerssituatie, de vegetatie, het afschermend effect van eventuele gebouwen, enz. Aan de bebouwingslijn zal het achtergrondgeluid (voornamelijk dan gedurende de nacht) meestal lager liggen dan aan de kustlijn. Tijdens de nachtperiode kan het achtergrondgeluidsniveau met een stille zee (zeegang 0-1) er 40 dB(A) bedragen.

Uit oriënterende metingen aan de Polders in Nederland (Provincie Zeeland, 1998) blijkt dat het omgevingsgeluid langs de Noordzee gemiddeld tussen de 30 en 40 dB(A) ligt gedurende de nachtperiode (de meest kritische periode door de afwezigheid van menselijke activiteiten).

In de periode november en december 2007 werd door Technum het geluidsniveau geïnventariseerd in het natuurreservaat het Zwin ter beschrijving van de referentietoestand in het kader van het MER “Uitbreiding van het Zwin’ (Technum, 2007). Daartoe werden verspreide geluidsmetingen uitgevoerd in het gebied. In de dichtstbijzijnde meetpunten tot de kustlijn (landinwaarts op ca. 500 m tot de kustlijn) werd een achtergrondgeluidsniveau opgemeten van 35 tot 38 dB(A).

Ter hoogte van de dichtstbijzijnde woningen kan het huidig omgevingsgeluid op land getoetst worden aan de milieukwaliteitsnormen van VLAREM-II (enkel ter volledigheid van de studie, want de studie is een federale aangelegenheid en geen Vlaamse). De milieukwaliteitsnormen werden opgesteld als basis voor de duurzame ontwikkeling en de bescherming van een gezond leefmilieu in Vlaanderen. Er worden daarbij kwaliteitseisen aangegeven waaraan het betrokken onderdeel van het milieu in heel het Vlaams Gewest moet voldoen. Eén van de onderdelen is het aspect geluid. De milieukwaliteitsnormen voor geluid worden aangegeven

als toelaatbare dB(A)-waarden met betrekking tot het achtergrondgeluidsniveau van het omgevingsgeluid, in open lucht. De hinderbeleving is daarbij afhankelijk van de periode van de dag en de bestemming van het gebied waarin bewoonde gebouwen zijn gelokaliseerd. Het betreft een richtwaarde voor de gemiddelde waarde van de LA95,1h-waarden.

Volgens het gewestplan bestaat de dichtstbijgelegen kustzone uit woningen in woongebied en natuurgebied. Indien als referentiesituatie de VLAREM II milieukwaliteitsnormen genomen worden voor het woongebied en natuurgebied, worden als strengste richtwaarden (‘s nacht) respectievelijk 35 en 30 dB(A) aangenomen. Toetsing van de meetgegevens uit literatuurstudies met de milieukwaliteitsnorm voor woongebieden en natuurgebieden, kan men stellen dat het achtergrondgeluidsniveau aan de eerste lijnsbebouwing (dijk) enkel tijdens een stille zee conform de milieukwaliteitsnorm is. In de overige natuurlijke toestanden (licht golvende of golvende zee, enz.) zal er ’s nachts een overschrijding worden waargenomen van de richtwaarde uit de milieukwaliteitsnorm. Hiermee wordt aangegeven dat er voor de bebouwing aan de dijk reeds zonder menselijke geluidsbijdrage er een akoestische verstoring is als gevolg van natuurlijke geluiden.

Vermits de beïnvloedingsafstand van de huidig geëxploiteerde windturbines (55 windturbines van 3 MW van Belwind, 72 windturbines van 3 MW van Northwind en 54 windturbines van 5-6,15 MW van C-Power) zich beperkt tot ongeveer 2.000 à 3.000 m buiten deze windparken, zullen er ook geen invloeden zijn van het specifieke geluid van de huidige exploitatietoestand op het oorspronkelijk omgevingsgeluid aan de kustzijde (onshore): +0 dB ten gevolge van cumulatieve effecten. De windparken zijn aldus ver genoeg uit de kust gesitueerd zodat zij geen verder negatieve impact op het achtergrondgeluid aan land hebben.

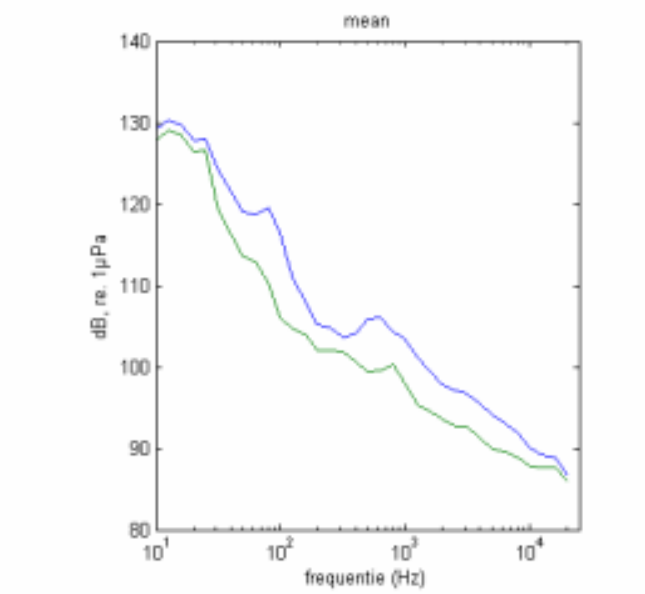
5.3.2.2 Omgevingsgeluid onder het wateroppervlak

Onder water wordt het omgevingsgeluid bepaald door enerzijds natuurlijke geluiden afkomstig van ondermeer getijdenstromingen, wind en regen, turbulentie in snelstromend water, golfslag, geluid van onderwaterfauna, en anderzijds door antropogene geluiden afkomstig van ondermeer schepen, luchtvaart, windparken (bij exploitatie), gasleidingen, enz.

Onderwatergeluid verschilt in diverse aspecten van geluid in lucht. Een van de voornaamste verschillen is de geluidssnelheid. Deze geluidssnelheid is in lucht 343 m/s en in water 1.500 m/s. Het geluid plant zich dus sneller voort onder water. Daarnaast neemt de golflengte van geluid van eenzelfde bron onder water toe met een factor vier. Dit betekent dat een geluidsbron die geluid produceert in het medium lucht een ander geluidsdrukniveau produceert vergeleken met deze bron in het medium water.

Een belangrijk verschil is ook dat de amplitude onder water wordt gemeten ten opzichte van een referentiedruk van 1 µPa (ten opzichte van 20 µPa in lucht). Dat betekent dus dat de waarde van de dB geheel anders is. Om dB's in zeewater te kunnen vergelijken met die in lucht dient er van de zeewatergetallen 62 dB te worden afgetrokken.

Vervolgens is de diepte bepalend voor het achtergrondgeluid onder water. Op onderstaande figuur wordt dit aangegeven door het opgemeten geluidsspectrum bij plaatsen van hydrofonen op verschillende diepte onder het wateroppervlak van de Noordzee.



Figuur 5-48 Gemiddeld geluidsspectrum onder water t.h.v. de Thorntonbank (najaar 2005) – blauwe curve: hydrofoon op 2 m diepte, groene curve: hydrofoon op 16,5 m diepte (RCMG, 2006)

Vermits de zeebodemdiepte varieert van zone tot zone, zal ook het achtergrondgeluid variëren. In ondiep water speelt de wind en het vallen van regendruppels op het zeeoppervlak een belangrijke rol op het waar te nemen geluidsniveau. Regen heeft bijvoorbeeld een verhogend effect met ca. 18 dB bij 100 Hz en ca. 22 dB bij 1.000 Hz. Deze verhoging moet geteld worden bij het achtergrondgeluid van een volkomen vlakke zee van ongeveer 85 dB bij 30 Hz tot 60 dB bij 16 kHz. Bij storm kunnen deze achtergrondniveaus oplopen tot meer dan 100 dB bij 30 Hz en 85 dB bij 16 kHz. Aan de Lodewijkbank waar de zeebodem op 25 m onder het wateroppervlak ligt, is het achtergrondgeluidsniveau onder water hoger tengevolge van de grotere golfslag en het hier bijbehorende geruis van snelstromend water. In ondiep water verdwijnen de laagfrequente signalen (< 200 Hz) door interactie met de bodem, geulranden en het wateroppervlak, ook het “tunneleffect” genoemd. Bij een grotere diepte daalt het geluidsniveau lichtjes.

Een ander natuurlijk geluid is bijvoorbeeld afkomstig van garnalen waarbij het achtergrondgeluidsniveau tot ongeveer 100 dB (re 1 µPa) bij 8 kHz (Knudzen, V.O. *et al.*, 1948) kan oplopen. Ook walvissen en dolfijnen produceren geluid, met pieken rond de 200 dB (Richardson *et al.*, 1995). Zij kunnen aldus geluidsniveaus veroorzaken boven het opgemeten achtergrondgeluidsniveau t.h.v. de Thorntonbank.

In het monitoringsrapport van het onderwatergeluid op de Thorntonbank en Blighbank in 2008 (Haelters *et al.*, 2009) - referentietoestand vóór de exploitatiefase van het windpark op de Thorntonbank - werd per 1/3e octaafband in het frequentiegebied tussen 10 en 2.000 Hz een gemiddeld geluidsniveau van 95 tot 100 dB (re 1µPa) opgemeten aan de Blighbank bij gunstige weersomstandigheden (2-3 Beaufort, zeegang 1-2, kabbelende tot licht golvende zee).
Wat gelijkaardig is aan het gemiddeld geluidsniveau gemeten in 2005-2006 op de Thorntonbank bij nagenoeg dezelfde weersomstandigheden (2-3 Beaufort, zeegang 1-2, kabbelende tot licht golvende zee). Bij minder gunstige weersomstandigheden (3-4 Beaufort,

zeegang 2-3, licht golvende tot golvende zee) steeg het laagfrequent ruisniveau tot 130 dB. Kleine verschillen tussen beide sites kunnen worden toegewezen aan de geluidsbijdrage van de Interconnector en/of Seapipe pijpleidingen nabij de Thorntonbank. Een belangrijke opmerking daarbij is dat het omgevingsgeluid ook seizoensgebonden is. Zo kan het geluid in de zomer tot 7 dB hoger zijn dan in de winter (Haelters *et al.*, 2009). Dit kan het gevolg zijn van verschillen in verkeerstromen (scheepvaartdensiteit), in weersomstandigheden, in stromingen, in biologische activiteit of in propagatie.

In de concessiezones van Mermaid en Northwester 2 zal het referentie onderwatergeluid eveneens worden beïnvloed door de werking van nabijgelegen turbines (Belwind). In het monitoringsrapport van het onderwatergeluid rond de offshore windparken in het BDNZ (Norro *et al.*, 2011) werden de werkingsgeluiden tijdens het operationeel zijn van de windparken geïnventariseerd. Metingen werden uitgevoerd in twee verschillende offshore windparken waar twee verschillende funderingstypes aanwezig zijn: gravitaire fundering (C-Power) en stalen monopile fundering (Belwind). De geluidsmetingen werden naar spectrale inhoud opgemeten per 1/3e octaafband in het frequentiegebied tussen 10 en 2.000 Hz. In het offshore windpark van C-Power (metingen 08/03/2010) met 6 gravitaire fundering werd een lichte stijging van het geluidsdrukniveau (Sound Pressure Level - SPL) waargenomen van 5 tot 8 dB re 1µPa bij frequenties van 110, 200 en rond 1.000 Hz, ten opzichte van achtergrondgeluidsniveau (onderwatergeluid vóór exploitatie) gemeten voor de bouw (2005-2006). Bij 60, 100, 320 en 3.200 Hz werden geen verhogingen t.o.v. het achtergrondgeluidsniveau opgemeten. Het onderwatergeluid van het C-Power windpark met gravitaire fundering kan algemeen als laag beschouwd worden.

Een belangrijkere verhoging in achtergrondgeluidsniveau (SPL) van 20 tot 25 dB re 1µPa (metingen 04/04/2011) werd waargenomen aan de Blighbank (Belwind: 55 x 3MW) waar stalen monopile funderingen worden gebruikt. Verschillende weerscondities kunnen dergelijke verschillen in geluidswaarde niet verantwoorden. De significante geluidsverhoging kan dus worden beschouwd als veroorzaakt door een stalen monopile. Enerzijds was het aantal geluidsbijdragende windturbines (6 GBF) in het C-Power windpark veel lager, hetgeen deels een hogere geluidswaarde zou verantwoorden voor het Belwind park, anderzijds werden de geluidsmetingen aan het C-Power windpark op een dichtere afstand tot de windturbine gestart (12 m t.o.v. 186 m). Men kan aannemen dat windturbines met gravitaire fundering veel minder lawaaierig zijn dan deze met een stalen monopile (-20 dB). Bemerk dat dergelijke geluidsemissies van het operationele Belwind windpark lager zijn dan tijdens de bouwfase, vooral omdat de bouwfase het heien van palen vereiste. Vanaf een afstand van 500 m (= grens veiligheidszone van de windparken) zal het specifieke geluid van de operationele windparken vermoedelijk worden gemaskeerd door het onderwaterachtergrondgeluid zoals opgemeten aan de Thorntonbank.

Daarnaast vormen antropogene geluiden, zoals het geluid en de trillingen van scheepsmotoren één van de belangrijkste geluidsbronnen van menselijke oorsprong. Naast de scheepmotoren zijn er geluiden afkomstig van de propeller-cavitatiegeluiden en het hydrodynamisch geluid van de stroming rondom het schip. Geluidskarakteristieken van individuele schroeven kunnen grosso modo worden gerelateerd aan de omvang en de vaarsnelheid van het schip, maar er zijn significante verschillen tussen schroeven van eenzelfde klasse.
Het geluidsniveau veroorzaakt door het voorbijvaren van een schip zorgt slechts voor een tijdelijke verhoging van het geluidsniveau (tot +10 dB op het maximale achtergrondgeluid ter hoogte van het schip) (Arcadis, 2011). De geluidsdrukniveaus onder water van vrachtschepen

en veerboten variëren tussen 150 dB (re 1µPa) bij 100 Hz en 115 dB (re 1µPa) bij 5 kHz op een afstand van 100 m van een schip (Verboom, 1991). Voor een visserschip is dat ongeveer 127 dB (re 1µPa) op eenzelfde afstand van 100 meter (Verboom, 1991).

Daarnaast zijn er een aantal geluidsbronnen, zoals geofysisch onderzoek met airguns en militaire activiteiten van de marine (mijnen, schietoefeningen, sonar), waarvan de omvang en ernst onbekend is. Kennis hierover ontbreekt, vanwege gebrek aan (vrij) beschikbare onderzoeksresultaten.

5.3.2.3 Besluit referentiesituatie discipline geluid

Zowel op zee (offshore), als aan de kustzijde (onshore), is het lawaai van de golven bepalend voor het achtergrondgeluidsniveau boven water. Tijdens een stille zee worden de laagste geluidsniveaus verwacht met een achtergrondgeluidsniveau van ca. 40-45 dB(A) aan de Thorntonbank. Bij zwaardere zee kunnen zich hier bovenop geluidsverhogingen van meer dan 10 dB(A) voordoen. Bovendien is het geluidsniveau afhankelijk van de windrichting en de windsnelheid.

Onder water wordt het omgevingsgeluid bepaald door enerzijds natuurlijke geluiden anderzijds door antropogene geluiden. Bij gunstige weersomstandigheden (2-3 Beaufort, zeegang 1-2, kabbelende tot licht golvende zee) werd aan de Thorntonbank een natuurlijk achtergrondgeluidsniveau van ongeveer 95 tot 100 dB (re 1µPa) opgemeten in het frequentiegebied van 10 tot 2.000 Hz. Bij minder gunstige weersomstandigheden (3-4 Beaufort, zeegang 2-3, licht golvende tot golvende zee) steeg het laagfrequent ruisniveau tot 130 dB. In de zomerperiode kan het achtergrondgeluidsniveau met 7 dB toenemen. Voorbijvarende schepen kunnen voor een tijdelijke verhoging zorgen van het achtergrondgeluidsniveau (tot +10 dB op het max. achtergrondgeluidsniveau) in hetzelfde frequentiegebied.

5.3.3 Autonome ontwikkeling

Op het gebied van geluid en trillingen is er globaal gezien geen significante verandering te verwachten bij de autonome ontwikkeling van het gebied. Het onderwatergeluid zal weinig evolueren doordat er geen toename van de scheepvaart verwacht wordt in het projectgebied (in het geval het Mermaid energiepark (windturbines en WEC's) en Northwester 2 windpark niet zouden gebouwd worden). Enkel de (verdere) constructie en de exploitatie van de windparken van C-Power, Belwind, Northwind, Norther, Rentel en SeaStar zullen voor een verandering zorgen. De cumulatieve effecten van de acht windparken (C-Power, Belwind, Northwind, Norther, Rentel, SeaStar, Mermaid en Northwester 2) worden verder besproken onder hoofdstuk 6 'Cumulatieve effecten'.

Over de ontwikkeling van natuurlijke geluiden is moeilijk een uitspraak te doen met betrekking tot het geluidsniveau onder water. Tevens zijn er verschillende andere, niet goed bekende bronnen van geluid, zoals het gebruik van sonar door de marine, schietoefeningen en seismische toestellen voor geofysisch onderzoek enz.

5.3.4 Effecten

5.3.4.1 Constructiefase

5.3.4.1.1 Identificatie van de relevante geluidsbronnen boven en onder het wateroppervlak

Bij de constructiefase van de windturbines worden de geluidsbijdrages van het in te zetten machinepark bepaald voor de 3 funderingsalternatieven (monopile, jacket en gravitaire fundering).

De windturbines en de funderingen worden zoveel mogelijk geprefabriceerd aan landzijde en vervolgens getransporteerd naar het projectgebied, waar de funderingselementen op de correcte plaats ingeheid worden met hydraulische heihamers (monopile en jacket fundering) of afgezonken (gravitaire fundering). Als alternatief voor het heien van de palen (bij monopiles en jacket funderingen), kan er ook gebruik worden gemaakt van de suction bucket techniek zoals beschreven in hoofdstuk 2. In het geval van de monopile funderingen zal op 50% van de locaties de inplantingsplaats eerst genivelleerd worden. Ook bij een gravitaire fundering wordt de inplantingsplaats eerst vlakgebaggerd, daarna een funderingslaag (filterlaag van erosiebescherming) aangelegd en vervolgens de prefab fundering afgezonken.

Wat de specifieke aspecten van de bouwwerkzaamheden betreft, kunnen er drie relevante geluidsbronnen worden onderscheiden die voor een mogelijke toename van de geluidsimmissies in de omgeving kunnen zorgen:

- Heien van de funderingen (voor monopile of jacket fundering);
- Baggeren (voor gravitaire fundering en de helft van de monopile en jacket funderingen en mogelijk verbindingskabels optie B en exportkabeltracé optie C);
- Scheepvaart (voor transport van funderings- en turbine-elementen).

5.3.4.1.2 Effecten van de constructiefase boven het wateroppervlak

Effect op bovenwatergeluid door heien van funderingen

Bij de aanleg van het windpark zal vooral door het heien van de funderingen voor de turbines (monopile en jacket fundering) een tijdelijke verhoging van de geluidsbelasting boven water in de omgeving voorkomen. Het installeren van een monopile met transitiestuk duurt ongeveer 1 dag (transport, positioneren en heien), voor een jacket worden 2-3 dagen voorzien (cf. § 2.7.3.2).

Het heien gebeurt met 30-60 slagen per minuut, waarbij elke slag tussen de 50 en 100 ms duurt. Afhankelijk van het funderingstype (jacket of monopile) en het aantal winturbines per configuratie kan de totale duurtijd van de installatiewerkzaamheden voor monopile funderingspalen variëren van minimaal 73 dagen onder de basisconfiguratie met 38+35 windturbines tot maximaal 150 dagen onder configuratie 1 met 80+70 windturbines, indien Mermaid en Northwester 2 niet overlappend in de tijd gebouwd worden. Wanneer zoveel mogelijk gelijktijdig gewerkt wordt in Mermaid en Northwester 2 bedraagt de uitvoeringstijd ongeveer 38 dagen voor de basisconfiguraties en maximaal 80 dagen voor configuratie 1. Voor jacket funderingspalen kan de totale duurtijd van de hei-werkzaamheden variëren van minimaal 138 dagen onder configuratie 3 met 24+22 windturbines tot maximaal 450 dagen onder configuratie 1 met 80+70 windturbines, indien Mermaid en Northwester 2 niet overlappend in de tijd gebouwd worden. Bij maximale overlap in tijd, bedragen de

uitvoeringstermijnen voor de heiwerkzaamheden bij jacket funderingen tussen 72 (config. 3) en 240 dagen (config.1).

Palen kunnen geheid worden met lichte of zware hamers. Voorbeelden van zware impactmachines zijn valhamers, dieselhamers, zware enkelwerkende pneumatische hamers en stoomhamers. Hierbij is het gewicht van de valhamer gelijk aan het gewicht van de paal.

Lichte impactmachines bestaan meestal uit dubbelwerkende pneumatische hamers. Trilapparatuur voor het intrillen van palen valt meestal onder de categorie van de zware machines.

Het geluids- en trillingsniveau veroorzaakt door het heien is afhankelijk van het gewicht van het heiwerktuig, de kracht van de hamerslagen, de snelheid van de impact, de impacttijd, de vorm van de paal, de grondsoort (onderliggend), de diameter van de paal en de rechtheid van de paal.

De werking van een heimachine is zeer luidruchtig. Voornamelijk het sterk pulserend karakter kan storend werken voor de mens. Tijdens het heien van een pin pile van een jacket fundering was het maximaal gedetecteerde geluidsvermogenniveau van het bovenwatergeluid 145 dB (A) op een afstand van ca. 280 m (Norro *et al*., 2013). Het geluidsvermogenniveau bleek wel sterk afhankelijk van het stadium tijdens het heien: eens de paal in de zeebodem gedreven is, valt het geluidsvermogenniveau sterk terug wanneer het grootste deel van de paal onder het wateroppervlak zit.

Heiactiviteiten kunnen gedetecteerd worden tot een afstand van 10 km van de bron (Norro et al., 2013) en zullen dus in het geval van Mermaid en Northwester 2 niet vanaf de kust gehoord worden.

In het werfgebied zelf zal de verstoring wel belangrijk zijn door het geluid ten gevolge van het heien, maar tevens niet continu en tijdelijk. Bij gunstige weeromstandigheden op zee (Beaufort 1-2) kan het achtergrondgeluidsniveau van 45 dB(A) (meting aan de Thorntonbank op 3 m boven het wateroppervlak) bij elke slag significant worden verhoogd tot op ongeveer 5 km van de heimachine. Met uitzondering van het heien van de funderingspalen aan de rand van het projectgebied, wordt bij een kabbelende tot (licht)golvende zee enkel de projectzone significant verstoord. Bij minder gunstige weersomstandigheden zal door toenemend achtergrondgeluidsniveau het effect van werfgeluiden verlagen tot verwaarloosbaar of gering significant, m.a.w. de verstoringszone zal verder inkrimpen.

Effect op bovenwatergeluid door baggeren

Bij een gravitaire fundering en bij de helft van de monopiles wordt de zeebodem eerst genivelleerd. Baggertuigen, zijn in tegenstelling tot een voorbijvarend schip, een continue geluidsbron voor meerdere dagen per week in een bepaalde exploitatiezone. Het bovenwatergeluid zal vooral worden bepaald door het geluid van de motoren van het schip, de zuigpomp, de filterinstallatie, de zeefinstallatie met stortkoker en eventueel de jetpomp om het opgebaggerde materiaal te ontzilten. Het emissierelevant geluidsvermogenniveau van een ontginningsvaartuig kan variëren afhankelijk van de aard en het type van het werktuig.

In het MER ‘Zand- en grindwinning op het BDNZ’ (Ecolas, 2006) wordt een geluidsvermogenniveau van 110 dB(A) aangehaald voor een ontginningsvaartuig. Op basis van het bronvermogen van een baggerschip en de geluidsoverdrachtsmethode ISO 9613-2 (2006) werd in het kader van MER SeaStar (IMDC, 2013e) de specifieke geluidsbijdrage op verschillende afstanden van het schip en tot aan de kustlijn bepaald.

In een matig belastende situatie[4] plant het geluid zich sferisch voort, en bereikt op een afstand van 0,7 km en op een afstand van 1,1 km een geluidsniveau van respectievelijk 45 en 40 dB(A) bij werking van één baggerwerktuig in het projectgebied. Bij opstelling van het werktuig aan de rand van het windpark is aan de rand van de veiligheidszone (zone van 500 m rond het park) het geluidsniveau reeds lager dan 50 dB(A). Dit is vergelijkbaar met het geluidsniveau veroorzaakt door licht autoverkeer op 30 m, regen, koelkast, afwasmachine, omgevingsgeluid in het bos. Het specifieke geluid berekend ter hoogte van een waarnemer aan de kust bedraagt minder dan 2 dB(A). Het specifieke geluid aan de kustlijn onder werking van één baggerwerktuig in het projectgebied bevindt zich dus ruim onder het huidig achtergrondgeluidsniveau van 30 tot 40 dB(A) tijdens de nachtperiode.

Ter hoogte van de kustlijn zal het achtergrondgeluidsniveau 's nachts, 's avonds en overdag aldus niet worden verhoogd door de baggerwerkzaamheden aan de parken Mermaid en Northwester 2. Op zee zal de effectzone zich situeren rondom het werktuig, en zich mee verschuiven bij het verplaatsen van het werktuig naar een volgende funderingslocatie. De effecten buiten de projectgrenzen van het windpark beperken zich tot de situatie met opstelling van het werktuig aan de rand van het windpark.

Effect op bovenwatergeluid door scheepvaart

De funderingselementen en de windturbines worden verscheept naar de site. Een voorbijvarend schip zal een tijdelijke verhoging van het omgevingsgeluid onder en boven water veroorzaken. Naast de tijdelijke geluidsverhoging van een individueel schip wordt de totale geluidsbelasting boven water aan scheepvaartlawaai mede bepaald door het gemiddeld aantal transportbewegingen per uur. De invloed van de bijkomende schepen op het huidige totale omgevingsgeluid boven water is op zee globaal verwaarloosbaar ten opzichte van de huidige scheepvaart (0/-).

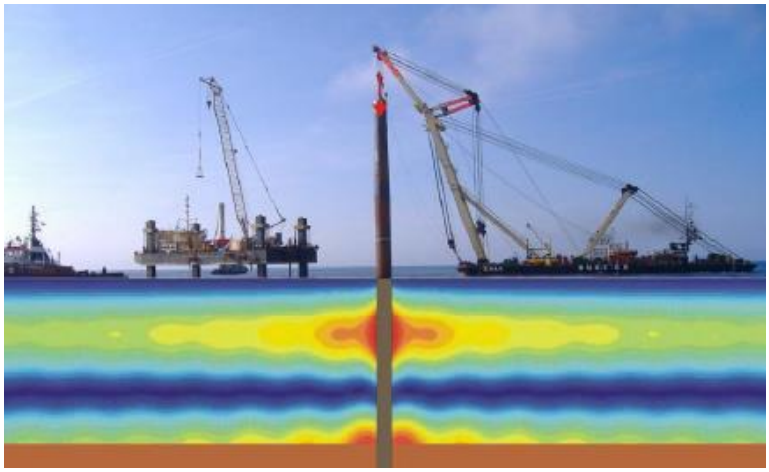
5.3.4.1.3 Effecten van de constructiefase onder het wateroppervlak

Effect op onderwatergeluid door heien van funderingen

Bij de aanleg van het windpark zal door het heien van de funderingen voor de turbines (monopile en jacket fundering) naast een geluidsbelasting boven water, ook een tijdelijke verhoging van de geluidsbelasting onder water in de omgeving voorkomen.

Het onderwatergeluid van het heien kan zich op verschillende manieren verspreiden naar de omgeving: geluidsafstraling van de paal, geluidsafstraling door de bodem, transmissie van het bovenwatergeluid doorheen het wateroppervlak.

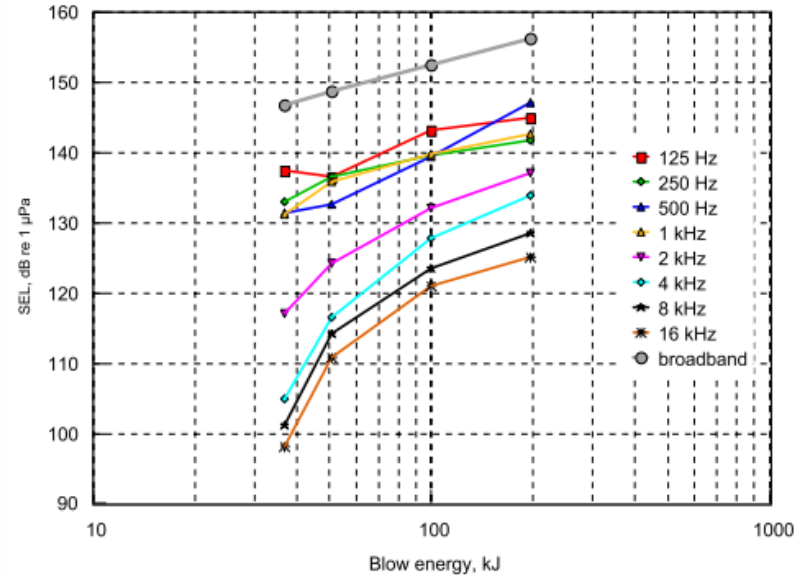
[4] Matig belastende situatie is deze situatie waarbij er voldoende wind is om de windturbines te doen draaien, deze wind voldoende in de richting van de waarnemer waait om opwaartse afbuiging van de temperatuurgradiënt te compenseren, maar de windsterkte toch zodanig beperkt is dat geen geluid door kerende golven in zee ontstaat (zeegang: 1-3).



Figuur 5-49 Verspreiding van het geluid vrijgekomen bij het heien doorheen de waterkolom (bron: Gerasch, 2007)

Bij het heien van de funderingspalen bij monopile en jacket funderingen is het brongeluid dat onder water wordt waargenomen sterk afhankelijk van de diameter en de lengte van de paal, de lokale geologie en bathymetrie. De eerste twee factoren zijn van invloed op de hoeveelheid energie die nodig is om de paal in te heien, de laatste factor bepaalt de efficientie waarmee geluid verspreid wordt.

Het geluidsniveau onder water neemt toe wanneer de hoeveelheid energie van de hamerslag toeneemt. In de studie van Schultz-von Glahn (2006) werd het effect bepaald van de hoeveelheid energie van de hamerslag op het onderwatergeluid. De meetwaarden resulteren in een trendkurve voor de relatie impact energie tot de geluidsemissie volgens de formule 13*log (E_2/E_1) voor frequenties van 100 Hz tot 1.000 Hz, dewelke het frequentiegebied is met de hoogste geluidsemissie tijdens het heien.

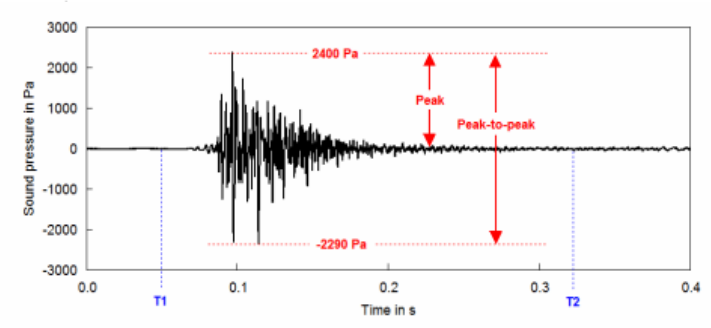


Figuur 5-50 Onderwatergeluid als functie van de energie van een hamerslag van een valhamer (Menck MHF10-20) op 2,2 m paaldiameter op 500 m afstand. Vier proeven werden uitgevoerd met E=37 kJ (minimale energie voor deze paal), 50 kJ, 100 kJ en 200 kJ (Bron: Schultz-von Glahn et. Al. 2006)

Het brongeluid bij heien op korte afstand

In de studie van McKenzie-Maxon (2000) wordt aangegeven dat voor een enkele heislag met een paaldiameter van 4 m, een bronniveau van 215 dB (re 1µPa) op 1 meter van de paal waarschijnlijk is.

$$L_{peak} = 20\log\left(\frac{|p_{peak}|}{p_0}\right)$$



Figuur 5-51 Geluidsverloop bij één heislag

In het MER voor het windpark Norther wordt in de gehanteerde literatuurstudies een piekniveau aangegeven onder water tijdens het heien van:

- 250 dBp-p (re 1µPa) op 1 m afstand van de paal bij paaldiameter 4-5 m,
- 228 dBp-p op 1 m bij paaldiameter 1,5 m, lengte 30 m,
- 205 dBp-p op 30 m bij paaldiameter 3 m, lengte 34 m.

Het piekniveau is gemiddeld 20 dB hoger dan de SEL-waarde. Op 400 m afstand van de funderingspaal kan er volgens de literatuurstudie van Thomsen *et al.* (2006) nog een SEL-waarde tussen de 130 en 170 dB (re 1 µPa²s) met een piekwaarde in het geluidsspectrum bij 250 Hz verwacht worden.

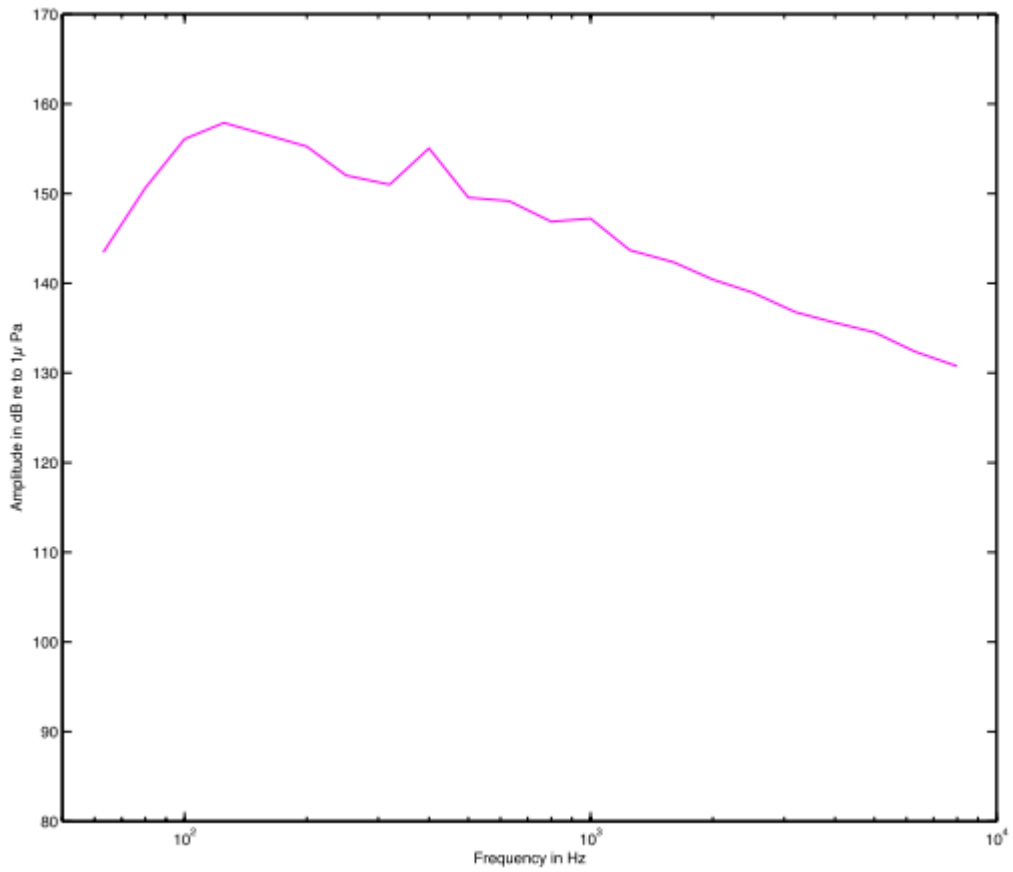
De spectrale samenstelling van het geluid tijdens het heien geeft algemeen aan dat de hogere piekwaarden (170-180 dB_{p-p}) in de frequentiebanden tussen 100 en 1.000 Hz werden opgemeten.

Het gebruik van meerdere werktuigen voor het simultaan heien van palen kan aanleiding geven tot een potentiële uitbreiding van de impactzone. De uitbreiding is afhankelijk van de onderlinge afstand tussen de werktuigen, nl. de mate van interferentie van de antropogene impulsgeluiden. Geluidsconsultants National Physical Laboratories (NPL) voeren voor East Anglia ONE een modelleringsstudie uit betreffende de prognose van het geluidseffect bij het simultaan heien in Belgische en UK gebieden. Een kwantitatieve weergave van het cumulatief effect van het onderwatergeluid bij simultane offshore heiwerkzaamheden is heden nog een leemte in de kennis.

Het brongeluid bij heien op lange afstand

Voor de effecten op grotere afstand kunnen aanvullend op het rapport voor het MER Norther, de resultaten uit het meetonderzoek tijdens de constructiefase van windpark Q7 te IJmuiden (NL) worden aangehaald (De Jong & Ainslie, 2008). Er dient opgemerkt te worden dat de metingen werden uitgevoerd aan boord van een vaartuig dat zelf een aanzienlijk achtergrondgeluid produceerde, het knalgeluid bij een heislag overstemde echter het motorgeluid. Op 1 km werd een SEL-waarde van 172 dB (re 1 µPa) opgemeten. Op 3,2 km afstand werden piekniveaus in het geluidsspectrum opgemeten van 130 dB voor frequenties tussen 4 en 16 Hz, 110 dB voor frequenties tussen 60 Hz en 1 kHz, en 90 dB voor frequenties boven de 4 kHz. De metingen werden uitgevoerd met een monopile fundering in 20 tot 25 m diep water, tot 25 m diepte ingeslagen in de Noordzeebodem voor een 2 MW-windturbine met een lengte van 54 m en een paaldoorsnede van 4 m. De slagfrequentie bedroeg ca. 30 slagen per minuut – totale duur per paal: ca. 2 uur– totaal aantal slagen per paal: 3.000 tot 4.000 (E=800kJ/slag).

Een uitgebreide rapportering van het onderwatergeluid bij het heien van stalen monopalen (A02 en B10) van het windpark Belwind op de Blighbank (Norro *et al.*, 2010) beschrijft het niveau van het antropogene impulsgeluid. Tijdens het heien van 56 funderingen voor 55 windturbines en 1 offshore platform op de Blighbank, werd het geproduceerde onderwatergeluid onderzocht. Er werden geluidsmetingen voor twee monopilelengtes 54 m (A02) en 63 m (B10) uitgevoerd. Voor monopile A02 (diameter 5 m) met een penetratie van 29 m in de zeebodem (tijdsduur 64 min) waren 2.114 slagen nodig met een gemiddelde energie van 641 kJ per hamerslag, respectievelijk 3.848 slagen (tijdsduur 162 min) voor monopile B10 (diameter 5 m) met een gemiddelde energie E=837 kJ. Het maximaal piekgeluidsniveau SPL tijdens de geluidsmonitoring bedroeg enerzijds 166 dB re 1 µPa op ca. 7 km en anderzijds 177 dB re 1 µPa op ca. 3 km van de paal A02. Voor paal B10 bedroeg het maximaal piekgeluidsniveau enerzijds 160 dB re 1 µPa op 14 km van de paal en anderzijds 193 dB re 1µPa op ca. 700 m. Het geluidsspectrum werd opgemeten op 770 m van de paalactiviteiten. De spectrale geluidswaarde bedroeg max. ca. 160 dB re 1µPa opgemeten bij 150 Hz, terwijl het geluidsniveau verminderende naar ca. 150 dB re 1µPa bij 1.000Hz.



Figuur 5-52 geluidsspectrum bij één heislag op 770 m van de stalen monopile (B10) van het windpark Belwind. (naar Norro et al., 2011)

Het voorgestelde criterium voor impulsgeluiden voor een behoud van een goede milieutoestand (Kaderrichtlijn Mariene Strategie), nl. het niveau van antropogene impulsgeluiden dient kleiner te zijn dan 185 dB re 1µPa (nul tot max. SPL) op 750 m van de bron, werd niet gehaald. Het maximaal toelaatbaar piekgeluidsniveau van 185 dB re 1µPa werd slechts bereikt op een afstand van 1580 m van paal B10. Dit voor een energetische impact E=970 kJ/slag. Op basis van de relatie tussen impulsgeluidsniveau en afstand tot de paal werd een lineair regressie model opgesteld waarvoor het maximaal piekgeluidsniveau wordt gedefinieerd als zijnde:

Max piek SPL = -27,4 log(d) + 270,7 dB met d: afstand tot de bron

Op 1 m van de paal wordt een maximaal piekgeluidsniveau van 270,7 dB re 1µPa berekend. Het regressie model voor de monopiles van het windpark Belwind geeft aan dat het achtergrondgeluidsniveau tijdens goede weerscondities wordt verstoord over een afstand van 100 km van de bron (hamerslag). Dit is een conservatieve inschatting daar in de regressieformule geen rekening wordt gehouden met de watergeluidsabsorptie (dB/m).

Er wordt besloten dat het onderwatergeluid tijdens het heien tot op een groot aantal km's van de geluidsbron (heiwerkzaamheden) veel hoger is dan het achtergrondgeluidsniveau en het specifieke geluid veroorzaakt door scheepvaart in het BDNZ.

In het monitoringrapport van het onderwatergeluid rond de offshore windparken in het BDNZ (Norro *et al.*, 2012) werd een vergelijking gemaakt van het onderwatergeluid tijdens het heien van stalen monopiles (Belwind op de Blighbank) en de pre-piles voor de jacket funderingen (C-Power op de Thorntonbank). Het onderwatergeluid werd in-situ opgemeten op verschillende afstanden tot de heilocaties van op een meetboot ('rigid hull inflatable boat'). De geluidsmetingen voor monopile fundering werden reeds uitgevoerd in september 2009 en januari 2010, deze voor de jacket fundering in mei en juli 2011. Voor het heien van de monopile funderingen op de Blighbank werd een IHC hydrohamer S1200 gebruikt met een max. energie van E=1200 kJ. De gemiddelde energie per slag bedroeg 706 kJ. De monopiles hadden een diameter van 5 m, een gemiddelde lengte van 54 m en een gemiddelde massa van 375 ton. Voor het inheien waren gemiddeld in totaal 2.982 slagen per paal nodig met een totale duurtijd van gemiddeld 120 min. Voor het heien van de jacket funderingen op de Thorntonbank werd een IHC hydrohamer S800 gebruikt met een max. energie van E=800 kJ. De gemiddelde energie per slag bedroeg 412 kJ. De pre-piles van de jacket fundering hadden een diameter van 1,8 m, een gemiddelde lengte van 37 m en een gemiddelde massa van 77 ton. Voor het inheien waren in totaal gemiddeld 9.476 slagen per fundering (4 pre-piles per jacketfundering) nodig met een totale duurtijd van gemiddeld 319 min (de tijd tussen het heien van de 4 pre-piles wordt niet in rekening gebracht). De slagfrequentie bedroeg voor beide types funderingen ongeveer 40 slagen per minuut.

Het hoogste-laagste piekniveau bedroeg 194-179 dBz-p (zero to peak = nul tot max. SPL) (re 1µPa) op 750 m afstand van de monopile op de Blighbank, terwijl voor een pre-pile van een jacket fundering op de Thorntonbank het hoogste-laagste piekniveau 189-172 dBz-p (zero to peak) (re 1µPa) bedroeg op 750 m afstand (Norro et al., 2013). Het voorgestelde criterium voor impulsgeluiden voor een behoud van een goede milieutoestand (Kaderrichtlijn Mariene Strategie), nl. het niveau van antropogene impulsgeluiden dient kleiner te zijn dan 185 dB re 1µPa (nul tot max. SPL) op 750 m van de bron, werd niet gehaald.

De maximale SEL-waarde voor een jacket fundering was 178 dB (re 1 μPa^2s) op 750 m afstand van de jacket fundering (CG3), terwijl voor een monopile (A02 en B10) een maximale SEL-waarde 10 dB lager was met een maximum van 166 dB (re 1 μPa^2s) op 750 m afstand van de paal.

Om een volledige monopile (Belwind) in te heien waren er gemiddeld 2.982 slagen nodig met een gemiddeld SEL-waarde per inslag van 161 dB (re 1 μPa^2s) op 750 m afstand van de paal. Het totaal aantal slagen vertegenwoordigt een toename van 35 dB ($10*\log_{10}(2982)$) om tot de cumulatieve SEL-waarde van 196 dB (re 1 μPa^2s) op 750 m afstand te bekomen. Voor de evaluatie van de biologische impact van een paal wordt de cumulatieve SEL-waarde gehanteerd als indicator voor de geluidsdosis. Om een volledige jacket funderingspaal (C-Power) in te heien waren er gemiddeld 9.476 slagen nodig met een gemiddeld SEL-waarde per inslag van 156 dB (re 1 μPa^2s) op 750 m afstand van de paal. Het totaal aantal slagen vertegenwoordigt een toename van 40 dB ($10*\log_{10}(9476)$) om tot de cumulatieve SEL-waarde van eveneens 196 dB (re 1 μPa^2s) op 750 m afstand te bekomen. Echter, voor het inheien van een monopile was een totale duurtijd van gemiddeld 120 min. nodig, ten opzichte van 319 min voor een jacket fundering. Dezelfde cumulatieve SEL-waarde werd opgemeten voor beide type funderingspalen, maar met een langere verstoringstijd voor jacket funderingen in vergelijking tot monopiles. Het heien van jacket funderingspalen (4 pre-piles per fundering) neemt ongeveer 3 keer meer tijd in beslag dan het heien van monopiles, aldus een langere impact op de mariene fauna.

De analyses van de geluidsspectra tonen aan dat deze bijna een identieke vormgeving hadden in het frequentiegebied 100 tot 500 Hz voor het heien van een stalen monopile (Belwind) als voor de kleinere pre-piles (C-Power). Het hoogste onderwater geluidsniveau wordt geëmitteerd in het frequentiegebied 60 tot 2.000 Hz.

Uit de onderwatergeluidsmetingen tijdens het heien van jacket funderingspalen (Thorntonbank) en monopiles (Blighbank) kan worden besloten dat voor het heien van een jacket funderingspaal (4 pre-piles) omwille van de lagere impactenergie, aldus een minder krachtige hydrohamer kan worden gebruikt in vergelijking met een monopile. De invloedszone (gebied waarbinnen het achtergrondgeluidsniveau wordt verhoogd) is tijdens het heien van jacket funderingspalen dan ook kleiner door de lagere impactenergie per inslag. Daarentegen vereisen jacket funderingspalen een langere heitijd (duurtijd om 1 paal in te heien). De invloedszone voor jacket funderingen is dus kleiner dan voor monopiles, maar de blootstellingsduur is langer.

Effect van diepte

In ondiep water neemt de verspreiding toe door het zogenaamde tunneleffect. Door reflecties tegen de bodem, geulranden en het wateroppervlak doven signalen beneden de 200 Hz echter snel uit.

Situatie windpark Mermaid en Northwester 2

Een overzicht van de (ingeschatte) paaldiameters voor de drie alternatieve configuraties en de basisconfiguratie voor windpark Mermaid en Northwester 2 is weergegeven in Tabel 5-44.

Tabel 5-44 Indicatieve paaldiameters voor monopile and jacketfunderingen voor windpark Mermaid en Northwester 2

Configuratie	Typevoorbeeld windturbine	Capaciteit	Paaldiameter fundering		Uitvoeringstermijn (dagen/# WTG's) Mermaid		Uitvoeringstermijn (dagen/# WTG's) NW2	
			MP	JF	MP	JF	MP	JF
Basis configuratie	Alstom Haliade	6 MW	6,2-7,5 m	2,25 m	38d/38 WTG's	114d/38 WTG's	35d/35 WTG's	105d/35 WTG's
Configuratie 1	Vestas V112	3,3 MW	6 m	1,8 m	80d/80 WTG's	240d/80WTG's	70d/70 WTG's	210d/70 WTG's
Configuratie 2	Vestas V164	8 MW	-	2,25 m	-	114d/38WTG's	-	111d/37 WTG's
Configuratie 3	SeaTitan	10 MW	-	2,5 m	-	72d/24 WTG's	-	66d/22 WTG's

Er is een leemte in de kennis aangaande het geluidsniveau onder water tijdens het heien van de monopile typevoorbeelden voor de parken Mermaid en Northwester 2, daar er nog geen geluidsmetingen werden uitgevoerd tijdens het heien van palen die dezelfde dimensies hebben en op plaatsen met dezelfde bathymetrie.

Als gevolg werd er verondersteld dat palen tot een diameter 6,2-7,5 m eenzelfde grootte-orde van geluidsniveau veroorzaken als de inventarisatiegegevens bij paaldiameters van 4 en 5 m, opgenomen in de studie van Nedwell *et al.* (2007) (Tabel 5-45) en de meetresultaten in het monitoringsrapport van het onderwatergeluid rond de offshore windparken in het BDNZ (Norro *et al.*, 2012, 2013).

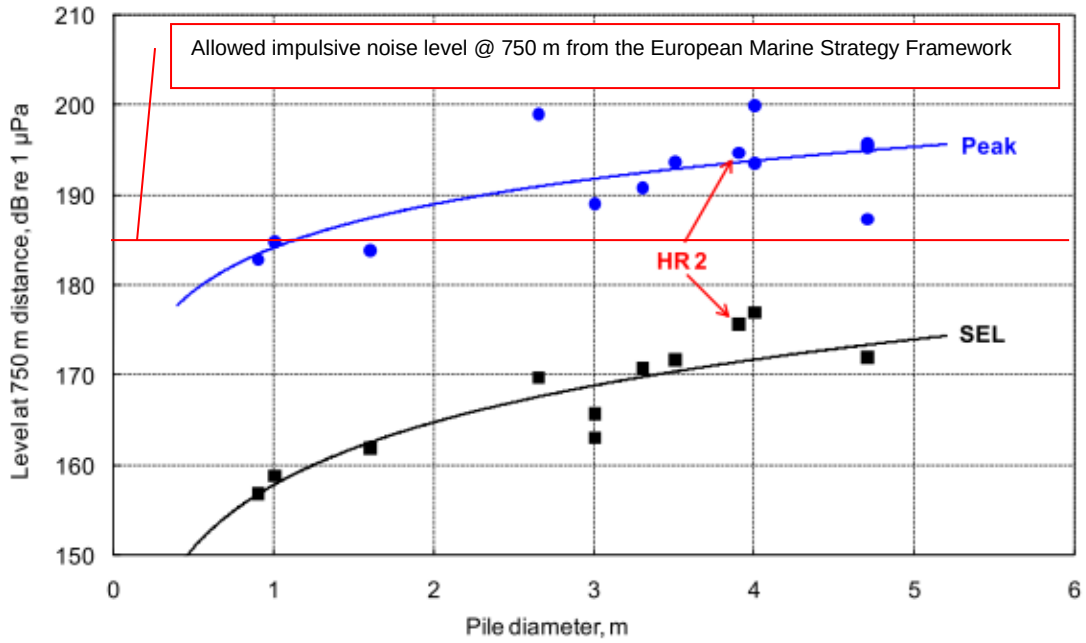
Tabel 5-45 Berekend geluidsniveau op verschillende afstanden met attenuatieformule voor verschillende locaties volgens Nedwell et al. (2007) en Norro et al. (2010) (in Arcadis, 2011)

				geluidsniveau (dB p-p re 1µPa) op bepaalde afstand (m)							
geluidsniveau (dB p-p re 1µPa)	attenuatie	locatie	diameter funderingspaal	500	1000	2000	5000	10000	20000	40000	80000
243	20logR - 0,002R	Kentish Flats, UK	Φ4,3 m	188,0	181,0	173,0	159,0	143,0	117,0	71,0	0,0
249	17logR - 0,0011R	North Hoyle, UK	Φ4 m	202,6	196,9	190,7	180,6	170,0	153,9	126,8	77,6
257	20logR - 0,003R	Scroby Sands, UK	Φ4,2 m	201,5	194,0	185,0	168,0	147,0	111,0	45,0	0,0
252	18logR - 0,0003R	Barrow	Φ4,7 m	203,3	197,7	192,0	183,9	177,0	168,6	157,2	139,7
249	21logR - 0,0047R	Burbo Bank	Φ4,7 m	192,0	181,3	170,3	147,8	118,0	64,7	0,0	0,0
270,7	27,4logR - 0,0004R	Bligh Bank	Φ5 m	196,5	188,1	179,5	167,3	157,1	144,9	128,6	104,4

Op basis van de literatuurgegevens uit geluidsmetingen tijdens het heien van palen (diameters tussen 4 en 5 m, met verschillende lengte en ter hoogte van verschillende bathymetrie) en de geluidsoverdrachtsformule opgenomen in de literatuurstudies van Nedwell *et al.* (2007) en Norro *et al.* (2010), werd het piekniveau berekend op grotere afstanden (0,5 km tot 80 km) tot de paal. Daaruit volgt dat er tijdens het heien van de funderingen op 20 km nog geluidsniveaus waargenomen kunnen worden die hoger zijn dan het achtergrondgeluidsniveau van 105 dB (re 1µPa). Op 80 km wordt het achtergrondgeluidsniveau tijdens een lichgolvende tot golvende zee (zeegang 2-3) nagenoeg nergens meer overschreden. Echter, tijdens een kabbelende zee (zeegang 1-2) is de geluidsimpact waarneembaar op een afstand van meer dan 100 km tot de windturbines. Er dient daarbij te worden opgemerkt dat de onnauwkeurigheid in de berekening sterk toeneemt bij grotere afstanden. Voor het heien van de pre-piles van een jacket fundering (diameter 1,8 m) hebben de geluidsmetingen (Norro *et al.*, 2012) uitgewezen dat de geluidsniveaus ongeveer 10 dB lager zijn dan bij het heien van een monopile (diameter 5 m). Het geluidsnvieau onder water bij het heien van een jacket fundering zal steeds lager zijn, maar de werkingsduur van het heien zal wel langer zijn (factor 3 per fundering).

Het plaatsen van een monopile en het opzetten van een transitiestuk duurt ca. 1 dag per fundering (bij geschikt weer), waarvan maximaal 4h effectief geheid wordt. Voor de basisconfiguratie (38+35 WTG's) komt dit overeen met een totale installatieperiode van ongeveer 1,5-2 maand per park, voor configuratie 1 (80+70 WTG's) komt dit neer op een totale installatieperiode van ongeveer 3-4 maand per park (zonder weerverlet).

Het heien van de palen en het plaatsen van een jacket duurt 3 keer langer per fundering (bij geschikt weer), waarvan vier keer maximaal 3h effectief geheid wordt met tussenpozen van 2 uur. Voor de basisconfiguratie (38+35 WTG's) komt dit neer op een totale installatieperiode van ongeveer 4-3,5 maand voor resp. Mermaid en Northwester 2. Voor configuratie 1 komt dit neer op een totale installatieperiode van ongeveer 8 maand voor Mermaid en Northwester 2. Voor configuratie 2 ongeveer 4 maand voor elke park en voor configuratie 3 is dit ongeveer 2,5 maand per park (zonder weerverlet).



Figuur 5-53 Max SEL en piekniveau aan het Horns Rev II (HR2), in vergelijking tot andere off-shore heiwerkzaamheden (Fino 1(2003), Alpha Ventus (2008), Utgrunden (2000), Sky (2002), Fino 2 (2006), Amrumbank West (2005), North Hoyle (2003), Q7 (2007), Barrow (2005), Fino 3 (2008)).- (Klaus Betke, 2008 - Measurement of wind turbine construction noise at Horns Rev II)

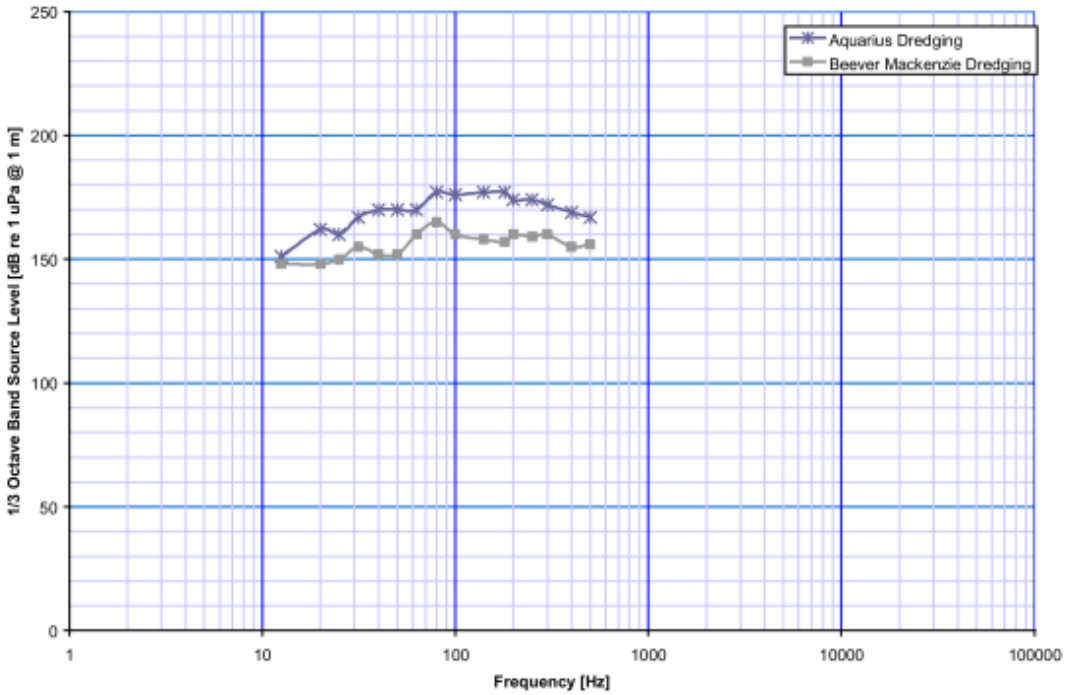
Effecten op onderwatergeluid door baggeren

Bij een gravitaire fundering en bij de helft van de monopile funderingen (in geval van stationaire erosiebescherming) wordt de zeebodem eerst plaatselijk vlakgebaggerd met een geheel of gedeeltelijk onstaan van een funderingsput tot gevolg. De grootste funderingsputten worden gebaggerd bij gravitaire fundering. Het baggeren van één funderingsput duurt ca. 35h.

Afhankelijk van het aantal winturbines per configuratie kan de totale duurtijd van de baggerwerkzaamheden voor gravitaire funderingspalen voor Mermaid variëren van minimaal 35 dagen onder configuratie 3 met 24 windturbines tot maximaal 55 dagen onder de basisconfiguratie of configuratie 2 met 38 windturbines. Voor park Northwester 2 kan de totale duurtijd van de baggerwerkzaamheden voor gravitaire funderingen variëren van 32 dagen onder configuratie 3 met 22 windturbines tot maximaal 54 dagen onder de configuratie 2 met 37 windturbines (werkdagen van 24h, zonder weerverlet).

Baggertuigen zijn in tegenstelling tot een voorbijvarend schip, een meer continue geluidsbron gedurende de constructieperiode voor meerdere dagen per week in een bepaalde extractiezone. Daardoor kan de geluidsimpact groter zijn dan dat van een passerend schip. In Norro et al. (2013) werd de constructie van gravitaire funderingen als relatief stil omschreven, daar het meeste geluid afkomstig is van scheepsbewegingen en baggeractiviteiten met RMS geluidsniveaus van ca. 115 dB re 1 µPa, wat niet veel hoger is dan het achtergrondgeluid gemeten op de Thorntonbank.

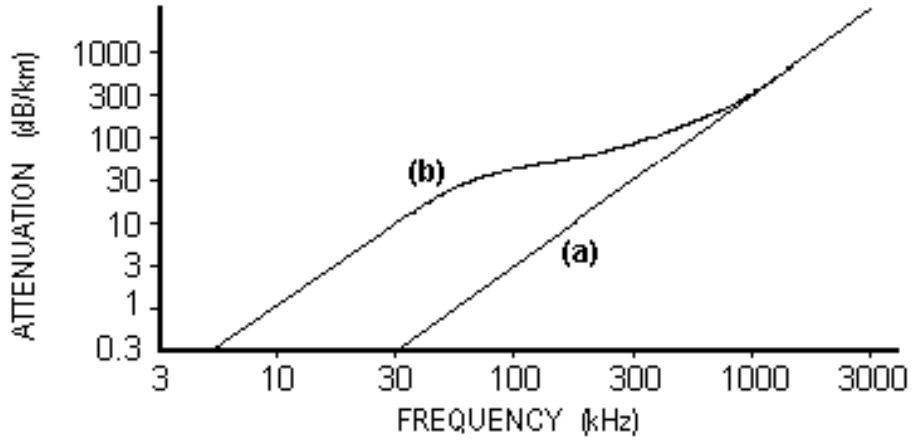
In de studies van Richardson *et al.* (1995) en deze voor het Sakhalin Energy project werden meetresultaten weergegeven voor verschillende baggertuigen: de snijkopzuiger Aquarius en de sleephopperzuiger Beaver Mackenzie. Figuur 5-54 geeft de 1/3^{e} octaafband geluidsdrukspectra weer opgemeten voor verschilldende baggertuigen.



Figuur 5-54 1/3^{e} octaafbandspectra voor het onderwatergeluidsniveau voor snijkopzuiger Aquarius (lengte: 107 m – vermogen: 12889 kW) en sleephopperzuiger Beaver Mackenzie, in dB (re 1µ Pa) (Richardson et al., 1995)

Uit Figuur 5-54 volgt dat het spectraal piekniveau in ondiep kustwater gelegen is tussen de 1/3^{e} octaafbandmiddenfrequenties van 80 en 200 Hz. Voor de snijkopzuiger Aquarius bedraagt het piekniveau 177 dB (re 1µ Pa) tussen 80 en 200 Hz. Voor de sleephopperzuiger Beaver Mackenzie is dit 164 dB (re 1µ Pa) bij 80 Hz. Zowel het geluidsniveau als de spectrale geluidsverdeling is verschillend voor elk baggertuig. Volgens de literatuurstudie van Richardson *et al.* (1995) kan het breedbandig geïntegreerd geluidsdrukniveau onder water op 1 m van de sleephopperzuiger variëren tussen 172 dB (Beaver Mackenzie) en 188 dB (Gerardus Mercator). Sleephopperzuigers gelijkaardig aan Beaver Mackenzie en Gerardus Mercator zijn inzetbaar voor baggerwerken in concessiezones Mermaid en Northwester 2. Een snijkopzuiger als type baggerboot is niet relevant voor dit project, gelet op de aard van de lokale zeebodem. Een snijkopzuiger zoals Aquarius is bovendien beperkt tot een diepte van 25 m en niet geschikt bij hoge golven.

Bij het voortplanten van geluid onder water is er een transmissieverlies ten gevolge van de spreiding (cilindrisch: SL = constant + 10 log(r/r_{ref}) of sferisch: SL = 10 log(r/rr_{ef})^2 met r_{ref}= 1 m), ten gevolge van de absorptie (α) van het zeewater (Figuur 5-55) en ten gevolge van de reflectie tegen obstakels en zeebodem. De absorptie (α) van het zeewater is frequentieafhankelijk. Voor frequenties < 3.000 Hz is de absorptie in zeewater kleiner dan 0,3 dB per km en bijgevolg niet significant voor sleephopperzuigers tijdens de extractiefase gezien het octaafbandspectrum weergegeven in Figuur 5-54.



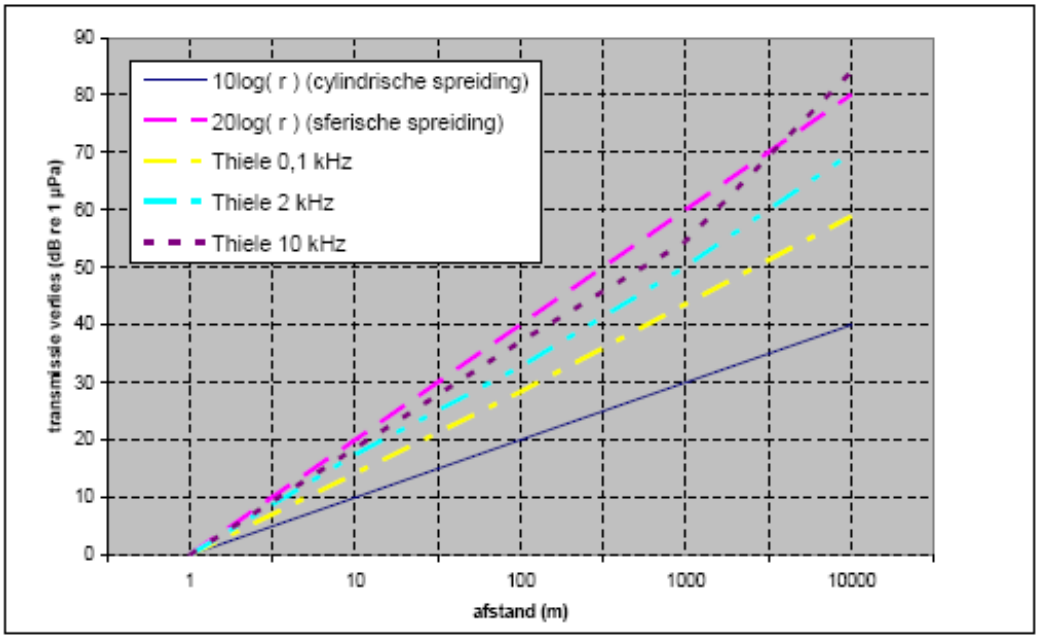
Figuur 5-55 De attenuatie als functie van de frequentie: (a)= zoetwater (b)=zeewater

De geluidsreflectie is afhankelijk van de bodem, zo is er een hoge absorptie bij zachte bodems (bv. modder) en minder absorptie bij harde bodems (bv. rotsen, zand).

Voor de baggertuigen Beaver Mackenzie en Aquarius werden reeds metingen uitgevoerd op grotere afstand tot het werktuig, waarbij het geluidsdrukniveau in het frequentiegebied 20-1.000 Hz gedempt was tot 133 dB (re 1µPa) voor de Beaver Mackenzie op 190 m van het werktuig en tot 140 dB (re 1µ Pa) voor de Aquarius op 200 m van het werktuig. Pas op een een geometrische uitbreidingsafstand van grootteorde 20 km zal het geluid van een baggertuig gedempt zijn tot het niveau van het aanwezig achtergrondgeluidsniveau.

In een studie van de BMM (2007) werden op 430 m en 1.500 m afstand van een baggerschip geluidsniveaus van 138 dB, respectievelijk 131 dB (re 1 µPa) opgemeten. De demping door geluidsoverdracht komt blijkbaar overeen met de formule van Thiele (2002).

Thiele (2002) heeft een formule ontwikkeld voor de geluidsdemping onder water in functie van de afstand, die toepasbaar is voor de Noordzee met een waterdiepte tot 100 m, een zandbodem en een windsnelheid kleiner dan 37 km/uur. Figuur 5-56 geeft de berekende transmissieverliezen weer in functie van de afstand tot de bron.



Figuur 5-56 Transmissieverlies berekend met 3 verschillende formules: volgens Thiele (2002), volgens een cilindrische uitbreiding en volgens een sferische uitbreiding

Volgens Thiele is er voor 100 Hz het transmissieverlies herleidbaar tot TL = 15 LOG (r). Dit komt overeen met een verlies van 4,5 dB bij een verdubbeling van de afstand tussen bron en ontvanger.

Op basis van deze praktijkgegevens kan met het transmissieverlies volgens Thiele (TL = 15 LOG (r)) een voorspelling worden gemaakt voor het onderwatergeluid op diverse afstanden van de bron (Tabel 5-46).

Tabel 5-46 Verwacht specifiek geluid voor een sleephopperzuiger (Gerardus Mercator) in functie van de afstand tot de bron

Specifiek geluid onder water (in dB (re. 1µPa)) Baggertuig Gerardus Mercator (188 dB @ 1 m)									
Afstand tot de bron (m)	500	1.000	2.000	5.000	10.000	20.000	40.000	80.000	160.000
Specifiek geluid (L_{sp})	**148**	**143**	**138**	**133**	**128**	**123**	**119**	**114**	**110**

Rekening houdend met het transmissieverlies volgens Thiele en het vooropgesteld geluidsniveau tijdens het baggeren, kan worden besloten dat het onderwatergeluid bij gunstige weersomstandigheden tot op enkele kilometers van de bron significant hoger zal zijn dan het aanwezig achtergrondgeluidsniveau. Om bij gunstige weersomstandigheden (2-3 Beaufort, zeegang 1-2, kabbelende tot licht golvende zee) het geluid van een sleephopperzuiger te dempen tot het niveau van het aanwezig achtergrondgeluidsniveau aan de Thorntonbank is een geometrische uitbreidingsafstand volgens de formule Thiele van orde grootte 20 km noodzakelijk.

Bij minder gunstige weersomstandigheden (3-4 Beaufort, zeegang 2-3, licht golvende tot golvende zee) zal het laagfrequent achtergrondgeluidsniveau verhogen met 20 à 30 dB, daardoor zal de significante geluidsverhoging door een baggertuig zich beperken binnen de perimeter van de projectzone, nl. tot enkele kilometers van de bron.

Effecten op onderwatergeluid door scheepvaart

Gedurende de gehele levenscyclus, en in het bijzonder tijdens de constructiefase van het windpark, zal er een toename zijn van scheepvaart, met als gevolg een toename van het algemene niveau van onderwatergeluid. Geregistreerde bronniveaus van schepen variëren van 152 dB (re 1 µPa) op 1 m afstand voor een klein schip met buitenboordmotor tot 192 (re 1 µPa) op 1 m voor grote containerschepen. Effecten op deze toename van scheepvaartgeluid resulteert in vermijdingsgedrag maar eventueel ook aantrekkingsgedrag van onderwaterleven (Nedwell & Howell, 2004). Naast de tijdelijke geluidsverhoging van een individueel schip wordt de totale geluidsbelasting onder water aan scheepvaartlawaai mede bepaald door het gemiddeld aantal transportbewegingen per uur. Echter, de invloed van de bijkomende schepen op het huidige onderwatergeluid op zee is globaal verwaarloosbaar ten opzichte van de huidige scheepvaart (0/-).

5.3.4.1.4 Besluit constructiefase windpark Mermaid en Northwester 2

Tabel 5-47 en Tabel 5-48 geven een samenvatting van de effecten van het geluid tijdens de constructiefase voor de verschillende funderingstypes tijdens de meest kritische omgevingscondities (offshore: gunstige weersomstandigheden, Beaufort 1-2, zeegang 1-2; onshore: nachtperiode onder gunstige weersomstandigheden, Beaufort 1-2) voor resp. Mermaid en Northwester 2. Volgende definities zijn van toepassing: significant positief (++), matig positief (+), gering positief (0/+), (vrijwel) geen effect (0); gering negatief (0/-), matig negatief (-), significant negatief (--).

Tabel 5-47 Overzicht effecten op geluid tijdens constructiefase energiepark Mermaid (excl. WEC's) (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering)

Mermaid windpark	Geluidstype	Funderingstype		
		MP	JF	GBF
Basisconfiguratie 38 WTG's - 6 MW	Onder water	-	0/-	0/-
	Boven water	0/-	0/-	0/-
Configuratie 1 80 WTG's – 3,3 MW	Onder water	-	0/-	n.v.t.
	Boven water	0/-	0/-	n.v.t.
Configuratie 2 38 WTG's – 8 MW	Onder water	n.v.t.	0/-	0/-
	Boven water	n.v.t.	0/-	0/-
Configuratie 3 24 WTG's - 10 MW	Onder water	n.v.t.	0/-	0/-
	Boven water	n.v.t.	0/-	0/-

Tabel 5-48 Overzicht effecten op geluid tijdens constructiefase windpark Northwester 2 (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering)

NW2 windpark	Geluidstype	Funderingstype		
		MP	JF	GBF
Basisconfiguratie 35 WTG's - 6 MW	Onder water	-	0/-	0/-
	Boven water	0/-	0/-	0/-
Configuratie 1 70 WTG's – 3,3 MW	Onder water	-	0/-	n.v.t.
	Boven water	0/-	0/-	n.v.t.
Configuratie 2 37 WTG's – 8 MW	Onder water	n.v.t.	0/-	0/-
	Boven water	n.v.t.	0/-	0/-
Configuratie 3 22 WTG's - 10 MW	Onder water	n.v.t.	0/-	0/-
	Boven water	n.v.t.	0/-	0/-

Onder minder gunstige weersomstandigheden worden de effecten door een verhoogd achtergrondgeluidsniveau gemilderd van een gering negatief effect (0/-) tot geen (0) effect.

5.3.4.2 Operationele fase

5.3.4.2.1 Identificatie van de relevante geluidsbronnen boven het wateroppervlak

Er kunnen drie relevante geluidsbronnen worden onderscheiden die voor een mogelijke toename van de geluidsemissies boven water in de omgeving zorgen tijdens de operationele fase:

- Het geluid van operationele windturbines
- Het geluid van het transformatorstation (OHVS)
- Het geluid van onderhoudsschepen

5.3.4.2.2 Effecten van de operationele fase boven het wateroppervlak

Effect op bovenwatergeluid door operationele windturbines en het OHVS

In het kader van de monitoringsstrategie werden bovenwatergeluidsmetingen, uitgevoerd door BMM tijdens de operationele fase van C-Power, uitgezet ten opzichte van windsnelheid op hubhoogte en opbrengst data (Norro *et al*., 2013). Uit de vergelijkingen bleek dat bij zeer lage windsnelheden, en dus lage productie, de geluidsniveaus toenemen met de windsnelheid. Maar zodra een opbrengst van meer dan 2 MW bereikt werd, of een windsnelheid van meer dan 9 m/s op hubhoogte werd een plateau bereikt. Pas wanneer de productie 4,5 MW bereikt (wat overeenstemt met ongeveer 12 m/s), namen de geluidsniveaus opnieuw snel toe. Dit kan verklaard worden door een aanpassing in de helling van de wieken om de rotatiesnelheid te beperken bij zeer hoge windsnelheden, maar ook door een interactie van de wind met de opnamemicrofoon of een secundaire bron zoals brekende golven (Norro *et al*., 2013).

Op basis van de metingen werd een globaal geluidsvermogenniveau berekend van 102-105 dB(A) bij windsnelheden tussen 8-12 m/s op hubhoogte en 105-115 dB(A) voor windsnelheden hoger dan 12 m/s. Geluidsfrequenties liggen tussen 300 en 800 Hz voor de meest significant operationele range, met een zwakke laagfrequente piek die toeneemt met de productie en rotatiesnelheid, en is waarschijnlijk van mechanische oorsprong (Norro et al., 2013). Voor de Vestas V112 3,3 MW turbine werden geluidvermogenniveaus berekend van 94,9-104,4 dB(A) bij windsnelheden op hubhoogte (84 m) van 4,2 tot 8,4 m/s. Bij windsnelheden hoger dan 9,8 m/s stagneert het geluidvermogenniveau op 108 dB(A) (bron: Vestas 2014). Bij de Vestas V164 8 MW turbine worden geluidvermogenniveaus berekend van 101,4 tot 110,2 dB(A) bij windsnelheden op hubhoogte van 4,3 tot 10 m/s. bij snelheden hoger dan 10 m/s stagneert het voorspelde geluidvermogenniveau op 112 dB(A) (bron: Vestas 2014).

In het kader van MER SeaStar en MER Rentel werden bovenwatergeluidsmodelleringen uitgevoerd waarin de geluidsoverdracht van de windturbines en een transformatorstation (OHVS) voor verschillende inplantingsconfiguraties werd berekend (variërend in aantal en locatie). De geluidsoverdracht is functie van de karakteristieken van de geluidsbron (directiviteit, bronhoogte), geometrische afstand tot de ontvanger, luchtabsorptie, absorptie en reflectie tegen oppervlakken (water – bodem) of objecten en weersinvloeden (windsnelheid en temperatuurgradiënten).

Uit de modelleringen van het operationeel windpark SeaStar bleek dat op een afstand van ca. 1,5 km en op een afstand van ca. 3 km een geluidsniveau van respectievelijk 45 en 40 dB(A) bereikt wordt, i.e. het achtergrondgeluidsniveau. Tussen verschillende inplantingsconfiguraties werden er slechts kleine verschillen vastgesteld. Aan de rand van de veiligheidszone (zone van 500 m rond het park) is het geluidsniveau lager dan 50 dB(A). Dit is vergelijkbaar met het geluidsniveau veroorzaakt door licht autoverkeer op 30 m, regen, koelkast, afwasmachine, omgevingsgeluid in het bos.

Het specifieke geluid berekend ter hoogte van een waarnemer aan de kust (dichtstbijzijnde afstand tot de kustlijn is gelegen aan de haven te Zeebrugge) bedroeg ca. 8-10 dB(A) (afhankelijk van het gekozen scenario voor het SeaStar windturbinepark) en bevindt zich ruim onder het huidig achtergrondgeluidsniveau van 30 tot 40 dB(A) tijdens de nachtperiode. De onderlinge verschillen tussen de configuraties op de geluidsbijdrage aan kustzijde zijn gering.

Algemeen werd besloten dat als gevolg van het specifieke geluid van een windpark ca. 37 km uit de kust, zelfs onder het worst-case invullingsscenario, er geen geluidshinder wordt verwacht ter hoogte van de dichtstbijzijnde woningen. Voor de Mermaid en Northwester 2 windparken, die nog verder offshore liggen, kan hetzelfde besloten worden (0).

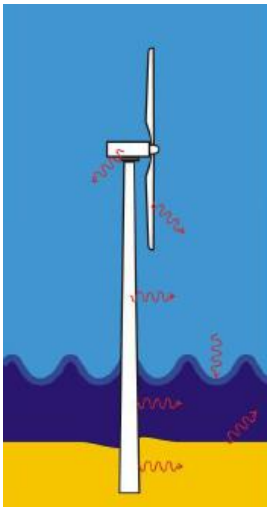
Effect op bovenwatergeluid door onderhoudsschepen

Ook tijdens de operationele fase zal er een toename zijn van scheepvaart, nl. schepen die zorgen voor het bijna dagelijkse onderhoud, met als gevolg een toename van het algemene niveau van bovenwatergeluid. Naast de tijdelijke geluidsverhoging van een individueel schip wordt de totale geluidsbelasting boven water aan scheepvaartlawaai mede bepaald door het gemiddeld aantal transportbewegingen per uur. Echter, de invloed van de bijkomende schepen op het huidige totale omgevingsgeluid boven water is op zee globaal verwaarloosbaar ten opzichte van de huidige scheepvaart (0/-).

5.3.4.2.3 Identificatie van de relevante geluidsbronnen onder het wateroppervlak

Naast het onderwatergeluid van onderhoudsschepen onderscheiden we ook het geluid van de windturbines onder water tijdens de operationele fase.

Het geluid van een windturbine onder water kan op drie manieren worden overgedragen, namelijk indirect vanuit de lucht via transmissie door het wateroppervlak, direct via de mast door afstralend structuurgeluid of indirect via de bodem (Figuur 5-57).



Figuur 5-57 Overdracht van geluid van een windturbine naar het water

Als geluid van water naar lucht gaat, of omgekeerd, wordt het grootste deel van het geluid teruggekaatst op het wateroppervlak. Dit heeft tot gevolg dat geluid van boven water onder water bijna niet hoorbaar is, en omgekeerd. De tweede transmissieweg (direct via de mast) zal de belangrijkste bronbijdrage teweegbrengen, waarvan de emissie van afstralend structuurgeluid toeneemt bij toenemende windsnelheid. Echter het achtergrondgeluid onder water (stromingsgeluid + geluid door botsing van golven tegen de mast) zal ook toenemen bij hogere windsnelheden[5].

5.3.4.2.4 Effecten van de operationele fase onder het wateroppervlak

Effecten op onderwatergeluid door scheepvaart

Ook tijdens de operationele fase van het windpark, zal er een toename zijn van scheepvaart door bijna dagelijks onderhoud, met als gevolg een toename van het algemene niveau van onderwatergeluid. Zoals eerder vermeld bij het effect van scheepvaart op het onderwatergeluid tijdens de constructiefase zal het effect van deze toename van scheepvaartgeluid resulteren in vermijdingsgedrag maar eventueel ook aantrekkingsgedrag van onderwaterleven (Nedwell & Howell, 2004). Naast de tijdelijke geluidsverhoging van een individueel schip wordt de totale geluidsbelasting onder water aan scheepvaartlawaai mede bepaald door het gemiddeld aantal transportbewegingen per uur.

[5] Bron: metingen uit studies voor de windparken “Gotland (Denemarken) (EIA 2000)” – “Irene Vorrink (Ijsselmeer Nederland)” – “ Hanö baai (Nogersund)” – “1,5 MW windturbine bij een windsnelheid van 12 m/s (Utgrunden in Zweden)”

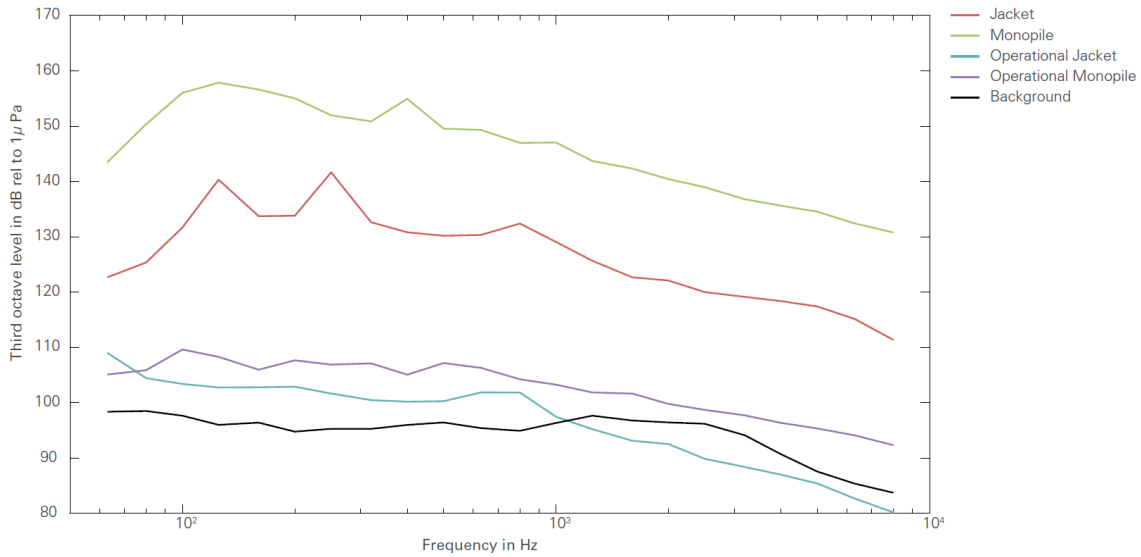
De invloed van de bijkomende schepen op het huidige onderwatergeluid op zee is globaal verwaarloosbaar ten opzichte van de huidige scheepvaart (0/-).

Effecten op onderwatergeluid door operationele windturbines

Vanwege de verwachte beperktere impact van het relatief lage geluidsniveau tijdens de operationele fase in vergelijking met de constructiefase, zijn er veel minder gegevens beschikbaar over het operationele geluid veroorzaakt door windturbines, vooral door grote turbines (5 MW of meer). Tougaard et al. (2009) toonden een verhoging boven het omgevingsgeluid aan van 10 tot 20 dB re 1 micropascal bij 125 Hz voor windturbines van 2 MW op basis van metingen in de buurt van de fundering (14 en 20 m), terwijl er geen verhoging werd waargenomen bij andere frequenties. Betke (2006) meldde echter een extra piek in het 1/3 octaaf spectrum bij 150 Hz.

Een studie over het onderwatergeluid van één van de eerste windparken nabij Nogersund in de Hanö baai (0,220 MW windturbines, 7 m waterdiepte, 25 m rotordiameter, 37,5 m hughoogte) (Westenberg 1990-1993) besluit dat het geluid voor frequenties boven de 50 Hz proportioneel stijgt met het kwadraat van de windsnelheid. Met andere woorden zal een verdubbeling van de windsnelheid het geluid voor de frequenties boven de 50 Hz met 6 dB laten toenemen. Het infrageluid zou met 10 tot 12 dB stijgen bij een verdubbeling van de windsnelheid (t.g.v. een frequentere golfbreking). Bijgevolg zal het geluid onder water bij een bepaalde windsnelheid hoorbaar zijn in de lage frequenties (voor frequenties < 1 kHz is de geluidsabsorptie door zeewater verwaarloosbaar – voor frequenties < 200 Hz is er een sterke geluidsabsorptie door de zeebodem).

In studies van de BMM (Norro et al., 2013) werd het operationele geluid gemeten zowel voor de GBF als de jacket fundering turbines op de Thorntonbank en de monopile fundering turbines op de Blighbank. Een 3 MW monopile windturbine genereert typisch een geluidsdruk twee keer zo hoog als die van een 6,15 MW jacket fundering turbine (i.e. 6 dB re 1 micropascal (RMS) hoger in het 1/3 octaaf spectrum, Figuur 5-58), die op haar beurt een hoger geluidsniveau produceert dan een 5 MW windturbine GBF (6 dB RMS hoger). Merk op dat tijdens de metingen de zeestaat varieerde tussen 2-3 bij een windkracht van 4-5 Beaufort.



Figuur 5-581/3 octaaf spectra van onderwater achtergrondgeluid op de Blighbank (zwart) en geluidsemissie tijdens de constructie en operationele fase van offshore windparken. Operationele 6,15 MW turbine op jacket (blauw) en operationele 3 MW turbine op monopile (paars)

Rekening houdende met een transmissieverlies van Thiele (TL = 15 LOG (r)) zal er op een afstand van 500 m (= grens veiligheidszone) van de windturbine onder water een transmissieverlies van 40 dB voorkomen, waardoor het specifieke geluid van een windturbine onder water (max. 110 dB– 40 dB = 70 dB (re 1µPa)) vermoedelijk gemaskeerd zal zijn door het achtergrondgeluid zoals opgemeten aan de Thorntonbank. In het monitoringrapport van het onderwatergeluid op de Thorntonbank (RCMG, 2006) - referentietoestand vóór de operationele fase - werd per 1/3^{e} octaafband in het frequentiegebied tussen 10 en 10.000 Hz een gemiddeld geluidsniveau van 100 dB (re 1µPa) opgemeten bij gunstige weersomstandigheden (1-2 Beaufort) (Figuur 5-58). Bij minder gunstige weersomstandigheden (3-4 Beaufort) steeg het laagfrequent ruisniveau tot 130 dB, doch is het niet uit te sluiten dat in deze meting ook andere geluidscomponenten voorkomen.

Voor een groep van windturbines, zoals opgemeten in de Baltische Zee, kan op een afstand van 500 m van het windpark een max. geluidsniveau onder water van 110 dB worden ingeschat, dit bij een windsnelheid van 8-10 m/s (5 Beaufort) (IMDC, 2013e). Toetsing van de referentiewaarden opgemeten op de Thorntonbank met meetgegevens van reeds geëxploiteerde offshore windparken, weliswaar 2 MW-windparken, kan als verwachtingspatroon een verstoringsafstand van 500 m tot het windpark worden opgegeven.

5.3.4.2.5 Besluit operationele fase windpark Mermaid en Northwester 2

Tabel 5-49 en Tabel 5-50 geven een samenvatting van de effecten van het geluid tijdens de operationele fase voor de verschillende funderingstypes tijdens de meest kritische omgevingscondities (offshore: gunstige weersomstandigheden, Beaufort 1-2, zeegang 1-2; onshore: nachtperiode onder gunstige weersomstandigheden, Beaufort 1-2), voor resp. Mermaid en Northwester 2. Volgende definities zijn van toepassing: significant positief (++), matig positief (+), gering positief (0/+), (vrijwel) geen effect (0); gering negatief (0/-), matig negatief (-), significant negatief (--).

Tabel 5-49 Overzicht effecten op geluid tijdens operationele fase energiepark Mermaid (excl. WEC's)

Mermaid windpark	**Geluidstype**	**Funderingstype**		
		Monopile	Jacket	Gravitaire
Basisconfiguratie 38 WTG's - 6 MW	Onder water*	0/-	0/-	0/-
	Boven water**	0/-	0/-	0/-
Configuratie 1 80 WTG's – 3,3 MW	Onder water*	0/-	0/-	n.v.t.
	Boven water**	0/-	0/-	n.v.t.
Configuratie 2 38 WTG's – 8 MW	Onder water*	n.v.t.	0/-	0/-
	Boven water**	n.v.t.	0/-	0/-
Configuratie 3 24 WTG's - 10 MW	Onder water*	n.v.t.	0/-	0/-
	Boven water**	n.v.t.	0/-	0/-

* effecten wegens scheepvaart en turbines; ** effect wegens scheepvaart

Tabel 5-50 Overzicht effecten op geluid tijdens operationele fase windpark Northwester 2

NW2 windpark	**Geluidstype**	**Funderingstype**		
		Monopile	Jacket	Gravitaire
Basisconfiguratie 35 WTG's - 6 MW	Onder water*	0/-	0/-	0/-
	Boven water**	0/-	0/-	0/-
Configuratie 1 70 WTG's – 3,3 MW	Onder water*	0/-	0/-	n.v.t.
	Boven water**	0/-	0/-	n.v.t.
Configuratie 2 37 WTG's – 8 MW	Onder water*	n.v.t.	0/-	0/-
	Boven water**	n.v.t.	0/-	0/-
Configuratie 3 22 WTG's - 10 MW	Onder water*	n.v.t.	0/-	0/-
	Boven water**	n.v.t.	0/-	0/-

* effecten wegens scheepvaart en turbines; ** effect wegens scheepvaart

Er wordt een gering negatief effect (0/-) verwacht tengevolge van het onderwatergeluid door turbines en onderhoudsschepen tijdens de exploitatie en een gering negatief effect (0/-) ten

gevolge van het bovenwatergeluid van de onderhoudsschepen voor alle beschreven uitvoeringsscenario's. De relatieve impact t.o.v. de windconcessie op het Belgische deel van de Noordzee is dan ook verwaarloosbaar.

5.3.4.3 Ontmantelingsfase

Wanneer de windparken zullen ontmanteld worden zullen op basis van de staat van de parken, de geldende wetgeving en de beschikbare technieken, werkmethodes worden ontwikkeld waarin ook de milieuzorg zal geïntegreerd zijn.

Bij de ontmanteling van de windparken worden monopile en jacket funderingsstructuren ontmanteld tot op 2 m beneden de zeebodem. De bodem rond de turbine wordt afgegraven en vervolgens wordt de windturbine afgezaagd. Het gebruik van een zaagmachine onder water zal zorgen voor een verhoogd geluidsniveau onder water. Bij een gravitaire fundering wordt deze leeggemaakt en in zijn geheel afgevoerd naar het land. De geluidsemissie van de werktuigen is beperkter dan voor een monopile of jacket fundering.

Door het afvoeren van de windturbines per schip zal er een tijdelijke verhoging zijn van het vrachtvervoer op zee. Deze verhoging zal vergelijkbaar zijn met de toevoer van de windturbines tijdens de aanlegfase. De toename van het vrachtvervoer zal ervoor zorgen dat er hogere geluidsniveaus optreden onder en boven water. De verhoging zal vrijwel geen effect hebben t.o.v. de normale dagelijkse scheepvaart op de Noordzee (0/-).

Tabel 5-51 en **Tabel 5-51** geven de samenvatting van de effecten van het geluid tijdens de ontmantelingsfase voor de verschillende funderingstypes tijdens de meest kritische omgevingscondities (offshore: gunstige weersomstandigheden, Beaufort 1-2, zeegang 1-2; onshore: nachtperiode onder gunstige weersomstandigheden, Beaufort 1-2) voor resp. Mermaid en Northwester 2. Volgende definities zijn van toepassing: significant positief (++), matig positief (+), gering positief (0/+), (vrijwel) geen effect (0); gering negatief (0/-), matig negatief (-), significant negatief (--).

Tabel 5-51 Overzicht effecten op geluid tijdens ontmantelingsfase windpark Mermaid (excl. WEC's)

Mermaid windpark	Geluidstype	Funderingstype		
		Monopile*	Jacket*	Gravitaire**
Basisconfiguratie 38 WTG's - 6 MW	Onder water	0/-	0/-	0/-
	Boven water	0/-	0/-	0/-
Configuratie 1 80 WTG's – 3,3 MW	Onder water	0/-	0/-	n.v.t.
	Boven water	0/-	0/-	n.v.t.
Configuratie 2 38 WTG's – 8 MW	Onder water	n.v.t.	0/-	0/-
	Boven water	n.v.t.	0/-	0/-
Configuratie 3 24 WTG's - 10 MW	Onder water	n.v.t.	0/-	0/-
	Boven water	n.v.t.	0/-	0/-

* gering negatief effect t.o.v. de referentietoestand als gevolg van de zaagbewerking en scheepvaart, ** gering negatief effect als gevolg van de scheepvaart

Tabel 5-52 Overzicht effecten op geluid tijdens ontmantelingsfase windpark Northwester 2

NW2 windpark	Geluidstype	Funderingstype		
		Monopile*	Jacket*	Gravitaire**
Basisconfiguratie 35 WTG's - 6 MW	Onder water	0/-	0/-	0/-
	Boven water	0/-	0/-	0/-
Configuratie 1 70 WTG's – 3,3 MW	Onder water	0/-	0/-	n.v.t.
	Boven water	0/-	0/-	n.v.t.
Configuratie 2 37 WTG's – 8 MW	Onder water	n.v.t.	0/-	0/-
	Boven water	n.v.t.	0/-	0/-
Configuratie 3 22 WTG's - 10 MW	Onder water	n.v.t.	0/-	0/-
	Boven water	n.v.t.	0/-	0/-

* gering negatief effect t.o.v. de referentietoestand als gevolg van de zaagbewerking,
** gering negatief effect als gevolg van de scheepvaart

Onder minder gunstige weersomstandigheden worden de effecten door een verhoogd achtergrondgeluidsniveau gemilderd tot geen effect.

5.3.4.4 WEC

5.3.4.4.1 Constructiefase

Net zoals bij de windturbines worden ook de WEC's zoveel mogelijk geprefabriceerd aan landzijde en vervolgens getransporteerd naar het projectgebied, waar de verankering afgezonken wordt. Tijdens de constructiefase wordt enkel de scheepvaart voor het transport en afzinken van de WEC elementen herkend als relevante geluidsbron voor alle basistypes (Poseidon, Weptos, FlanSea, Seabased, Lifesaver) behalve de Wavestar. Voor de installatie van de Wavestar zullen de vier poten na plaatsing geheid worden. Nivelleren of het aanbrengen van enige erosiebescherming wordt niet voorzien bij de verschillende types.

Het aantal transportbewegingen wordt ingeschat in § 2.7.3.6.5 (Tabel 2-14) en varieert afhankelijk van het type en de configuratie. Voor een geïnstalleerd vermogen van 20 MW zal de FlanSea het meeste transportbewegingen vergen indien slechts 1 boei per keer zal getransporteerd worden (300). Wegens zijn afmetingen en het heien vraagt ook de installatie van 20 MW Wavestar units een relatief groot aantal transportbewegingen (112). De Poseidon en Seabased vergen het minste transport bij een installatie van 20 MW (resp. 36 en 20 bewegingen). De invloed van de bijkomende scheepvaart op het huidige onderwatergeluid op zee is globaal verwaarloosbaar ten opzicht van de huidige scheepvaart (0/-).

De Wavestar monopiles hebben een diameter van ca. 3-4 zoals bij een standaard jack-up ponton. De palen worden echter minder diep ingeheid dan bij een fundering voor een windturbine. Indien aangenomen wordt dat per Wavestar unit ongeveer 1 dag zal nodig zijn voor het heien, dan zal de uitvoeringstermijn variëren tussen 2 en 14 dagen voor 1 basisveld van 5 MW (resp. config. 1 en config. 3). Voor een geïnstalleerd vermogen van 20 MW zal dit ongeveer 28 dagen zijn voor alle configuraties en voor een geïnstalleerd vermogen van 61 MW zal dit 77 tot 84 dagen zijn.

Op basis van de literatuurgegevens uit geluidsmetingen tijdens het heien van palen (diameters tussen 4 en 5 m, met verschillende lengte en ter hoogte van verschillende bathymetrie) en de geluidsoverdrachtsformule opgenomen in de literatuurstudies van Nedwell *et al.* (2007) en Norro *et al.* (2010), werd het piekniveau berekend op grotere afstanden (0,5 km tot 80 km) tot de paal. Daaruit volgt dat er tijdens het heien van de funderingen op 20 km nog geluidsniveaus waargenomen kunnen worden die hoger zijn dan het achtergrondgeluidsniveau van 105 dB (re 1µPa). Op 80 km wordt het achtergrondgeluidsniveau tijdens een lichtgolvende tot golvende zee (zeegang 2-3) nagenoeg nergens meer overschreden.

5.3.4.4.2 Operationele fase

Tijdens de operationele fase zorgen naast het toenemend scheepsverkeer door onderhoudsschepen, mechanische geluiden van de machinerie en ankerkettingen en het geluid van transformators voor een toename van de geluidemissies in de omgeving.

Er is heel weinig informatie beschikbaar over het geluid geproduceerd door golfenergieparken, vooral tijdens de operationele fase (Aquatera, 2014, DFO, 2009). Men verwacht echter niet dat individuele WEC's een hoog geluidsniveau zullen produceren en enig ecologisch significant effect zullen hebben, maar het installeren van een groot aantal units in een zelfde park, die dag en nacht werken, kan wel een effect hebben op de fauna (Patricio et al., 2009, DFO, 2009).

EMEC (European Marine Energy Center) zette verschillende akoestische monitoringscampagnes op in hun test sites voor WEC's en TEC's (tidal energy converters) (Cowan, 2013). Ze gebruikten daarbij zowel gefixeerde hydrofonen, gemonteerd op de zeebodem of op een schip, als drijvende hydrofonen. De belangrijkste bijdragen tot het geluidsveld bleken in de Billia Croo site de scheepsgeluiden, geluiden van de verankering en de WEC's zelf (Oyster type, bewegende flap verankerd aan de bodem, kustnabij bij 10-15 m waterdiepte). Er bleken significante tijdelijke en ruimtelijke variaties op te treden in geluidsniveau, sterk afhankelijk van de zeestaat, andere geluidsbronnen en lokale voortplantingscondities. In andere gebieden waren de belangrijkste geluidsbijdragen eerder het scheepsverkeer en natuurlijke geluiden van wind, golven en regen.

Operationele Oyster WEC's (EMEC site Billia Croo in Orkney, Schotland) geven iets lagere onderwatergeluidniveaus vergeleken met booractiviteiten. Gebruikmakend van een aangepast boring geluidsspectrum werden enkele modelleringen uitgevoerd (Kongsberg, 2012). Uit de resultaten bleek dat het achtergrondgeluid (113-121 dB re 1 µPa) in het gebied dikwijls het operationeel geluid van de WEC's overtreft. Het geluid geproduceerd door de Oyster WEC's gaat reeds op een afstand van 50 m op in het achtergrond geluid, wanneer de achtergrondgeluiden op hun hoogst zijn, Deze afstand neemt toe tot 250 m wanneer de achtergrondgeluiden het laagst zijn. Merk wel op, dat lage achtergrondgeluidsniveaus voorkomen bij lage golfactiviteit met als resultaat dat ook de Oyster WEC's lagere operationele geluidsniveaus zullen produceren.

In het Lysekil onderzoekspark in Zweden werd het operationeel geluid gemeten onder water ter hoogte van de zeebodem op een afstand van 20 en 40 m van twee WEC's, type point aborber uiterlijk gelijkend op de Seabased WEC (Haikonen et al., 2013). De resultaten toonden dat het vooral om een tijdelijke, pulserende geluidsbron ging veroorzaakt door de mechanische bewegingen van het systeem en metaal op metaal contact, met de meeste energie in frequencies lager dan 1 kHz. Uit de resultaten werd afgeleid dat vissen en

zeezoogdieren de WEC's tot op een afstand van minstens 20 m zullen kunnen horen, maar dat het geen gedragsveranderingen noch fysische verwondingen bij vissen. Het effect op zeezoogdieren was moeilijker in te schatten. De resultaten leidden tot de aanbeveling in de toekomst het WEC ontwerp aan te passen en contactgeluiden tussen metalen onderdelen te verminderen.

Patricio et al. (2009) simuleerden onderwatergeluid door middel van een klassiek akoestisch model en konden zo invloedszones bepalen van drie WEC's, type Pelamis (attenuator). De beïnvloedingszone op het gedrag van bruinvissen werd bepaald tot op een afstand van 3 km tot de WEC's. Tot op 5 km van de geluidsbron zou het geluid hoorbaar zijn voor bruinvissen.

DFO (2009) rapporteert bestaande modelleringsstudies die suggereren dat de constructie (heien) en exploitatie geluidsniveaus kunnen leiden tot het tijdelijk, of in bepaalde omstandigheden, permanent gehoorverlies bij bruinvissen, zeehonden en sommige vissen en kunnen interfereren met de interacties tussen organismen (communicatie, het vinden van prooi, etc.).

Volgens een andere bron zijn de lage intensiteit geluiden van operationele WEC's vergelijkbaar met scheepsgeluiden (laag tot normale scheepsintentsiteit) of het geluid van een ferry (Anoniem, 2008 in: Frid et al. 2011), hetgeen impliceert dat de effecten ook van een vergelijkbare omvang kunnen zijn (nl. 0/-). Uit de weinig beschikbare literatuur kan afgeleid worden dat de aard van de WEC's en de schaal van de toepassing sterk bepalend zijn voor het geproduceerde geluidsniveau en de daaropvolgende effecten (Boehlert et al., 2007). Zolang geen metingen beschikbaar zijn van de zes voorgestelde WEC basistypes op onder- en bovenwatergeluid is het effect ervan niet eenduidig in te schatten en een leemte in de kennis.

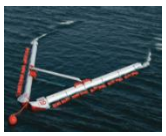
5.3.4.4.3 Ontmantelingsfase

Tijdens de ontmantelingsfase worden dezelfde geluidsbron als tijdens de constructiefase verwacht, i.e. voornamelijk scheepvaart. De invloed van de bijkomende scheepvaart op het huidige onderwatergeluid op zee is globaal verwaarloosbaar ten opzicht van de huidige scheepvaart (0/-).

Bij basistype Wavestar zal de bodem rond de monopiles worden afgegraven en vervolgens worden de poten afgezaagd. Het gebruik van een zaagmachine onder water zal zorgen voor een verhoogd geluidsniveau onder water (0/-).

Tabel 5-53 Overzicht effecten op geluid in windpark Mermaid tijdens de constructiefase

Inplantingsconfiguratie windturbines		**Basisconf. 38 x 6MW WTG**		**Conf. 1 80 x 3,3MW WTG**		**Conf. 2 38 x 8MW WTG**		**Conf. 3 24 x 10MW WTG**	
Oppervlakte basisveld WECs tussen 4 windturbines		**337.500 m²**		**112.500 m²**		**337.500 m²**		**675.000 m²**	
		Bovenwater	Onderwater	Bovenwater	Onderwater	Bovenwater	Onderwater	Bovenwater	Onderwater
Wavestar * 	1 basisveld	0/-	-	0/-	-	0/-	-	0/-	-
	20 MW	0/-	-	0/-	-	0/-	-	0/-	-
	61 MW	0/-	-			0/-	-	0/-	-

Inplantingsconfiguratie windturbines		Basisconf. 38 x 6MW WTG		Conf. 1 80 x 3,3MW WTG		Conf. 2 38 x 8MW WTG		Conf. 3 24 x 10MW WTG	
Poseidon ** 	1 basisveld	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
	20 MW	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
	61 MW	0/-	0/-			0/-	0/-	0/-	0/-
Weptos ** 	1 basisveld	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
	20 MW	0/-	0/-			0/-	0/-	0/-	0/-
	61 MW							0/-	0/-
FlanSea ** 	1 basisveld	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
	20 MW	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
	61 MW	0/-	0/-			0/-	0/-	0/-	0/-
Seabased ** 	1 basisveld	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
	20 MW	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
	61 MW	0/-	0/-			0/-	0/-	0/-	0/-
Lifesaver ** 	1 basisveld	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
	20 MW	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
	61 MW	0/-	0/-			0/-	0/-	0/-	0/-

* gering tot matig negatief effect wegens heien
** gering negatief effect wegens extra scheepsbewegingen

5.3.4.5 Bekabeling

De kabels worden ingegraven op minimaal ca. 1 m in de zeebodem in het windpark en langsheen de verbindings- en exportkabeltrajecten. Over de trajecten tussen het park en Alpha of de kust gebeurt dit het meest waarschijnlijk d.m.v. jetting of trenching, in de parken zelf waarschijnlijk enkel door middel van jetting. Daarvoor wordt gebruik gemaakt van een speciaal ingericht schip.

Tengevolge van de bekabeling wordt een tijdelijke verhoging van het geluid verwacht zowel boven als onder water. Deze toename is slechts van één schip afkomstig, zal bovendien over een korte tijd waargenomen worden en zich daarenboven verplaatsen in functie van de ligging van het schip. De effecten van het trenchen zullen vergelijkbaar zijn met deze bekomen bij het baggeren van funderingsput bij een gravitaire fundering en de nivellering bij statische monopile De verhoging van onder- en bovenwatergeluid zal een verwaarloosbaar effect hebben t.o.v. de dagelijkse geluidsimmissie door de scheepvaart op de Noordzee (0/-).

Tabel 5-54 en Tabel 5-55 geven een samenvatting van de effecten van het geluid tijdens de bekabeling voor de verschillende funderingstypes tijdens de meest kritische omgevingscondities (offshore: gunstige weersomstandigheden, Beaufort 1-2, zeegang 1-2; onshore: nachtperiode onder gunstige weersomstandigheden, Beaufort 1-2) voor resp. Mermaid en Northwester 2. Volgende definities zijn van toepassing: significant positief (++), matig positief (+), gering positief (0/+), (vrijwel) geen effect (0); gering negatief (0/-), matig negatief (-), significant negatief (--).

Tabel 5-54 Overzicht effecten op geluid tijdens bekabeling windpark Mermaid (incl. WEC's)

Mermaid windpark	Geluidstype	Funderingstype		
		Monopile	Jacket	Gravitaire
Basisconfiguratie 38 WTG's - 6 MW	Onder water	0/-	0/-	0/-
	Boven water	0/-	0/-	0/-
Configuratie 1 80 WTG's – 3,3 MW	Onder water	0/-	0/-	n.v.t.
	Boven water	0/-	0/-	n.v.t.
Configuratie 2 38 WTG's – 8 MW	Onder water	n.v.t.	0/-	0/-
	Boven water	n.v.t.	0/-	0/-
Configuratie 3 24 WTG's - 10 MW	Onder water	n.v.t.	0/-	0/-
	Boven water	n.v.t.	0/-	0/-

Tabel 5-55 Overzicht effecten op geluid tijdens bekabeling windpark Northwester 2

NW2 windpark	Geluidstype	Funderingstype		
		Monopile	Jacket	Gravitaire
Basisconfiguratie 35 WTG's - 6 MW	Onder water	0/-	0/-	0/-
	Boven water	0/-	0/-	0/-
Configuratie 1 70 WTG's – 3,3 MW	Onder water	0/-	0/-	n.v.t.
	Boven water	0/-	0/-	n.v.t.
Configuratie 2 37 WTG's – 8 MW	Onder water	n.v.t.	0/-	0/-
	Boven water	n.v.t.	0/-	0/-
Configuratie 3 22 WTG's - 10 MW	Onder water	n.v.t.	0/-	0/-
	Boven water	n.v.t.	0/-	0/-

5.3.4.6 Besluit bespreking en beoordelingen van de effecten op geluid

Tabel 5-56 en Tabel 5-57 geven een samenvatting weer van de effecten tijdens de volledige levenscyclus van de diverse alternatieven en het basisscenario. Volgende definities zijn van toepassing: significant positief (++), matig positief (+), gering positief (0/+), (vrijwel) geen effect (0); gering negatief (0/-), matig negatief (-), significant negatief (--), onzeker (?).

Tabel 5-56 Overzicht van de effecten op geluid voor de verschillende scenario's van Mermaid (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering).

Windturbine Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	**MP**	**JF**	**GBF**	**MP**	**JF**	**JF**	**GBF**	**JF**	**GBF**
Constructiefase									
Onderwatergeluid heien	-	0/-	nvt	-	0/-	0/-	nvt	0/-	nvt
Bovenwatergeluid heien	0/-	0/-	nvt	0/-	0/-	0/-	nvt	0/-	nvt
Scheepvaart (WTG+WEC's, onder en bovenwater)	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Baggeren (onder en boven water)	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Storten van erosiebescherming	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Leggen van de kabel (onder en boven water)	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
WEC's (heien Wavestar, onder water)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WEC's (heien Wavestar, boven water)	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Operationele fase									
Onderwatergeluid turbines	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Bovenwatergeluid turbines	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sscheepvaart (WTG+WEC's, onder en boven water)	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
WEC's (het operationeel zijn, onder en boven water)	0/-(?)	0/-(?)	0/-(?)	0/-(?)	0/-(?)	0/-(?)	0/-(?)	0/-(?)	0/-(?)
Ontmantelingsfase									
Onderwatergeluid (zagen bij MP, JF, Wavestar en scheepvaart)	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Bovenwatergeluid (WTG+WEC's scheepvaart)	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-

Tabel 5-57 Overzicht van de effecten op geluid voor de verschillende scenario's van Northwester 2 (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering).

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	**MP**	**JF**	**GBF**	**MP**	**JF**	**JF**	**GBF**	**JF**	**GBF**
Constructiefase									
Onderwatergeluid heien	-	0/-	nvt	-	0/-	0/-	nvt	0/-	nvt
Bovenwatergeluid heien	0/-	0/-	nvt	0/-	0/-	0/-	nvt	0/-	nvt
Scheepvaart (onder en bovenwater)	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-

Configuratie	Basis			1		2		3	
Baggeren (onder en bovenwater)	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Storten van erosiebescherming	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Leggen van de kabel (onder en boven water)	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Operationele fase									
Onderwatergeluid turbines	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Bovenwatergeluid turbines	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sscheepvaart (onder en bovenwater)	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Ontmantelingsfase									
Onderwatergeluid (zagen bij MP en JF en scheepvaart)	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Bovenwatergeluid (scheepvaart)	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-

De “externe” impact van het tijdelijk gewijzigde geluidsklimaat tijdens de constructiefase wordt verder in detail besproken onder de discipline Fauna, flora en biodiversiteit (§ 5.4)

Tijdens de exploitatie en ontmanteling wordt slechts een gering negatief (0/-) effect verwacht ten gevolge van het geluid voor alle beschreven alternatieven.

5.3.5 Trillingshinder

Windturbines produceren mechanische trillingen in het laag- en hoogfrequente gebied. De laagfrequente trillingen ontstaan door het voorbijgaan van de rotorbladen langs de mast, de onbalans van de rotor en de eigen trilling van de mast. De hoogfrequente trillingen ontstaan door de draaiende onderdelen van de generator in de gondel, de interactie van wind met de windturbine (het aerodynamisch geluid van de rotortippen), golven die tegen de mast slaan, de beweging van zand en water langs de mast en organismen die op de windturbine voorkomen (bijvoorbeeld het sluiten van kleppen van de mossel).

Het niveau van trillingen zal ook met toenemende windsnelheid stijgen, aangezien de krachten op de mechanische delen toenemen.

De trillingen van de gondel hangen af van de graad van mechanische verbetering van het omzettingsproces van de windenergie. Omdat het verminderen van deze trillingen resulteert in een efficiëntieverbetering, zal het totale systeem steeds verder geoptimaliseerd worden. Elk van deze mechanismen zal afhankelijk zijn van het ontwerp en de kwaliteit van elke windturbine.

Niettemin is het waarschijnlijk dat de trillingen met het ouder worden van de windturbine als gevolg van slijtage van onderdelen zal toenemen.

Uit een vergelijkende trillingsmeting onder water op de mast van een 0,550 MW en 0,450 MW windturbine op zee, met deze van een 2 MW windturbine op land, volgt een duidelijk verschillend trillingsgedrag (trillingsspectrum) dan wanneer de windturbine onder water wordt geplaatst:

- < 100 Hz: trillingsamplitude van de windturbine op land > trillingsamplitude van de windturbine onder water;

- > 100 Hz: trillingsamplitude van de windturbine op land < trillingsamplitude van de windturbine onder water.

De geplande windturbines (3 MW of 10 MW windturbine) zijn van grotere omvang dan de opgemeten windturbines (0,550 MW en 0,450 MW). De opgewekte mechanische trillingen kunnen zowel op spectrale inhoud als amplitudes relevant afwijkend zijn. Voor de geplande windturbines (3 - 10 MW windturbine) zijn de trillingseffecten onder water niet gekend en zijn bijgevolg een leemte in de kennis.

Net zoals er weinig informatie beschikbaar is over het geproduceerde geluid tijdens de operationele fase van WEC's is er evenmin informatie beschikbaar over geproduceerde mechanische trilligen. Er wordt verwacht dat de WEC types die verankerd zijn met kettingen aan de zeebodem bewegingen van de structuur/boei aan het wateroppervlak zullen doorgeven aan de waterkolom (via de kettingen) en aan de zeebodem (via het anker). Bij het type Wavestar zullen de mechanische bewegingen van de vlotters via de bewegende armen trillingen veroorzaken in de monopile funderingen. Het niveau van trillingen zal met toenemende golfkracht stijgen, aangezien de krachten op de mechanische delen toenemen.

De trillingen van de behuizing en ankers zullen afhangen van de graad van mechanische verbetering van het omzettingsproces van de golfenergie. Omdat het verminderen van deze trillingen resulteert in een efficiëntieverbetering, zal het totale systeem steeds verder geoptimaliseerd worden. Elk van deze mechanismen zal afhankelijk zijn van het ontwerp en de kwaliteit van elk WEC type.

Tijdens de exploitatie wordt slechts een gering negatief (0/-) effect verwacht ten gevolge van trillingen voor alle beschreven alternatieven (WTG's en WEC's).

5.3.6 Leemten in de kennis

5.3.6.1 Onderwatergeluid

De geluidsemmisie en -immissie onder water door het heien van paalfunderingen is naast de plaatselijke geologie en bathymetrie afhankelijk van de diameter en lengte van de paal, en is bijgevolg momenteel nog niet te begroten. Gezien de snelle ontwikkeling van de windturbinetechnologie is een verschuiving te zien naar grotere windturbines en een trend om deze verder offshore te plaatsen. Bij gebruik van grotere monopile funderingen zal dit grotere eisen stellen aan de heimachines (hoger vermogen) en zal de geluidsimpact (het geluidsniveau) naar verwachting vergroten.

Voor het onderwatergeluid van de geplande windturbines (range van 3 MW tot 10 MW) is er deels nog een leemte in kennis (turbines >5 MW) met betrekking tot de effectieve impact tijdens exploitatie op het aanwezig onderwatergeluid. Zowel de emissie van geluid naar het water als de propagatie van geluid in water met sterke stromingen, het effect van eventueel brekende golven en zeer poreuze bodem, zijn weinig bekend. Om te kunnen beoordelen of het onderwatergeluid vanwege windturbines een verstoring vormt voor vissen en zeezoogdieren, moeten zowel de frequenties als de amplitude van trillingen en geluiden vanwege dergelijke windturbines in het BDNZ bekend zijn. In het kader van het jaarlijkse monitoringsprogramma omtrent onderwatergeluid rond de offshore windparken in het BDNZ, worden deze effecten in de toekomst verder inzichtelijk gemaakt.

Grotere offshore windturbines in dieper water zullen vermoedelijk hogere geluidsniveaus teweegbrengen als gevolg van een groter afstralend oppervlakte van de mast, maar meetdata ontbreekt momenteel en is aldus een leemte in de kennis.

Andere leemtes in de kennis:

- Momenteel is nog niet geweten op welke manier men de turbines in de toekomst zal verwijderen.
- Voor de geplande windturbines (3 MW, 4 MW, 6 MW, 7 MW, 8 MW of 10 MW windturbine) zijn ook de trillingseffecten onder water niet gekend.

Ook de toekomstige evolutie van natuurlijke geluiden onder water is moeilijk. Tevens zijn er verschillende andere, niet goed bekende menselijke bronnen van geluid, zoals het gebruik van sonar door de marine, schietoefeningen en seismische toestellen voor geofysisch onderzoek enz. Dit maakt het inschatten van de cumulatieve effecten van onderwatergeluid op mariene fauna problematisch. Onderzoek naar bronnen en effecten op de mariene fauna is essentieel.

Er is heel weinig informatie beschikbaar over het geluid en de trillingen geproduceerd door golfenergieparken, vooral tijdens de operationele fase. Wegens de grote onzekerheden over het effect van individuele WEC's, en vooral het cumulatieve effect van meerder WEC's op het geluidsniveau en vibraties onder en boven water tijdens de operationele fase, kan het aangewezen zijn om het golfenergiepark in opeenvolgende fasen uit te bouwen; met geschikte monitoring, evaluatie en gebeurlijke bijsturing doorheen het ontwikkelingsproces. Daarbij kunnen in een pilootfase verschillende WEC types getest worden in één of meerdere basisvelden tussen de windturbines in het Mermaid energiepark.

5.3.6.2 Bovenwatergeluid

Er bestaat ook een leemte in de kennis over het geluid boven water doordat geluidsmetingen op het water moeilijk te meten zijn door het bijkomende lawaai van de golven tegen de meetboot.

5.3.7 Milderende maatregelen

Uit het voorgaande is gebleken dat het heien van de palen voor de windturbines (en dus ook voor het WEC type Wavestar) met een hydraulisch heiblok de hoogste en potentieel meest schadelijke geluidsdrukniveaus veroorzaakt onder water.

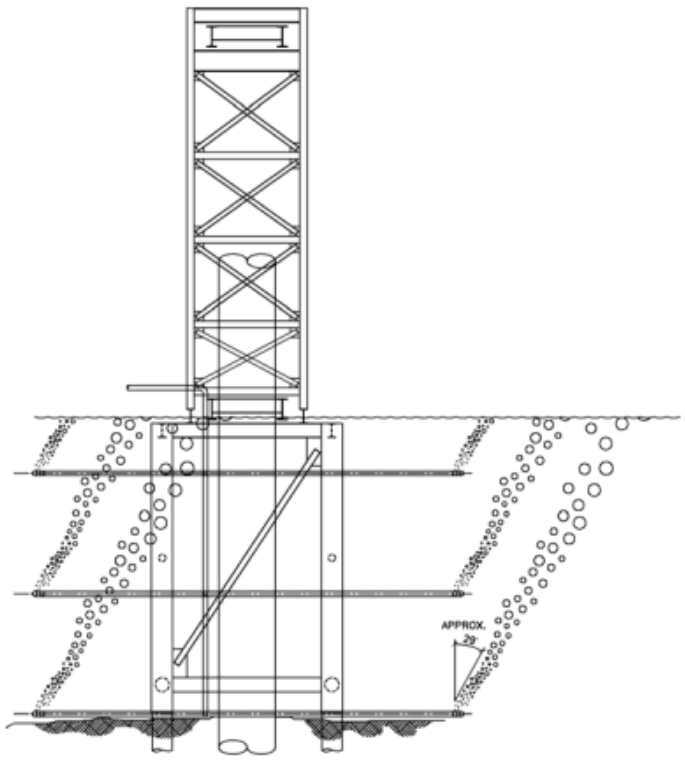
De Kaderrichtlijn Mariene Strategie (omschrijving Goede Milieutoestand, Belgische Staat, 2012) en de kennis over de onderwatergeluiden tijdens heiwerkzaamheden in de reeds gerealiseerde parken suggereren het toepassen van geluidsbeperkende maatregelen bij het heien als mitigatie.

Mogelijke maatregelen om de effecten aldus te verlagen, dan wel te voorkomen, kunnen opgedeeld worden in drie types:

1. maatregelen aan de bronzijde: voorkomen dat het geluid wordt opgewekt,
2. maatregelen in de overdrachtsweg: voorkomen dat het geluid de ontvanger bereikt,
3. maatregelen bij de ontvanger: voorkomen dat het geluid wordt gedetecteerd.

Voor de bescherming van het leefmilieu van de fauna onder water kunnen bij het aanleggen van offshore windparken als mogelijke maatregelen worden aangegeven:

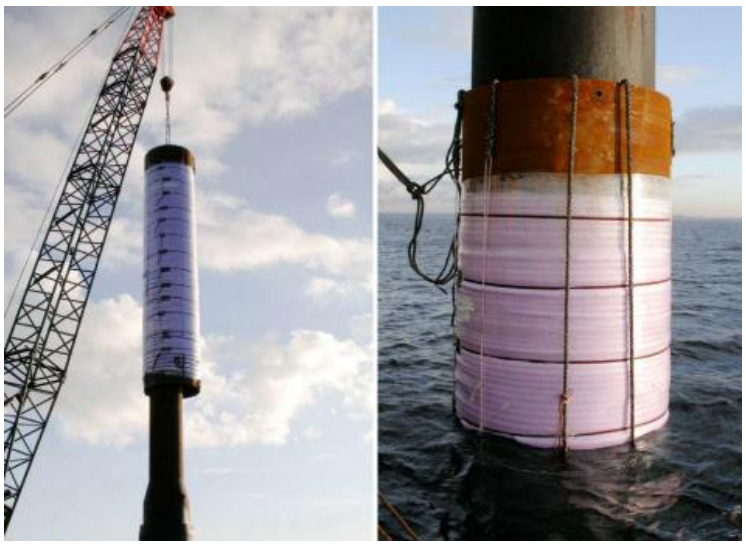
- Het zo veel mogelijk vermijden van hei-werkzaamheden tijdens het broedseizoen van vogels en het geboorteseizoen van zeezoogdieren. Voor een nadere beschrijving wordt verwezen naar het hoofdstuk Fauna en Flora;
- Een bellengordijn of een absorberende mantel (foam screen) om het onderwatergeluid tijdens de constructiefase te verminderen. Reducties van het breedbandige geluidsniveaus met 3 tot 5 dB zijn haalbaar (Würsig *et al.*, 2000), of zelfs tot 20 dB (Spence *et al.* (2007). Door sterke stroming kan de efficiëntie van een bellengordijn evenwel sterk worden aangetast (bv. met een stijgsnelheid van de bellen van 0,3 m/s in een stroming met 1 knoop ondergaan deze een verplaatsing van 34 m aan het wateroppervlak); om dit te voorkomen kan een huls rondom de paal worden voorzien om de horizontale verplaatsing van de bellen te vermijden of een systeem worden voorzien waarbij de bellen op verschillende dieptes rond te paal in te brengen. In de Noordzee (Duitse Bocht) werden testen uitgevoerd met bellengordijnen, die een reductie van 7-12 dB opleverden bij het heien van een 4,7 m diameter monopile (Matuschek & Betke, 2009). Het bellengordijn werd gepositioneerd op een afstand van 70 m van de paalpositie om bellendrift te vermijden. Koschinski & Lüdemann (2013) geven een overzicht van verschillende testen met grote en kleine bellengordijnen die een reductie in geluidsdrukniveau opleveren van 11-17 dB (SEL). Het gebruik van grote bellengordijnen wordt beoordeeld als ‘proven technology’ waarbij de Duitse bovenlimiet van 160 dB kan gehaald worden in Noordzee offshore condities bij waterdieptes van 40 m (Koschinski & Lüdemann, 2013).



Figuur 5-59 Bellengordijn met meerdere injectiedieptes - ‘verplaatsing van het bellengordijn in een stroming van 1 knoop’ (Christopherson and Wilson, 2002)

- Een ‘pile sleeve’ is een alternatief voor het bellengordijn. Het is een geluidsscherm dat rondom de paal wordt geplaatst en waarvan de fysische principes vergelijkbaar zijn met

deze van een bellengordijn, enkel de constructie is anders. Het fysisch principe berust op het verschijnsel dat een geluidsgolf deels wordt gereflecteerd en deels wordt getransmitteerd wanneer deze door verschillende media propageert (Nehls *et al*., 2007). Schultz-von Glahn *et al.* maakten in 2006 een proefopstelling met een metalen buis (dikte 12 mm) met diameter 2,5 m, aan de buitenzijde bekleed met 20 mm dikke 'foam-layer' . Deze werd over de paal met diameter 2,2 m geplaatst in een 8,5 m zeediepte. Het onderwatergeluid tijdens het heien werd opgemeten op twee afstanden (30 en 500 m) met en zonder 'pile sleeve'. De energie van de hamerslag was 50, 100 en 200 kJ. Met een 'pile sleeve' kan een geluidsreductie van 10 dB bij 1000 Hz en 20 dB of meer bij 10 Hz worden bekomen. De reductie is functie van de 'foam'-dikte. Voor het toepassen van dikke 'foam'lagen is een dubbelwandige constructie noodzakelijk (samenstelling: metalen buitenbuis – foam – metalen binnenbuis).



Figuur 5-60 'Foam-coated' pile sleeve

- Luidruchtige werkzaamheden maximaal groeperen en beperken in werkingsduur, om het aantal malen dat de zeezoogdieren worden verdreven maximaal te beperken;
- Demptechnieken (bvb. een geluidsgedempt heiblok bij het heien van palen) waarbij het bovenwatergeluid maximaal gedempt wordt, dit heeft mogelijk ook positieve effecten op het afgestraald structuuronderwatergeluid. Alleszins is het aangewezen om het heiblok steeds zorgvuldig af te stemmen op de monopile en op de bodemsamenstelling, teneinde overbodig veel energie bij het heien te voorkomen.
- Het gebruik van een vibrerende heihamer zal lagere geluidsdrukniveaus veroorzaken dan het inslaan van de funderingspaal. Als alternatief voor het heien bij monopile en jacketfunderingen kan de suction bucket techniek toegepast worden.
- Bij het opstarten van de heiwerkzaamheden is het gebruik van een zachte start, waarbij wordt begonnen met een laag vermogen dat steeds verder wordt opgevoerd, aangewezen om de aanwezige vissen en zeezoogdieren de kans te geven om zich te verwijderen uit het gebied voordat schadelijke geluidsniveaus hen plots (onaangekondigd) bereiken.
- Daarnaast kunnen voorafgaand aan de start van de werkzaamheden afschrikmiddelen worden gebruikt. Bij de aanleg van Belwind en Northwind werden 'pingers' ingeschakeld als afschrikmiddel.

- Voor aanvang van de heiwerkzaamheden kunnen controles (visuele en/of 'Porpoise detectors') worden uitgevoerd op de aanwezigheid van zeezoogdieren.

Bij gebruik van milderende maatregelen is nader onderzoek nodig naar de effectiviteit waarmee zeezoogdieren op afstand worden gehouden.

Er worden slechts verwaarloosbare effecten op het onder- en bovenwatergeluid verwacht door het baggeren (op de helft van de locaties bij monopile fundering, bij het baggeren van de funderingsputten bij gravitaire funderingen en mogelijk langsheen het kabeltraject) en de bijkomende scheepsbewegingen voor constructie, onderhoud en ontmanteling van de WTG's en WEC's. Milderende maatregelen voor het boven- en onderwatergeluid zijn niet nodig.

Er worden slechts verwaarloosbare effecten verwacht voor de aanleg van de kabels in de zeebodem en het aanleggen van het aanlandingspunt. Milderende maatregelen voor het boven- en onderwatergeluid zijn niet nodig.

Voor de dichtstbijzijnde woningen (onshore) wordt er geen negatieve geluidsimpact verwacht. Milderende maatregelen voor het bovenwatergeluid zijn niet nodig.

Het aantal waarnemers op zee (offshore) die het geluid van de windturbines frequent zullen waarnemen is zodanig beperkt, dat het evenmin nuttig is om milderende maatregelen voor te stellen voor het bovenwatergeluid. Al bestaan er geluidsreducerende galmborden die in de gondel van de windturbine ingebouwd kunnen worden of sterk isolerende omhulsels die mechanische geluiden van de windturbine dempen (Alara-Lukagro, 2011).

5.3.8 Monitoring

Door onzekerheden in de geluidsemissie onder water van de toepasbare windturbines en WEC's wordt voorgesteld om een geluidsinventarisatie (observatie) uit te voeren om de juiste kennis te bekomen van de geluidsimpact. Hiervoor kan ook gebruik worden gemaakt van verworven gegevens uit het monitoringsprogramma van voorafgaande offshore windparken (bvb. C-Power, Belwind en Northwind) en test sites van golfenergieparken in het buitenland. Op basis van deze kennis kan een juiste inschatting worden gemaakt van de geluidsimpact van de windturbine(s) en WEC's op het onderwatergeluid, om in de ontwerpfase eventueel te nemen maatregelen daarop af te stemmen.

Als monitoringprogramma kan tijdens de belangrijkste fasen van de bouwwerken (heien van palen, het baggeren van funderingsputten van gravitaire fundering en eventueel kabelsleuvel, het storten van erosiebescherming) en tijdens de eerste jaren van de operationele fase een inventarisatie van het onderwater- en bovenwatergeluid worden voorgesteld bij verschillende werkingsregimes (windsnelheden, golfhoogtes, enz.) en op verschillende afstand tot de windturbine(s) en WEC's. Correlatie van deze meetresultaten met trillingsmetingen op de mast en op de WEC's kan bijkomend inzicht verschaffen in de bijdrage aan afgestraald structuurgeluid in de emissie van het onderwatergeluid.

Daarbij dient het spectrum te worden gemeten over een range van minstens 10 Hz – 10 kHz.

De meetgegevens moeten toelaten om eventueel het geluidsvermogenniveau te berekenen.

Tijdens de operationele fase is het aangewezen om periodieke meetcampagnes te organiseren. Een afstemming met reeds lopende monitoringsprogramma's voor nabijgelegen windturbineparken of andere (off-shore) constructies is hierbij aan te bevelen.

5.4 FAUNA, FLORA & BIODIVERSITEIT

De oprichting van energieparken zal effecten hebben op het onderwaterleven, zowel in de projectgebieden als daarbuiten. Door de bouw van windturbines en WEC's zal in het BDNZ, waar overwegend zachte substraten voorkomen, een nieuw soort habitat gevormd worden: een kunstmatig hard substraat. Tijdens de constructie- en ontmantelingsfase zal de zeebodem worden verstoord. Daarnaast zal het gebied met de windturbines principieel gesloten worden voor de visserij. Bijgevolg kunnen er wijzigingen verwacht worden in de benthische biodiversiteit. De aanwezigheid van artificiële structuren, boven en onder water, zal ook een impact hebben op vissen, vogels en zeezoogdieren.

Dit hoofdstuk behandelt verschillende groepen organismen: het benthos, de vissen, de vogels en vleermuizen, en de zeezoogdieren. Aangezien harde substraten een nieuw habitat vormen met een specifieke fauna en flora, wordt dit besproken als een additionele groep. Per groep van organismen wordt er een beschrijving gegeven van de methodiek, de referentiesituatie, de mogelijke effecten van het project (bouw, exploitatie en ontmanteling van de windturbines en bekabeling), de leemten in de kennis, de milderende maatregelen en de monitoring.

Het benthos wordt voor de bespreking van de methodiek en referentiesituatie verder opgesplitst in macrobenthos (organismen > 1 mm die in de bodem leven) en epibenthos (organismen die op de bodem leven), aangezien zij op verschillende manieren bemonsterd en bestudeerd worden.

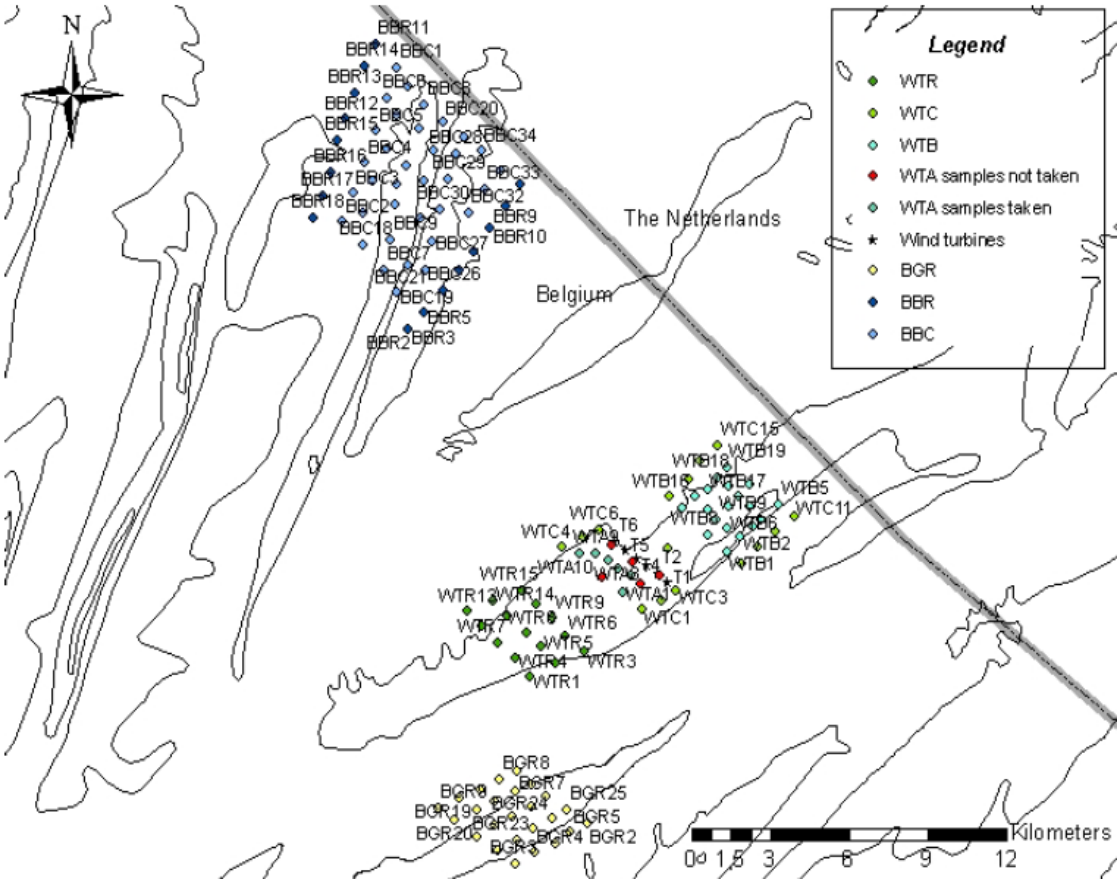
De effecten op plankton worden niet besproken aangezien daar weinig literatuurgegevens over beschikbaar zijn. Er kan verwacht worden dat door vertroebeling van het water tijdens de constructiefase de groei van fytoplankton belemmerd wordt, wat een invloed kan hebben op de voedselketen.

5.4.1 Methodologie

5.4.1.1 Macrobenthos

De belangrijkste vertegenwoordigers van het macrobenthos zijn wormen (Annelida) (voornamelijk borstelwormen (Polychaeta)), schaaldieren (Crustacea, voornamelijk vlokreeften (Amphipoda)) en schelpdieren (Mollusca, voornamelijk tweekleppigen (Bivalvia) en zeehuisjes-slakken (Gastropoda)). Macrobenthische organismen zijn door hun beperkte mobiliteit een belangrijke indicator voor de gezondheid van het lokale marien milieu.

Het merendeel van de monitoring en studies in de concessiegebieden van de Belgische windparken gebeurde op de Thorntonbank en de Blighbank, aangezien hier de eerste 2 parken zijn gebouwd (De Maersschalck *et al.*, 2006, Reubens *et al.*, 2009a, Coates & Vincx, 2010, Coates *et al.*, 2011, 2012). Door de aanpalende ligging van de Blighbank in het zuidoosten van het projectgebied van Northwester 2, zijn deze monitoringsresultaten ook relevant voor de beschrijving van de referentiesituatie en de verwachte impacten (Figuur 5-61).



Figuur 5-61 Locaties van de staalnamecampagne in 2008 wanneer de baseline studie op de Blighbank is uitgevoerd (Reubens et al., 2009a)

De concessiegebieden van Mermaid en Northwester 2 situeren zich niet op een zandbank maar wel in de geul naast de Blighbank. Het ILVO heeft een effectenstudie uitgevoerd aangaande zand- en grindextractie op enkele Vlaamse Banken, de Hinderbanken, de Thorntonbank en de Goote Bank, waarin zowel de zandbanken als de geulen bemonsterd werden (De Backer *et al.*, 2010; IMDC, 2010a). Deze studies bevatten naast de biologische data analyse ook een grondige abiotische analyse van de locaties, daar de sedimentsamenstelling belangrijk is voor de ecologische evaluatie van de (in)directe effecten van een windpark.

Tenslotte werd ook een beroep gedaan op andere recente studies die data van verschillende onderzoeksprojecten gecompileerd hebben om te komen tot een gebiedsdekkende beschrijving van de benthosgemeenschappen op het BDNZ. Deze studies bevatten ook informatie van verder offshore gelegen gebieden waaronder de Hinderbanken en de Zeelandbanken.

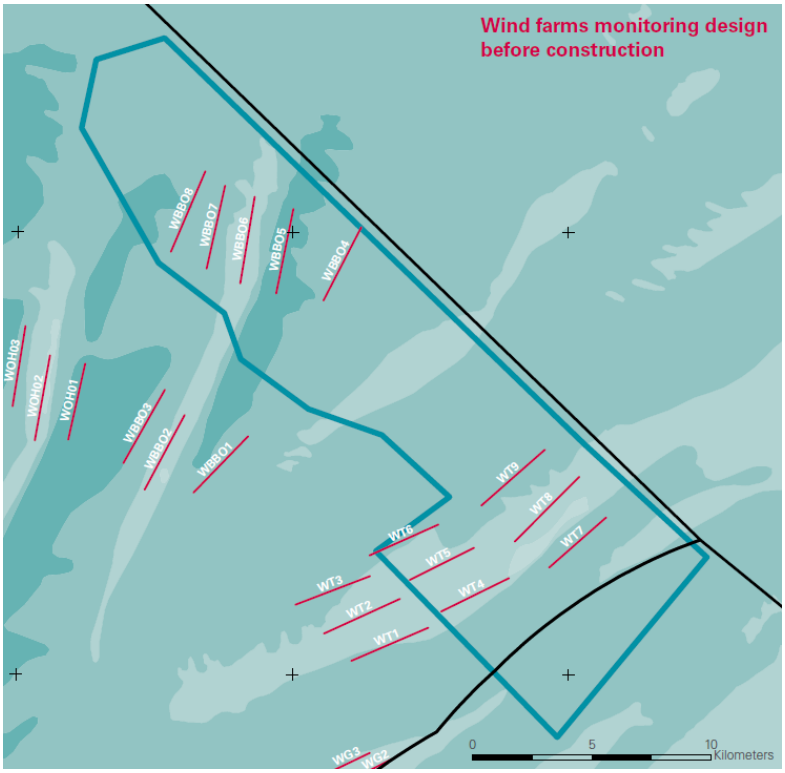
Deze gegevens zijn een belangrijke meerwaarde voor de beschrijving van de referentiesituatie:

- Studie betreffende het opstellen van een lijst van potentiële Habitatrichtlijngebieden in het BDNZ (Degraer *et al.*, 2009);
- Studies uitgevoerd door de UGent, Sectie Mariene Biologie naar de macrobenthosgemeenschappen (Van Hoey *et al.*, 2004; De Maersschalck *et al.*, 2006) in relatie tot natuurlijke en antropogene invloeden in de Noordzee (UGent - Sectie Mariene Biologie);
- BWZee-studie (Derous *et al.*, 2007) (april 2004 – maart 2006) uitgevoerd door 5 Belgische onderzoeksgroepen in het kader van het PODO II programma van Federaal wetenschapsbeleid. Het resultaat van deze studie was een geïntegreerde, gebiedsdekkende biologische waarderingskaart die de biologische en ecologische waarde van het BDNZ weergeeft.
- Habitatgeschiktheidsmodellen opgesteld door Degraer *et al.* (2008) die de geschiktheid voor de vier in België voorkomende macrobenthosgemeenschappen voorspellen, gebaseerd op de aanwezige korrelgrootte en het slibgehalte.

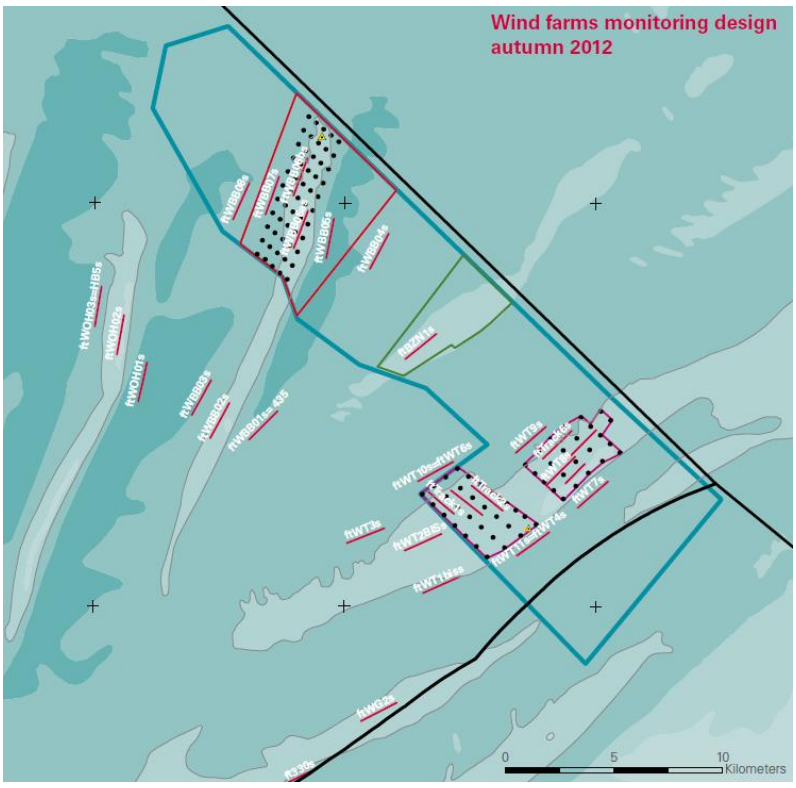
5.4.1.2 Epibenthos en vissen

De studie van de vissen legt de nadruk op de demersale vissen. Deze groep van vissen zal het meest rechtstreekse hinder ondervinden van de geplande activiteiten en is ook het meest onderzocht. De demersale visfauna wordt omschreven als de vissen die op of in de nabijheid van de bodem leven en efficiënt met een boomkor bemonsterd kunnen worden. Over de effecten op pelagische (vrijzwemmende) vissen is minder gekend. Er wordt verwacht dat de effecten kleiner zijn aangezien pelagische vissen minder habitatverlies en algemene verstoring ondervinden. Ze kunnen wel gehinderd worden door geluid en trillingen tijdens de constructie- en operationele fase (Andersson, 2011). Aangezien het epibenthos (op de bodem levende organismen) eveneens met een boomkor bemonsterd worden, worden ze hier samen besproken met de visgemeenschappen.

In kader van de monitoring van de windparken zijn er tussen 2005 en 2013 verschillende meetcampagnes uitgevoerd, zowel voor de bepaling van de baseline situatie als voor de monitoring naar impacten van de turbines (De Maersschalck *et al.*, 2006; Vandendriessche *et al.*, 2009, 2011, 2012, 2013b, 2013c; Derweduwen *et al.*, 2010; Reubens *et al.*, 2011, 2013). Figuur 5-62 geeft de locaties weer van de staalnames in 2008 bij de bepaling van de baseline situatie van Belwind en C-Power, Figuur 5-63 geeft de locaties weer na de constructie in 2012. Aangezien er in de Mermaid en Northwester 2 concessiegebieden zelf geen baseline situatie is bepaald, zijn de resultaten van het naburige Belwind windpark het meest representatief.



Figuur 5-62 Staalname punten voor de constructie van de windparken (T0) (Vandendriessche et al., 2013c)



Figuur 5-63 Staalname punten na de constructie van C-Power en Belwind (2012) (Vandendriessche et al., 2013c)

Het epibenthos en de demersale visfauna werden bemonsterd met een 8-meter boomkor met een fijnmazig garnalennet (maaswijdte 22 mm in de kuil) en een bollenpees zonder wekkerkettingen. De slepen volgden min of meer de dieptelijnen parallel met de kust om de variatie in diepte binnenin 1 sleep te beperken. De inhoud van de netten werd verdeeld in 'epibenthos' en 'demersale vissen'. Beide componenten werden afzonderlijk behandeld waarbij volgende gegevens werden verzameld: de aangetroffen soorten, hun densiteit (ind./1.000 m²), totale biomassa (g WW/1.000 m²) per soort (enkel voor epibenthos) en de diversiteit (indices van Hill).

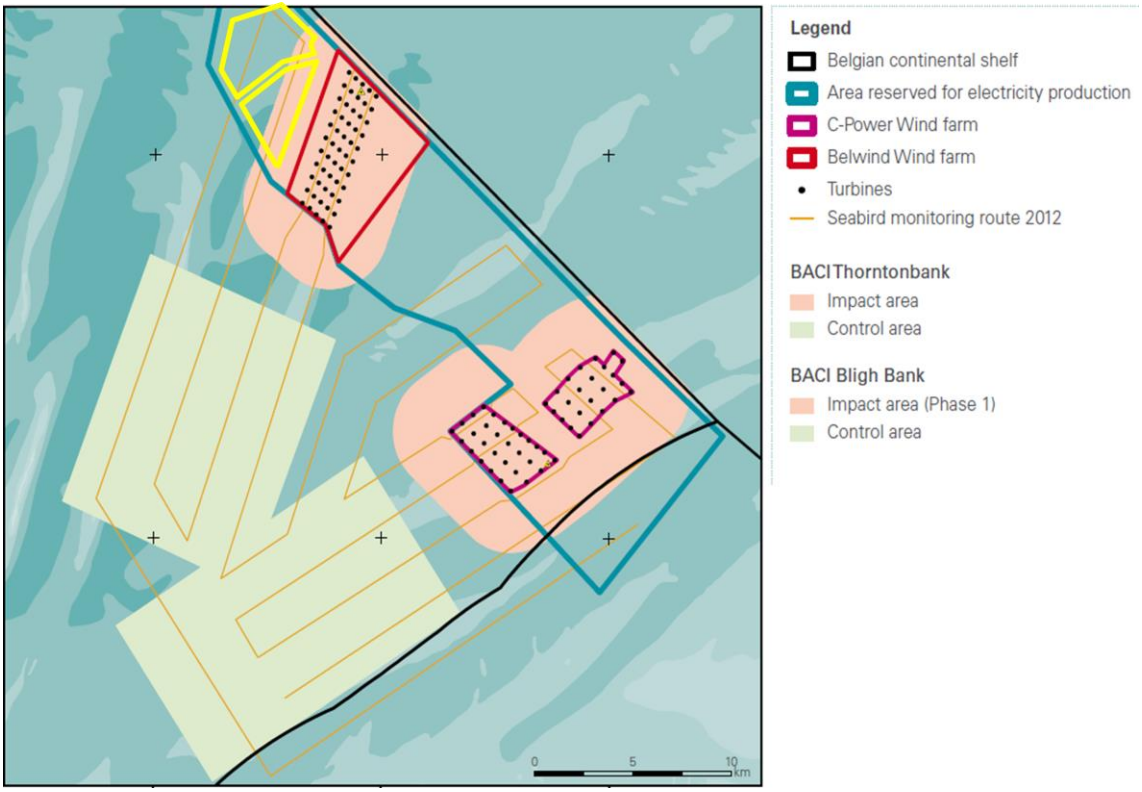
Deze gegevens werden aangevuld met recente monitoringsrapporten en effectenstudies aangaande zand- en grindextractie op enkele Vlaamse Banken waaronder de Thorntonbank en de Goote Bank waarbij dezelfde bemonsteringsmethodes werden gehanteerd (De Backer *et al.*, 2010).

Het recent project Lecofish geeft ook informatie weer over de verspreiding van enkele (commercieel interessante) vissoorten tussen 1950 en 2010. Hierbij werd de kennis van commerciële en recreationele vissers gecombineerd met de traditionele ecologische kennis van het BDNZ (Maes *et al*., 2012).

Tenslotte werd gebruik gemaakt van de geïntegreerde, gebiedsdekkende biologische waarderingskaarten die de biologische en ecologische waarde voor epibenthos en vissen weergeeft (Derous *et al.*, 2007).

5.4.1.3 Vogels en vleermuizen

Het INBO voert sinds 1993 vanaf schepen gestandaardiseerde tellingen uit in het BDNZ. Deze scheepstellingen worden uitgevoerd volgens een zogenaamde transectmethode (Tasker *et al.*, 1984). Sinds 2002 gebeurt dit maandelijks langs 3 vaste trajecten. Over de voorbije jaren verplaatste de nadruk van het gehele BDNZ naar een monitoringsprogramma van toekomstige windparken (Figuur 5-64). Sinds 2008 wordt er bij alle maandelijkse trajecten gefocust op de concessiezones van de windparken en naburige controlegebieden, inclusief de Oosthinderbank, Blighbank, en de Lodewijkbank (Vanermen *et al.*, 2010, 2011, 2012, 2013a, 2013b, 2013c). De monitoringsroute gevaren in 2012 is weergegeven in Figuur 5-64.



Figuur 5-64 Monitoringstraject gevolgd in de periode 2012, met de locatie van C-Power (Thorntonbank) en Belwind (Blighbank) (Vanermen et al., 2013a). De projectgebieden van Mermaid en Northwester 2 zijn geel omlijnd

In het monitoringsrapport van 2009 (Vanermen & Stienen, 2009) is de seizoenale verdeling beschreven van de voorkomende zeevogels, ter hoogte van de zogenaamde impactzone (windparkzone + bufferzone van 3 km) van het windpark op de Thorntonbank (C-Power) en de Blighbank (Belwind). Sinds 2012 werd er naast de visuele observaties vanop schepen ook gebruik gemaakt van radaronderzoek van op het OHVS van C-Power op ca. 25 km van de kust. De radargegevens vormen een aanvulling op visuele observaties en zijn vooral gericht op het bestuderen van barrière-effecten en aanvaringsrisico's (Vanermen *et al*., 2013a).

Voor de beschrijving van de referentiesituatie van de Mermaid en Northwester 2 windparken zal voornamelijk gebruik worden gemaakt van de monitoringsresultaten van het naburige Belwind windpark.

Tenslotte is ook voor vogels in kader van de BWZee-studie een biologische waarderingskaart opgesteld die de biologische en ecologische waarde van het BDNZ weergeeft (Derous *et al.*, 2007).

Naast vogels, zal in § 5.4.3.3.2 het effect op vleermuizen besproken worden. Hoewel het zoogdieren zijn, wordt de effectbespreking ervan onder het deel 'Vogels' uitgewerkt omdat vleermuizen ook migreren en foerageren in de buurt van de draaiende wieken. Aangezien de aanwezigheid van vleermuizen in het BDNZ nog niet eerder is onderzocht, wordt er voor de bespreking van de effecten gebruik gemaakt van buitenlandse studies.

5.4.1.4 Zeezoogdieren

Het meest voorkomende zoogdier in Belgische wateren is de bruinvis (*Phocoena phocoena*). Daarnaast komen de gewone zeehond (*Phoca vitulina*), de grijze zeehond (*Halichoerus grypus*), de tuimelaar (*Tursiops truncatus*) en de witsnuitdolfijn (*Lagenorhynchus albirostris*) voor, zij het in veel lagere aantallen. De meest nabije kolonies zeehonden, zowel grijze als gewone, bevinden zich in Zeeland.

Gezien de grote mobiliteit en het uitgestrekte leefgebied van zeezoogdieren, en gezien de migraties die zeezoogdieren ondernemen, wordt voor de beschrijving van de referentiesituatie gebruik gemaakt van studies uit verschillende gebieden van de Noordzee.

Om de mogelijke effecten van de constructie en exploitatie van offshore windparken op het BDNZ op zeezoogdieren in te schatten werd er door de BMM een monitoringsplan ontwikkeld. De resultaten van de monitoring worden besproken in Haelters (2009) en Haelters *et al.* (2010, 2011, 2012a, 2013a, 2013b). Het monitoringsplan heeft tot doel zowel korte- als langetermijneffecten vast te stellen, en maakt noodzakelijkerwijs gebruik van verschillende onderzoeksmethodes. Aangezien het meest voorkomende zeezoogdier in Belgische wateren de bruinvis is, richt het onderzoek zich vooral op deze soort. Waar mogelijk worden ook effecten op andere soorten ingeschat. Het monitoringsplan volgt een BACI (Before After Control Impact) ontwerp: onderzoek van de situatie voor en na de werken, in het projectgebied en in de controlegebieden. De volgende deelstudies worden onderscheiden:

- De monitoring van bruinvissen vanuit de lucht door middel van een gestandaardiseerde methodologie (line transect sampling) voor het inschatten van aantallen en van verspreiding;
- Het gebruik van statische akoestische toestellen (PODs) om de aanwezigheid van bruinvissen en dolfijnen over een langere periode vast te stellen in geselecteerde locaties;
- Het onderzoek van andere beschikbare gegevens, zoals deze verzameld in het kader van de zeevogeltellingen of van het onderzoek van gestrande zeezoogdieren;
- Het inschatten van de mogelijke effecten op zeezoogdieren door de verhoging van het onderwatergeluid.

Het effect van onderwatergeluid, en in het bijzonder het geluid dat ontstaat tijdens het heien van palen, is erg belangrijk voor zeezoogdieren. Gedragswijzigingen en het bepalen van geluidsdrempels staan hierbij centraal. Voor de inschatting van de impact wordt eveneens gebruik gemaakt van talrijke internationale studies.

5.4.1.5 Harde substraten

Op de Thorntonbank zijn 55 funderingen geplaatst (jacket en GBF), op de Blighbank 56 monopiles en op de Lodewijkbank 73 monopiles. Tevens werd door Belwind en C-Power een artificieel rif aangelegd op de rand van het concessie gebied. Elk artificieel rif is opgebouwd uit 33 reefballen. Met de creatie van deze windparken in het BDNZ werd een nieuw artificieel habitat van harde substraten gecreëerd in een regio waar overwegend zandige sedimenten voorkomen. Ook bij de installatie van de WEC's zal de hoeveelheid harde substraten toenemen. Daardoor zal de habitatheterogeniteit van het gebied verhogen en kan dit 'reef effect' beschouwd worden als de belangrijkste verandering die de oprichting van windparken in het oorspronkelijke milieu zal veroorzaken.

Op dit moment bevinden er zich nog geen harde substraten in de concessiegebieden van Mermaid en Northwester 2 en dient er strikt genomen geen referentiesituatie te worden besproken voor de fauna van harde substraten. Om de bespreking van de effecten van het toekomstig windpark te verduidelijken, wordt er hier al een beschrijving gegeven van het kolonisatieproces van de reeds bemonsterde turbines op de Blighbank en Thorntonbank.

De staalnamemethodiek en de resultaten van de monitoring van epifauna en visgemeenschappen van harde substraten op de Thorntonbank zijn beschreven door Kerckhof *et al.* (2009, 2010, 2011, 2012), Reubens *et al.* (2009b, 2010, 2011, 2013) en De Mesel *et al.,* (2013). Epifauna wordt hier beschouwd als alle organismen (> 1 mm) levend op harde substraten (funderingen, turbines, erosiebescherming). De belangrijkste groepen zijn de krabben (Brachyura), heremietkreeften (Anomura) en garnalen (Caridae), behorend tot de schaaldieren (Crustacea); het phylum schelpdieren (Mollusca) (voornamelijk zeeslakken (Gastropoda), inktvissen en pijlinktvissen (Cephalopoda)), en tenslotte het phylum stekelhuidigen (Echinodermata) (slangsterren (Ophiuroidea); zeesterren (Asteroidea); zee-egels (Echnoidea)).

De artificiële substraten trekken ook verschillende vissoorten aan. Enkele belangrijke soorten voor de Belgische mariene wateren zijn: steenbolk (*Trispoterus luscus*), witte koolvis (*Pollachius pollachius*), zwarte koolvis (*Pollachius virens*), kabeljauw (*Gadus morhua*), zeebaars (*Dicentrarchus labrax*), zeedonderpad (*Myoxocephalus scorpius*), naakte slijmvis (*Parablennius* sp.), dikkopje (*Pomatoschistus minutus*), makreel (*Scomber scombrus*) en horsmakreel (*Trachurus trachurus*).

Meer gedetailleerde onderzoeken gebeurden naar de habitat en voedselvoorkeuren, het gedrag en migratiepatronen van kabeljauw en steenbolk. Enerzijds werd er gefocust op de aanwezige visgemeenschap en anderzijds op de trofische relaties tussen steenbolken en het artificiële rif. Voor de trofische relaties werden dichtheidsschattingen uitgevoerd gebaseerd op visuele observaties en werd het voedingsgedrag van steenbolk nabij de windturbines onderzocht aan de hand van maaganalyses (Reubens *et al.* 2010, 2013). In Reubens *et al.* (2011, 2013) werd de seizoenale en dagelijkse migratie van de kabeljauw onderzocht aan de hand van akoestische telemetrie.

5.4.2 Referentiesituatie en autonome ontwikkeling

5.4.2.1 Macrobenthos

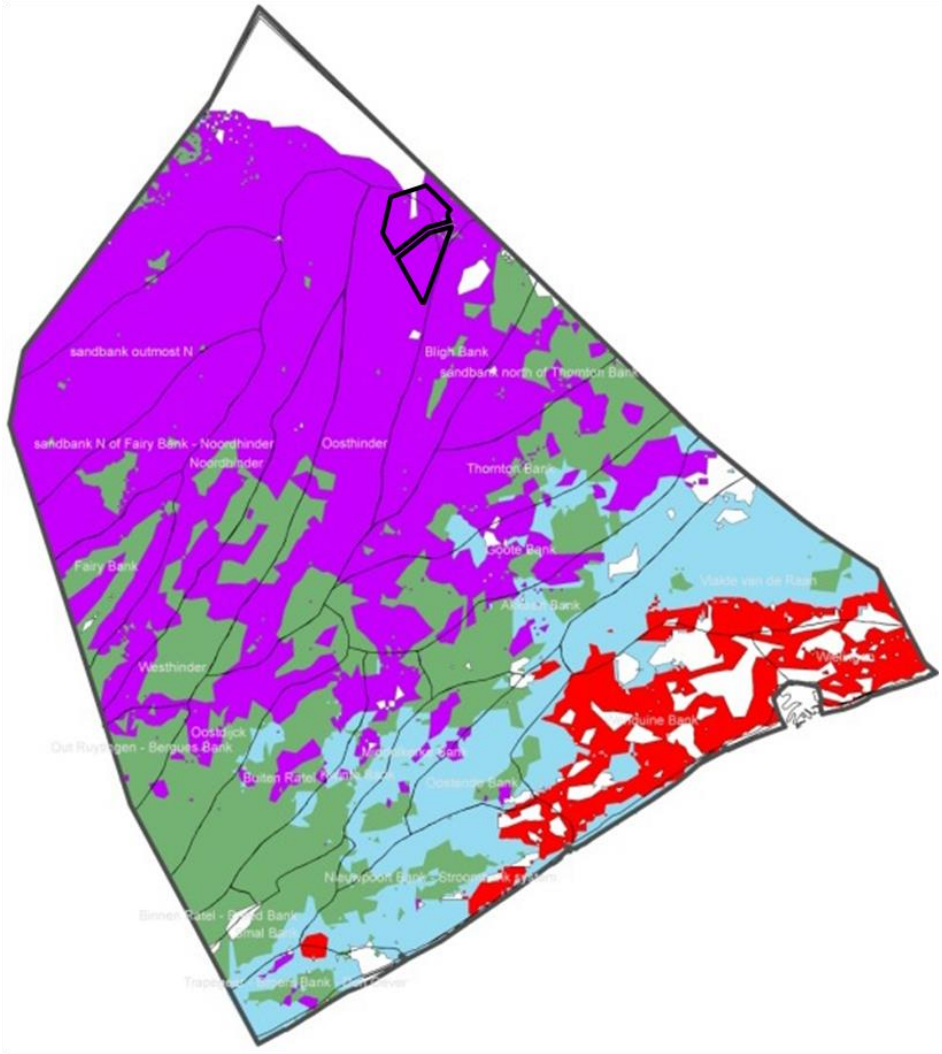
5.4.2.1.1 Belgische deel van de Noordzee

De macrobenthische rijkdom is niet overal gelijk in het BDNZ. Een hoge diversiteit en dichtheid worden waargenomen ter hoogte van de westelijke kustzone, het oostelijke deel van de Vlaamse Banken en het zuidelijke deel van de Zeelandbanken. Een gemiddelde diversiteit en dichtheid worden gevonden in de open zeezone, terwijl de oostelijke kustzone algemeen gekarakteriseerd wordt door de laagste soortenrijkdom en dichtheid. Dit laatste wordt waarschijnlijk veroorzaakt door verhoogde slibconcentraties (Van Hoey *et al.*, 2004; Degraer *et al.*, 2006).

Uitgaande van kwantitatieve analyses van het macrobenthos zijn de borstelwormen (Polychaeta) en de schaaldieren (Crustacea) de meest diverse en abundante taxa en dit zowel voor de Zeelandbanken, de Vlaamse Banken als de Hinderbanken (Hillewaert & Maertens, 2003; Van Hoey *et al.*, 2004; De Maersschalck *et al.*, 2006).

De dominantie van borstelwormen stijgt in de richting van de offshore zandbanken, terwijl de relatieve abundantie van de 2-kleppigen (Bivalvia) volgens die gradiënt afneemt. De gemeenschappen van dynamische systemen (zandbanken) worden getypeerd door kleine mobiele 'opportunistische' soorten met een hoge kolonisatie- en groeisnelheid (Newell *et al.*, 2002). Dit bevordert hun mogelijkheid tot rekolonisatie van het sediment na tijdelijke verstoringen onder natuurlijke condities.

Vier algemeen voorkomende macrobenthische gemeenschappen kunnen worden onderscheiden in de subtidale mobiele substraten van het BDNZ (Figuur 5-65). Daartussenin worden nog zes overgangsgemeenschappen gedefinieerd.



Figuur 5-65 Geografische verdeling van de verschillende biotopen in het BDNZ met de locaties van Mermaid (Noord) en Northwester 2 (Zuid) zwart omlijnd (rood: Macoma balthica, blauw: Abra alba, groen: Nephtys cirrosa en paars: Ophelia limacina biotoop; wit: onvoorspeld gebied, niet geanalyseerd) (Degraer et al., 2009)

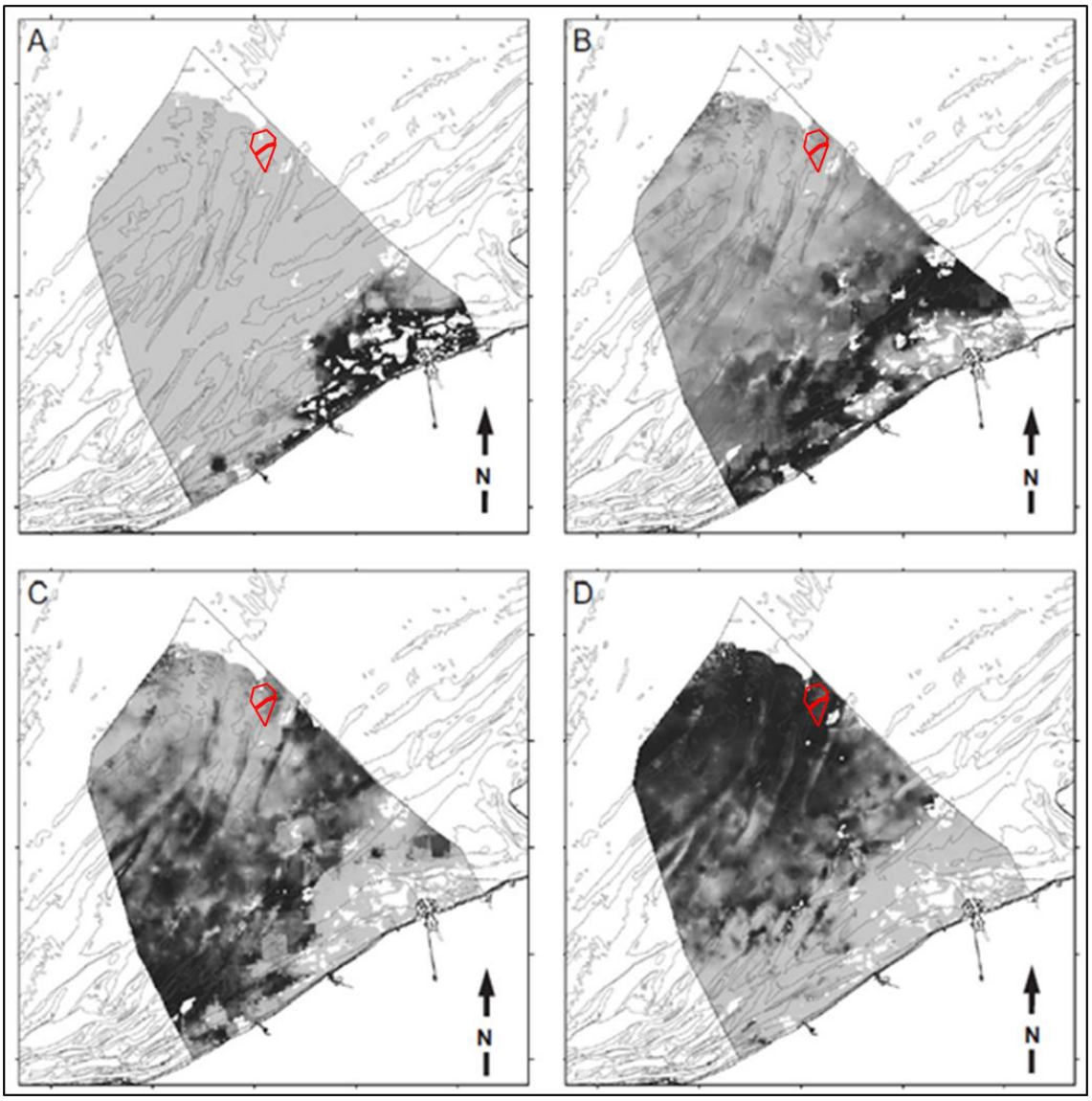
Deze gemeenschappen worden elk gekenmerkt door karakteristieke soorten, diversiteit en dichtheid en worden elk in een specifieke en goedgedefinieerde omgeving waargenomen (Degraer *et al.*, 2009; Van Hoey *et al.*, 2004, Reubens *et al.*, 2009a):

- De *Macoma balthica* gemeenschap wordt gekenmerkt door een lage soortenrijkdom (gemiddeld 7 soorten (spp.)/0,1 m²), maar vrij hoge densiteit (gemiddeld 967 individuen (ind.)/m²), typisch voorkomend in slibbige sedimenten (mediane korrelgrootte: gemiddeld 95 µm).
- De *Abra alba* (– *Mysella bidentata*) gemeenschap wordt gekenmerkt door een hoge dichtheid (gemiddeld 6.432 ind./m²) en een hoge soortenrijkdom (gemiddeld 30 spp./0,1 m²) en wordt typisch in slibrijk (gemiddeld 5,8% slib) fijn zand (mediane korrelgrootte: gemiddeld 219 µm) aangetroffen.
- De *Nephtys cirrosa* gemeenschap bezit een lage dichtheid (gemiddeld 402 ind./m²) en een lage soortenrijkdom (gemiddeld 7 spp./0,1 m²) en leeft typisch in zuivere (gemiddeld 0,4% slib) fijn tot medium zandige (mediane korrelgrootte: gemiddeld 274 ind./m²) sedimenten.
- Een zeer lage dichtheid (gemiddeld 190 ind./m²) en soortenrijkdom (gemiddeld 5 spp./0,1 m²) typeert de *Ophelia limacina* (– *Glycera lapidum*) gemeenschap, aan te treffen in medium- tot grofzandige (mediane korrelgrootte: gemiddeld 409 ind./m²) bodems.

Deze gemeenschappen komen niet geïsoleerd van elkaar voor: graduele overgangen tussen de gemeenschappen worden wijd verbreid in het BDNZ aangetroffen. Macrobenthische gemeenschappen in gematigde gebieden zijn onderhevig aan sterke jaarlijkse variatie binnen de gemeenschapsstructuur (Turner *et al.*, 1995). Zo lang hun typische habitatstructuur niet verandert, zal de soortensamenstelling en de distributie (inclusief de natuurlijk en seizoenale variatie) van de gemeenschappen stabiel blijven. Temporele variatie binnen deze soortenassociaties op het BDNZ is bijgevolg ondergeschikt aan de ruimtelijke variatie en de relatief stabiele macrobenthische gemeenschappen (Van Hoey *et al.*, 2004).

Algemeen gezien kan er wel gesteld worden dat de kustzone vooral gekenmerkt wordt door de *Macoma* en *Abra* gemeenschap (Figuur 5-65) (De Backer *et al.*, 2010). De offshore stalen worden meestal enkel gekenmerkt door *Nephtys* en *Ophelia* gemeenschappen (De Backer *et al.*, 2010). Daarnaast worden de stalen in de kustzone doorgaans gekenmerkt door een kleinere korrelgrootte en een hogere slibconcentratie dan de offshore stalen.

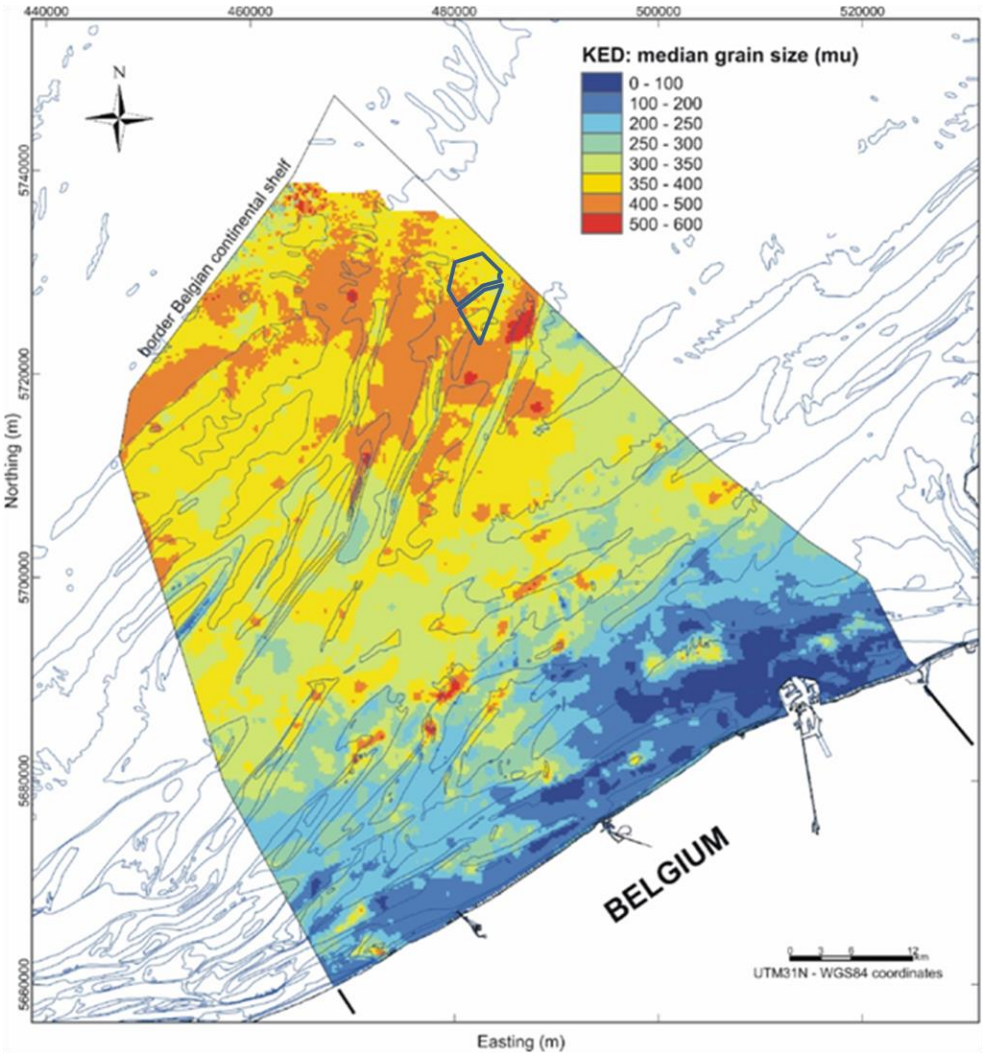
Degraer *et al.* (2008) hebben op basis van korrelgrootte en slibgehalte modellen opgesteld die het voorkomen van deze vier macrobenthische gemeenschappen voorspellen (Figuur 5-66). Deze modellen geven enkel de geschiktheid voor de kolonisatie van een bepaalde gemeenschap weer. De gemeenschap kan dus eveneens afwezig zijn door antropogene invloeden zoals visserij, of door natuurlijke temporele variatie. De habitatgeschiktheidsmodellen voorspellen bijgevolg eerder het specifieke ecologisch potentieel van een habitat dan de gerealiseerde ecologische structuur (Degraer *et al.*, 1999).



Figuur 5-66 Habitatgeschiktheidskaarten voor de vier in Belgische wateren voorkomende macrobenthos gemeenschappen, zoals voorspeld door Degraer et al. (2008). A: Macoma balthica gemeenschap; B: Abra alba gemeenschap; C: Nephtys cirrosa gemeenschap; D: Ophelia limacina gemeenschap. Licht grijs: 0% geschikt → zwart: maximum geschiktheid. De locaties van Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) zijn rood omlijnd.

5.4.2.1.2 Het projectgebied

De meeste stalen genomen op de Blighbank tijdens de baseline studie worden gekenmerkt door medium zand (350-500 µm), een laag slibgehalte (maximum gemiddelde van de verschillende stalen van 4,3%) en een laag percentage organisch materiaal (maximum gemiddelde van 0,3%) (Reubens *et al.*, 2009a; IMDC, 2012b). De sedimentkarakteristieken van de studie in 2010 zijn vergelijkbaar met deze gevonden in de baseline studie uitgevoerd in 2008 (Coates & Vincx, 2010). Uit Figuur 5-67 kan eveneens afgeleid worden dat de Mermaid en Northwester 2 projectgebieden gekenmerkt worden door medium zand (300-500 µm) (Verfaillie *et al.*, 2006). De bodemsamenstelling wordt verder besproken onder het hoofdstuk 'Bodem en water'.



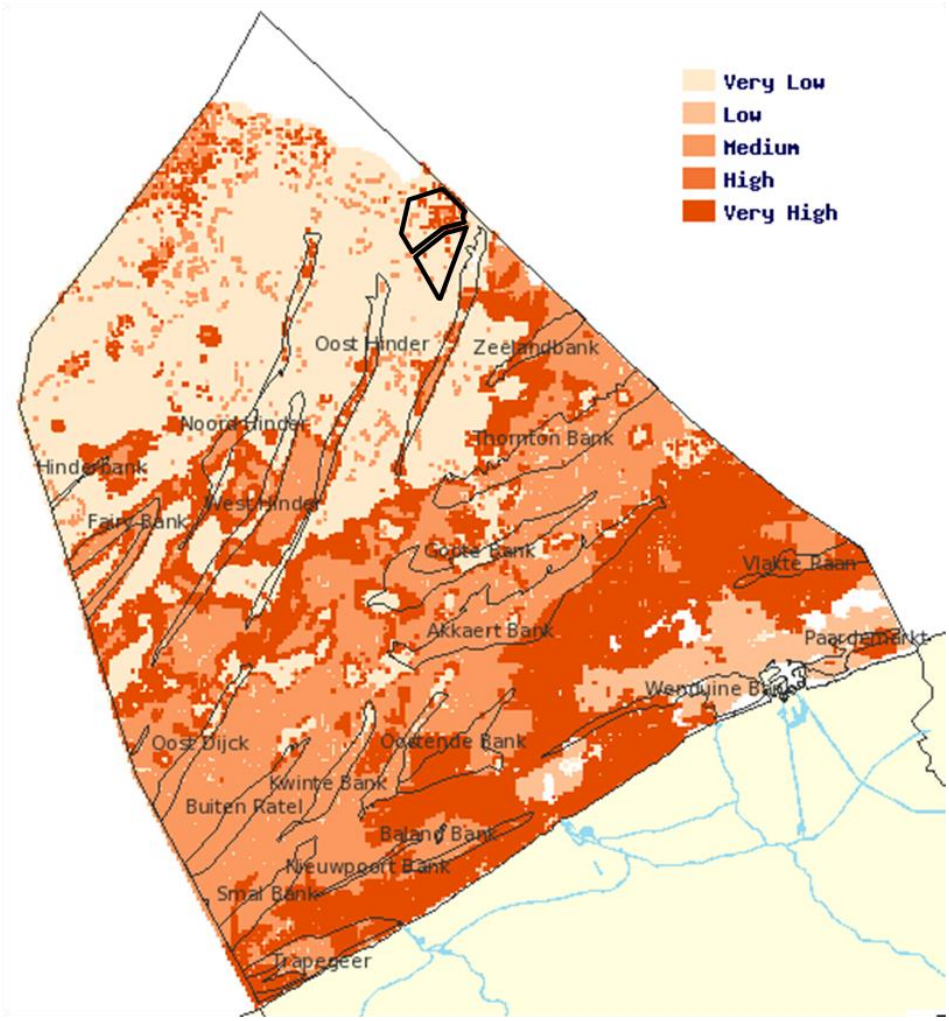
Figuur 5-67 Korrelgrootteverdeling op het BDNZ (naar Verfaillie et al., 2006). De locaties van Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) zijn blauw omlijnd.

Densiteiten van het macrobenthos op de Blighbank zijn hoger in het najaar (maximaal. 3.500 ind/m²) in vergelijking met het voorjaar (maximaal 900 ind./m²). De soortenrijkdom is eerder laag (max. 26 species/0,1 m²). Een brede range in biomassa wordt waargenomen (26 - 6.000 mg/m²), zowel in het voorjaar als in het najaar.

De dagelijkse productiviteit van de benthische fauna is laag (minder dan 10 mg/dag.m² in de meeste stalen). *N. cirrosa* is de meest dominante macrobenthische soort, zowel in de voorjaars- als najaarsstalen. De variatie in gemeenschapssamenstelling, zowel binnen als tussen staalnamelocaties, is van eenzelfde grootteorde (Reubens *et al*., 2009a).

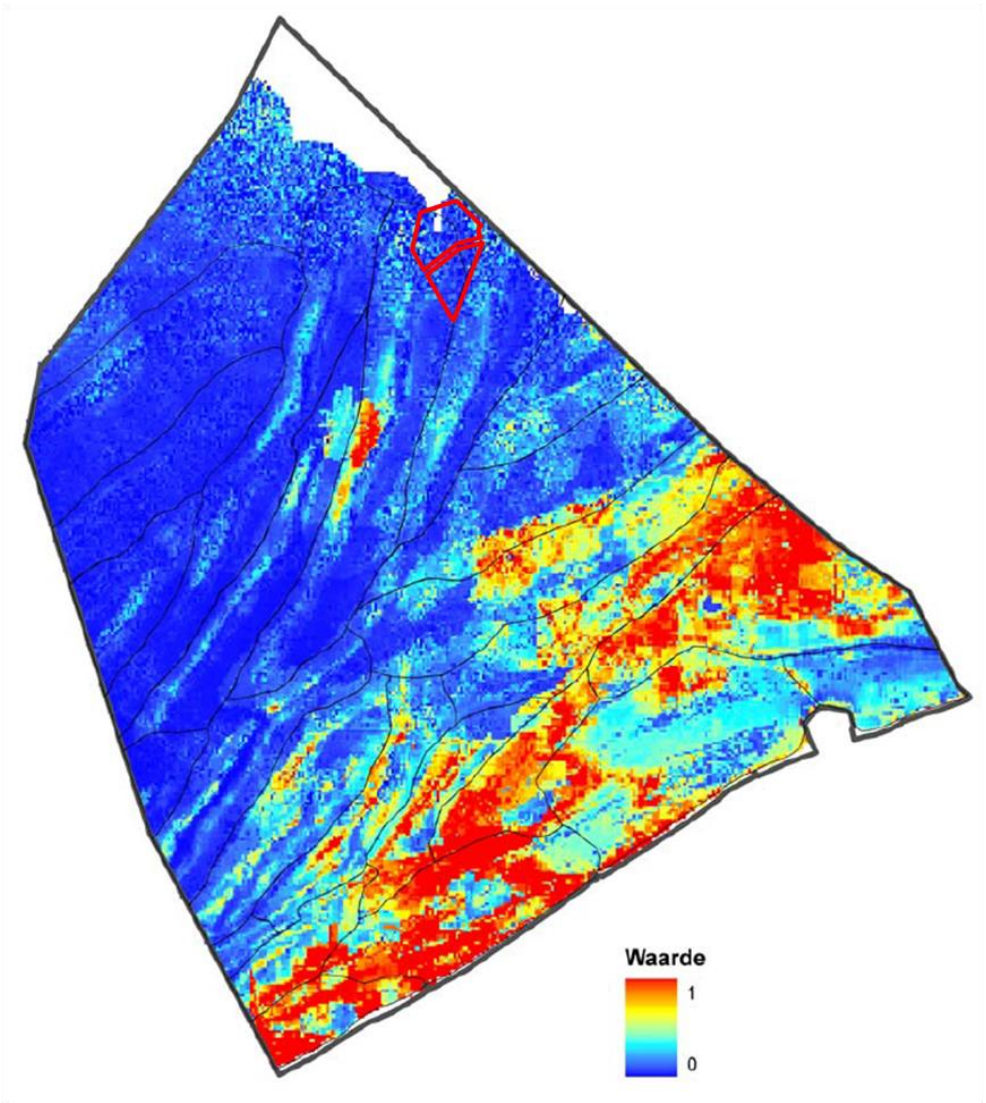
Uit Figuur 5-65 en Figuur 5-66 blijkt dat het projectgebied vooral geschikt is voor *O. limacina* (–*G. lapidum*) en in beperkte mate de armere *N. cirrosa* en rijke *A. alba* gemeenschappen (Degraer *et al.*, 2008). Omdat deze voorspellingen gebaseerd zijn op een model, kan de effectieve verspreiding van de gemeenschappen niet met zekerheid worden weergegeven.

Derous *et al.* (2007) stelde een biologische waarderingskaart op voor het BDNZ op basis van de voorkomende macrobenthosgemeenschappen (Figuur 5-68). De data die gebruikt zijn voor de opmaak van deze figuur zijn verzameld in de periode 1994 tot 2007. Volgens deze kaart wordt het projectgebied van Northwester 2 voornamelijk gekenmerkt door een zeer lage biologische waarde voor het macrobenthos, terwijl het projectgebied van Mermaid gekenmerkt wordt door zowel een zeer lage als een zeer hoge waarde (Derous *et al.*, 2007).



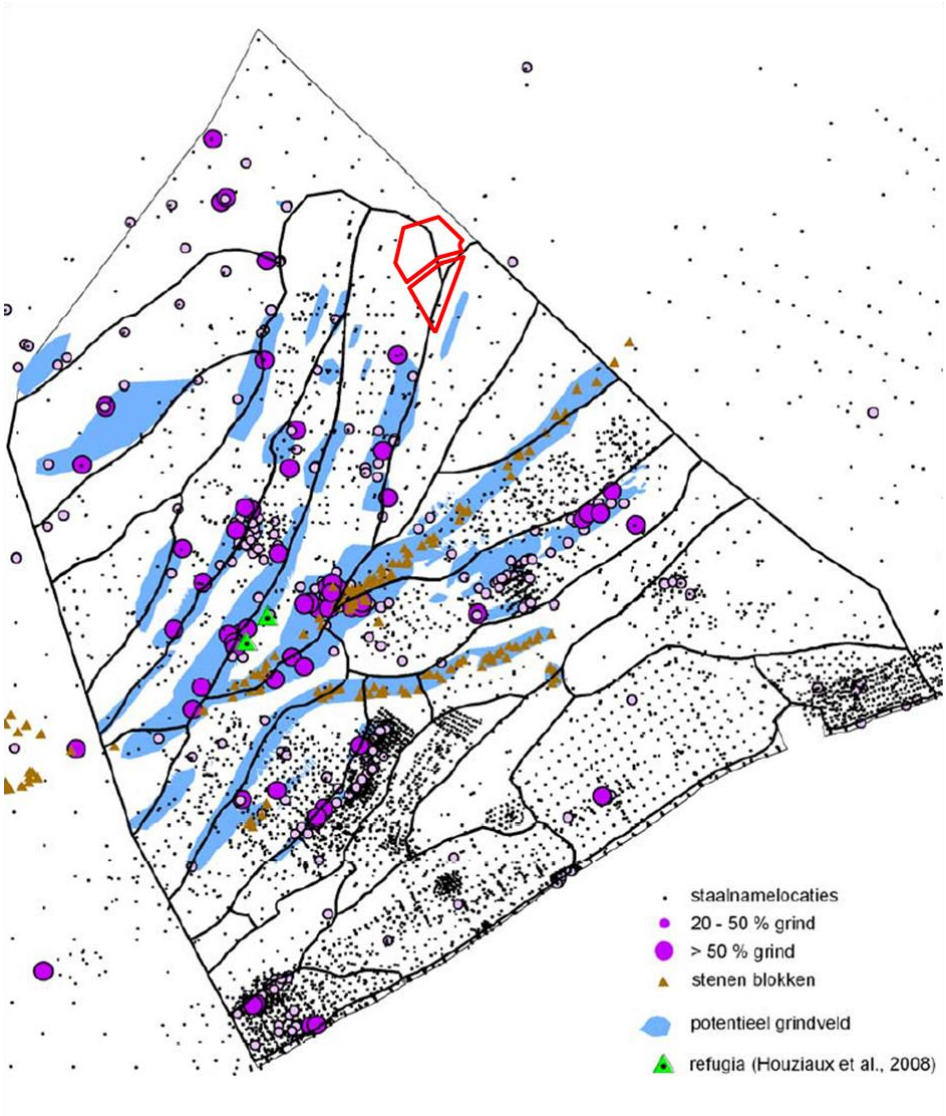
Figuur 5-68 Biologische waarderingskaart voor het macrobenthos (Derous et al., 2007). De locaties van Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) zijn zwart omlijnd.

In Degraer *et al.* (2009) worden de Blighbank en ook de nabij gelegen Oost- en Noordhinderbanken niet weerhouden als potentieel habitatrichtlijngebied (habitattype 1110 – permanent met zeewater van geringe diepte overstroomde zandbanken) met bijzondere ecologische waarde. Degraer *et al.* (2009) tonen ook aan dat de twee projectgebieden zo goed als ongeschikt zijn voor de vorming van *Lanice conchilega* aggregaties (met een dichtheid > 500 ind./m²) (Figuur 5-69). *L. conchilega* structureert een bestaande macrobenthische gemeenschap (*A. alba* gemeenschap) op een verregaande manier. Hierdoor vormt zich een subgemeenschap door de zogenaamde 'geassocieerde soorten' (*L. conchilega* gemeenschap s.s.) in de bredere gemeenschap waar die deel van uitmaakt (*A. alba* gemeenschap s.l.) (Rabaut *et al.*, 2007).



Figuur 5-69 Habitatgeschiktheidskaart voor Lanice conchilega aggregaties met een dichtheid > 500 ind./m². Hoogstwaarschijnlijk afwezig: blauw (0); hoogstwaarschijnlijk aanwezig: rood (1) (Degraer et al., 2009). De locaties van Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) zijn rood omlijnd.

Ook op basis van de ruimtelijke verspreiding van de grindbedden (naast *L. conchilega* eveneens kandidaat voor het habitattype 1170) zijn de projectgebieden niet weerhouden als aan te melden habitatrichtlijngebied (Degraer *et al.*, 2009).



Figuur 5-70 Habitattype 1170 grindbedden (Degraer et al., 2009). De locaties van Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) zijn rood omlijnd.

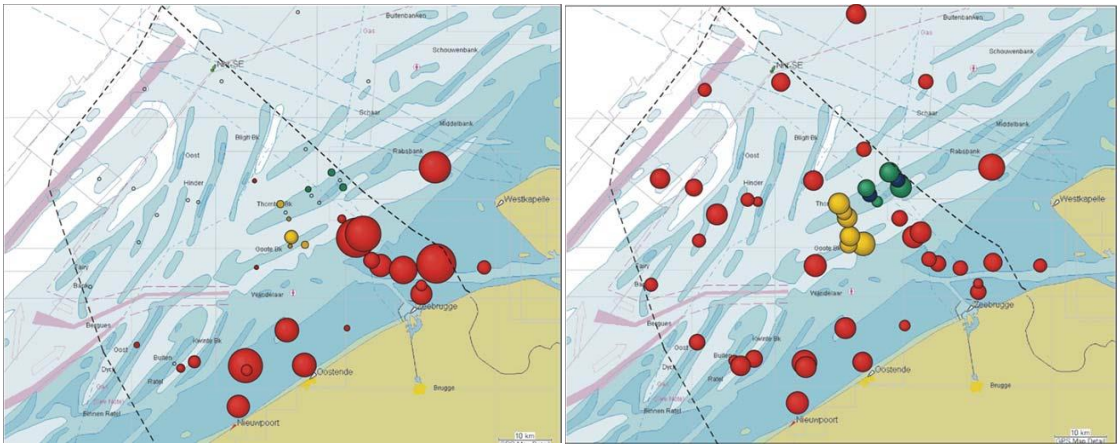
5.4.2.1.3 Autonome ontwikkeling

Indien er in de projectgebieden geen windparken zouden gebouwd en geëxploiteerd worden, zouden de benthosgemeenschappen niet wezenlijk veranderen. Lange termijn trends in densiteit en soortenrijkdom tonen wel een algemene stijging voor het macrobenthos.

5.4.2.2 Epibenthos

5.4.2.2.1 Belgische deel van de Noordzee

Uitgaande van de resultaten van De Maersschalck *et al.* (2006) lag de gemiddelde densiteit in 2005 voor het epibenthos duidelijk een grootteorde hoger in de kustzone (tot 15 km uit de kust) in vergelijking met de rest van het BDNZ (Figuur 5-71). De gemiddelde densiteit varieerde tussen 2 en 1.600 ind./1.000 m².



Figuur 5-71 Ruimtelijke verspreiding van de gemiddelde densiteit (links) en soortenrijkdom (rechts) in 2005 voor het epibenthos (blauw: concessiegebieden, groen: randzones, geel: referentiegebieden, rood: andere gebieden). De grootte van de bollen varieert tussen 2 en 1.600 ind./1.000m² voor de densiteit en tussen 8 en 22 soorten per vissleep voor de soortenrijkdom (De Maersschalck et al., 2006).

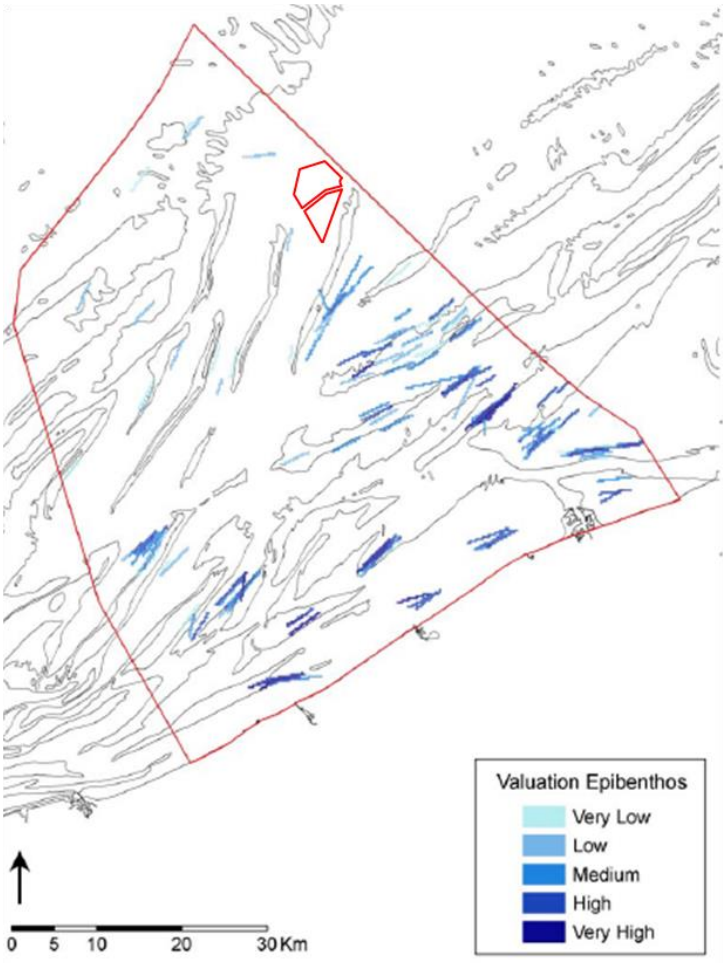
In totaal werden op het BDNZ (en het aangrenzende stukje Nederlands Continentaal Plat) 64 epibenthische soorten waargenomen in 2005, waarvan 50 soorten in het voorjaar en 54 soorten in het najaar. De gemiddelde soortenrijkdom varieerde tussen 8 en 22 soorten per vissleep (Figuur 5-71). Het aantal soorten lag 25% lager in de oostelijke kustzone en op de Vlakte van de Raan t.o.v. de westelijke kustzone (die uitloopt naar het oosten toe in de noordwestelijke geul voorbij de Vlakte van de Raan). Hoewel niet eenduidig lag de epibenthische soortenrijkdom iets lager in de offshore gebieden > 30 km uit de kust. Voor de soortenrijkdom was het verschil tussen deze 3 ‘zones' (oost, west, offshore) weliswaar minder duidelijk uitgesproken. De gemiddelde soortenrijkdom varieerde er tussen 12 en 20 soorten per vissleep. De densiteit en soortenrijkdom vertoonden een min of meer 4-jaarlijks oscillerend patroon in de randzones rond de Oostdyck en de Blighbank te wijten aan hogere densiteiten van vooral gewone slangster *Ophiura ophiura*.

Monitoringsonderzoek van De Backer *et al.* (2010) geeft aan dat er op basis van 80 staalnamepunten en 1 tot 9 campagnes in de periode lente 2004 – lente 2009 (herfst en lente campagnes, 9 campagnes in totaal) 92 soorten werden vastgesteld, waarbij de slangsterren het meest vertegenwoordigd zijn, gevolgd door de tweekleppigen en garnalen.

Op basis van deze staalnamecampagne stelt De Backer *et al.* (2010) tevens het volgende vast:

- De densiteit en biomassa zijn significant verschillend tussen de staalnames uitgevoerd in de kustzone enerzijds en offshore anderzijds. De densiteit (ind./1.000 m²) en biomassa (gWW/1.000 m²) was significant hoger in de kustzone (323 ind./1.000 m², 887 gWW/1.000 m²) in vergelijking met de zone offshore (22 ind./1.000 m², 70 gWW/1.000 m²).
- Wat de soortenrijkdom betreft, zijn er geen significante verschillen tussen de verschillende zones (kust en offshore). In de herfststalen is de soortenrijkdom wel hoger dan in de lentestalen. Op basis van de diversiteitsindex N1 kan er afgeleid worden dat de diversiteit in de kustzone minder groot is dan offshore.
- Er werden geen significante verschillen waargenomen tussen de staalnames in de offshore geulen en banken.
- Bij vergelijking van de staalnames tussen de verschillende jaren onderling is het verschil verwaarloosbaar.

Ook voor het epibenthos is er een biologische waarderingskaart beschikbaar (Figuur 5-72). Aangezien de dataset voor het epibenthos beperkt is, zijn er geen biologische waarden gekend voor het volledig BDNZ.

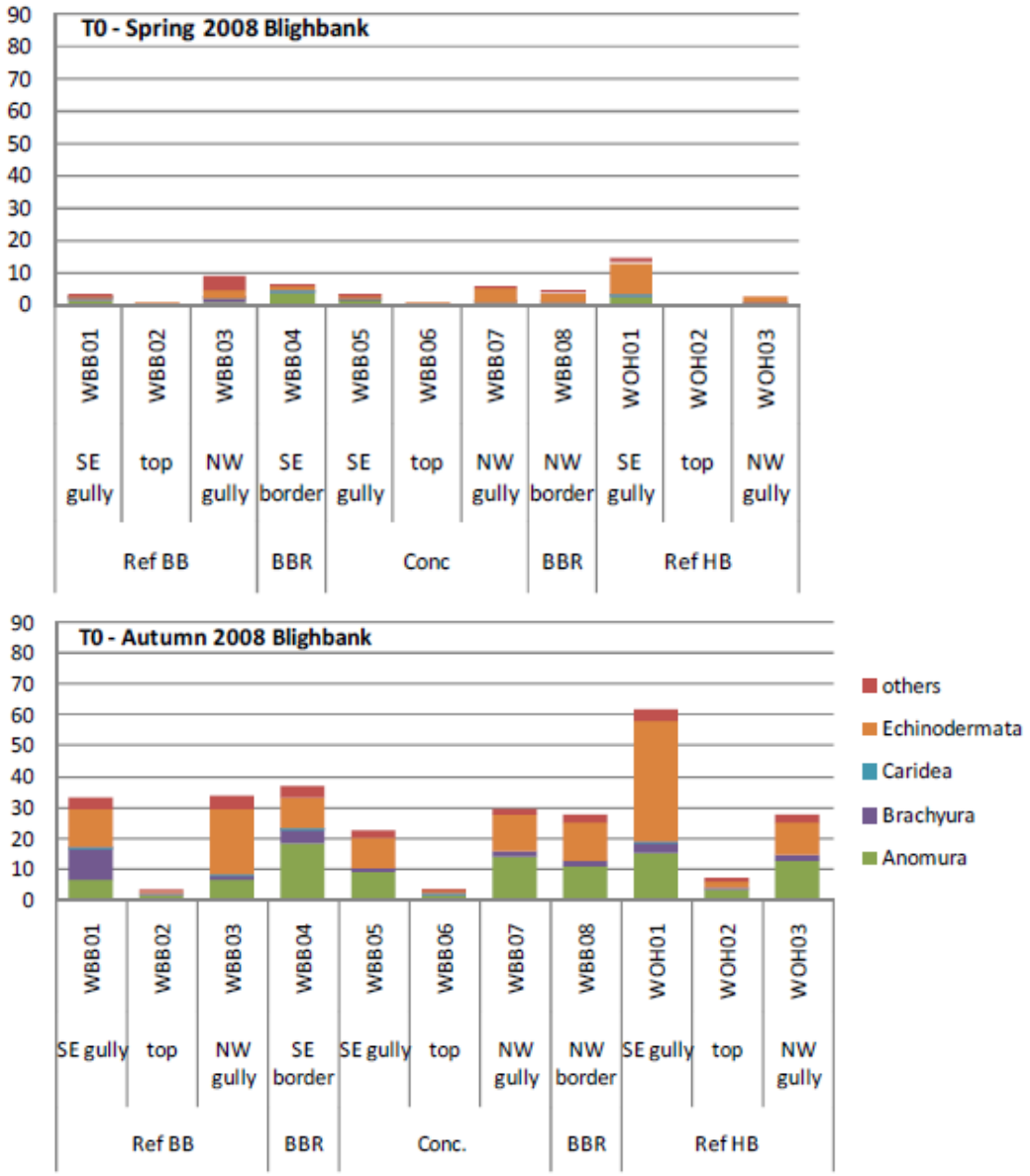


Figuur 5-72 Biologische waarderingskaart voor het epibenthos (Derous et al., 2007). De locaties van Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) zijn rood omlijnd.

5.4.2.2.2 Het projectgebied

Onderzoek naar de referentiesituatie op de Blighbank voor de constructie van het Belwind windpark toonden aan dat het epibenthos duidelijk verschilt tussen de zandbankstations en de geulstations wat betreft de soortensamenstelling, densiteit, biomassa, diversiteit en lengte frequentie (Figuur 5-73). Er werden tot zes keer hogere densiteiten genoteerd in de geulen (Vandendriessche *et al*., 2009). Dit toont aan dat aanpalende geulen diverser en rijker zijn dan de zandbanken zelf. Stalen uit geulen vertoonden wel een grotere onderlinge variatie dan zandbankstalen.

Ook seizoenale verschillen zijn duidelijk aanwezig op de Blighbank: gemiddeld 4 ind./1.000 m² in de lente vs. 24 ind./1.000 m² in de herfst (Tabel 5-58). Op de Blighbank en op het referentiegebied op de Hinderbanken zijn echinodermata (40%) en hermietkreeften (40%) dominant in beide seizoenen, tenminste in de geulen aangezien er op de zandbanken zelf weinig epibenthos voorkwam in 2008 (Figuur 5-73).



Figuur 5-73 Densiteiten van het epibenthos per taxonomische groep voor de Blighbank en zijn referentiegebieden, lente (boven) en herfst (onder) in 2008 (Vandendriessche et al., 2009)

Tabel 5-58 Overzicht van de gemiddelde densiteit van het epibenthos in de lente en herfst per taxonomische groep op de Blighbank in 2008 (Vandendriessche et al., 2009)

	Densteit #/1.000m²	Gemiddelde densiteit per taxonomische groep (#/1.000m²)							
		Anomura	Brachyura	Caridea	Echino-dermata	Bivalvia	Cepha-lopoda	Gastro-poda	Overige
Lente	4	1,3	0,5	0,1	1,4	0,6	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Herfst	24	8,9	2,9	< 0,1	9,9	1,5	0,7	0,1	< 0,1

Verschillen in biomassa zijn grotendeels vergelijkbaar met de verschillen in densiteit. In de herfst is de biomassa gemiddeld 2 keer zo hoog dan in de lente en in de geulen gemiddeld 3 keer zo hoog dan op de zandbanken.

Tabel 5-59 Overzicht van de gemiddelde biomassa van het epibenthos in de lente en herfst per taxonomische groep op de Blighbank in 2008 (Vandendriessche et al., 2009)

	Gem. biomassa gWW/1.000m²	Gemiddelde biomassa per taxonomische groep (gWW/1.000m²)							
		Anomura	Brachy-ura	Caridea	Echino-dermata	Bivalvia	Cepha-lopoda	Gastro-poda	Overige
Lente	22	2,4	2,7	0,2	6,0	9,3	0,8	< 0,1	0,2
Herfst	48	8,6	9,7	< 0,1	16,9	8,3	4,6	0,1	0,1

De aangetoonde seizoenale, interannuele en ruimtelijke variatie was vooral het gevolg van wisselende proporties van een aantal algemene epibenthische soorten zoals de gewone slangster *Ophiura ophiura* (Echinodermata), kleine slangster *Ophiura albida* (Echinodermata), grijze garnaal *Crangon crangon* (Caridea), heremietskreeft *Pagurus bernhardus* (Anomura), gewone zwemkrab *Liocarcinus holsatus* (Brachyura), zeekat *Sepiola atlantica* (Cephalopoda) en dwergpijlinktvis *Alloteuthis subulata* (Cephalopoda) (Vandendriessche *et al.,* 2009).

Uitgaande van de locatie van de 2 laatste windparken ten noordwesten van de Blighbank, kan hier eenzelfde soortensamenstelling verwacht worden als beschreven voor de geulen. Hoewel de geulen over het algemeen rijker zijn (densiteit en diversiteit) dan de toppen van de zandbanken voor het epibenthos, blijven ze toch van minder ecologisch belang in vergelijking met de rijkere kustgebieden (Figuur 5-71).

5.4.2.2.3 Autonome ontwikkeling

Indien er in de projectgebieden geen windparken zouden gebouwd en geëxploiteerd worden, zouden de epibenthosgemeenschappen niet wezenlijk veranderen. De aanwezige dominante soorten zijn vergelijkbaar voor de periode 1996-2005. Langetermijntrends in densiteit en soortenrijkdom tonen wel een algemene stijging in densiteit en soortenrijkdom voor zowel het benthos als de vissen doorheen de tijd.

Andere activiteiten kunnen de autonome ontwikkeling beïnvloeden. De goedgekeurde windparken zouden een effect kunnen hebben op het aquatische milieu als geheel door het aantrekken van andere epibenthische organismen waardoor het gebied soortenrijker wordt en nieuwe gemeenschappen kan herbergen. Voor meer details wordt verwezen naar de onderdelen 'Harde substraten' en 'Cumulatieve effecten'.

Verder kan verwacht worden dat de epibenthosgemeenschap wijzigingen zal ondergaan tengevolge van de klimaatsverandering (wijzigingen in stromingskarakteristieken, chemische eigenschappen van het zeewater, temperatuur, stormfrequenties, etc.). Op dit moment heerst er nog veel onzekerheid over de kwantificering van de invloeden van klimaatsverandering op het mariene milieu, zeker op de schaalgrootte van het BDNZ. Bovendien zijn de effecten geïnduceerd door klimaatsverandering niet altijd te scheiden van effecten tengevolge van andere, menselijke invloeden.

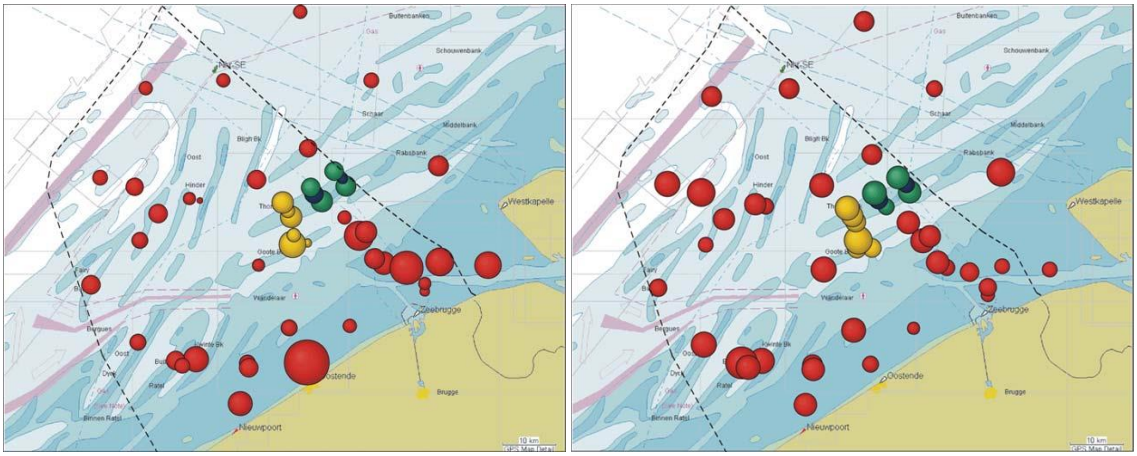
5.4.2.3 Vissen

Het hele BDNZ staat onder sterke fysische en antropogene stress. De losse sedimenten die de deklaag vormen van de zandbanken staan onder de invloed van sterke getijdenstromingen. De organismen die in deze stress leven, zijn aangepast aan de extreme levenscondities.

De belangrijkste vissen in het BDNZ zijn de haringachtigen (Clupeiformes), de kabeljauwachtigen (Gadiformes), de baarsachtigen (Perciformes), de platvissen (Pleuronectiformes) en de schorpioenvisachtigen (Scorpaeniformes).

5.4.2.3.1 Belgische deel van de Noordzee

Uit de studie van De Maersschalk *et al.* (2006) blijkt dat de kustzone rijker is aan demersale vissen dan de verder uit de kust gelegen gebieden (Figuur 5-74). Op het BDNZ werden er 52 dermersale vissoorten waargenomen in 2005, waarvan 38 soorten in het voorjaar en 45 soorten in het najaar. De gemiddelde soortenrijkdom varieerde tussen 9 en 24 soorten per vissleep. Het aantal soorten lag 25% lager in de oostelijke kustzone in vergelijking met de kustzone tussen 5 en 15 km uit de kust. In de offshore gebieden (> 30 km van de kust), de Hinderbanken, lag de soortenrijkdom vrij hoog. In vergelijking met de rest van het BDNZ werden relatief hoge waarden genoteerd voor de soortenrijkdom zowel in de concessiegebieden als in de randzones en de referentiegebieden. Deze zijn opnieuw het best vergelijkbaar met de zones in de typische zandbankcomplexen tussen de 15 en 30 km uit de kust. De gemiddelde soortenrijkdom varieerde er tussen 12 en 20 soorten per vissleep. (De Maersschalck *et al.*, 2006) (Figuur 5-74).



Figuur 5-74 Ruimtelijke verspreiding van de gemiddelde densiteit (links) en de gemiddelde soortenrijkdom (rechts) in 2005 voor de demersale visfauna (blauw: concessiegebieden, groen: randzones, geel: referentiegebieden, rood: andere gebieden). De grootte van de bollen varieert tussen 4 en 184 ind/1.000 m² voor de densiteit en tussen de 9 en 24 soorten per vissleep voor de soortenrijkdom. (De Maersschalck et al., 2006).

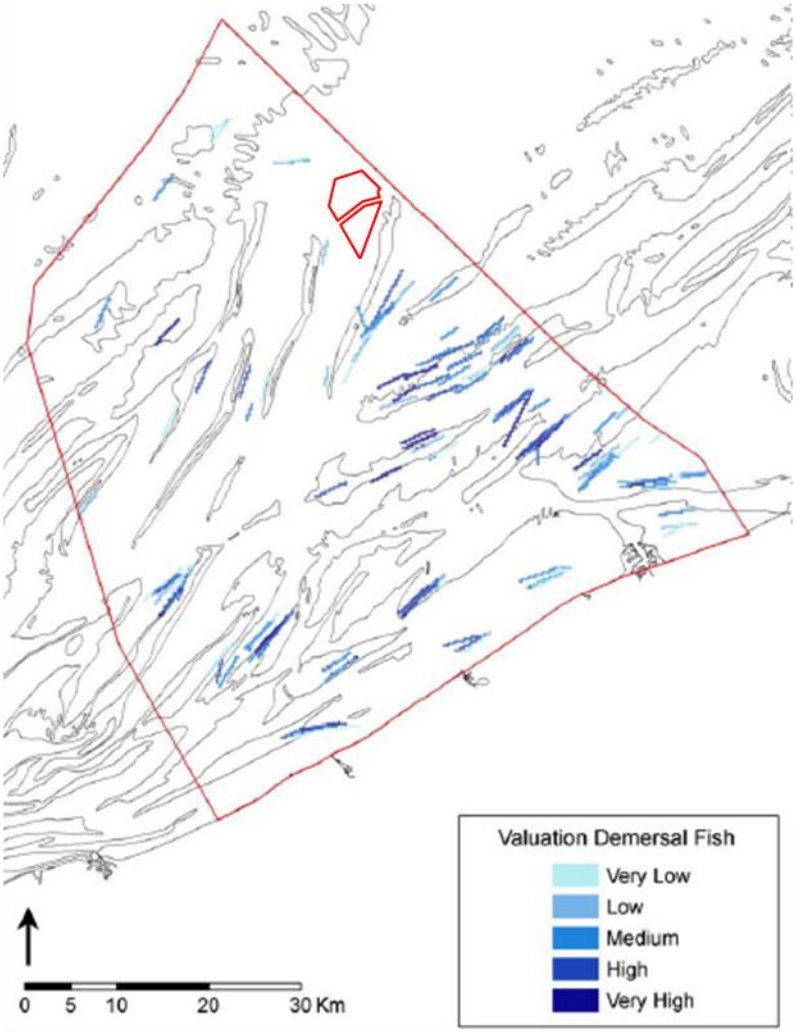
Op basis van recentere data (lente 2004 – lente 2008; 82 staalnamestations; 1 tot 9 campagnes) werden door De Backer *et al.* (2010) in totaal 69 vissoorten waargenomen. De belangrijkste vissoorten op het BDNZ zijn:

- Baarsachtigen (28%);
- Platvissen (27%);
- Grondels (Baarsachtigen) (21%);
- Haringachtigen (9%);
- Kabeljauwachtigen (9%);
- Schorpioenachtigen (6%).

Verder concludeert De Backer *et al.* (2010) nog het volgende:

- De densiteit en soortenrijkdom in de stalen genomen gedurende de lente zijn het grootst in de geulen (gemiddeld 29 ind./1.000 m²).
- In de herfst worden de hoogste densiteiten en soortenrijkdom vastgesteld in de kustzone (gemiddeld 68 ind./1.000 m²) en de Vlakte van de Raan (gemiddeld 96 ind./1.000 m²). De laagste waarden worden vastgesteld t.h.v. de Thorntonbank en Goote Bank (gemiddeld 33 ind./1.000 m²) en de offshore zone (gemiddeld 37 ind./1.000 m²).
- Wat betreft soortenrijkdom is er een algemene stijging vanaf de kust verder offshore, waarbij de hoogste waarde wordt vastgesteld ter hoogte van de Vlaamse Banken (gemiddeld 19 soorten).
- Wat de soortensamenstelling betreft, worden er grote verschillen waargenomen tussen de kust- en offshore stations en de lente- en herfststalen. Tijdens de lente worden er in de kustzone vooral hoge concentraties aan grondels en haringachtigen waargenomen; in de offshore stations domineren de baarsachtigen. De groep van de platvissen is in alle zones goed vertegenwoordigd.

De biologische waarderingskaart voor de demersale visfauna wordt weergegeven in Figuur 5-75 (Derous *et al.*, 2007). Ook hier is het aantal gegevens beperkt waardoor men geen volledig beeld van het BDNZ krijgt.



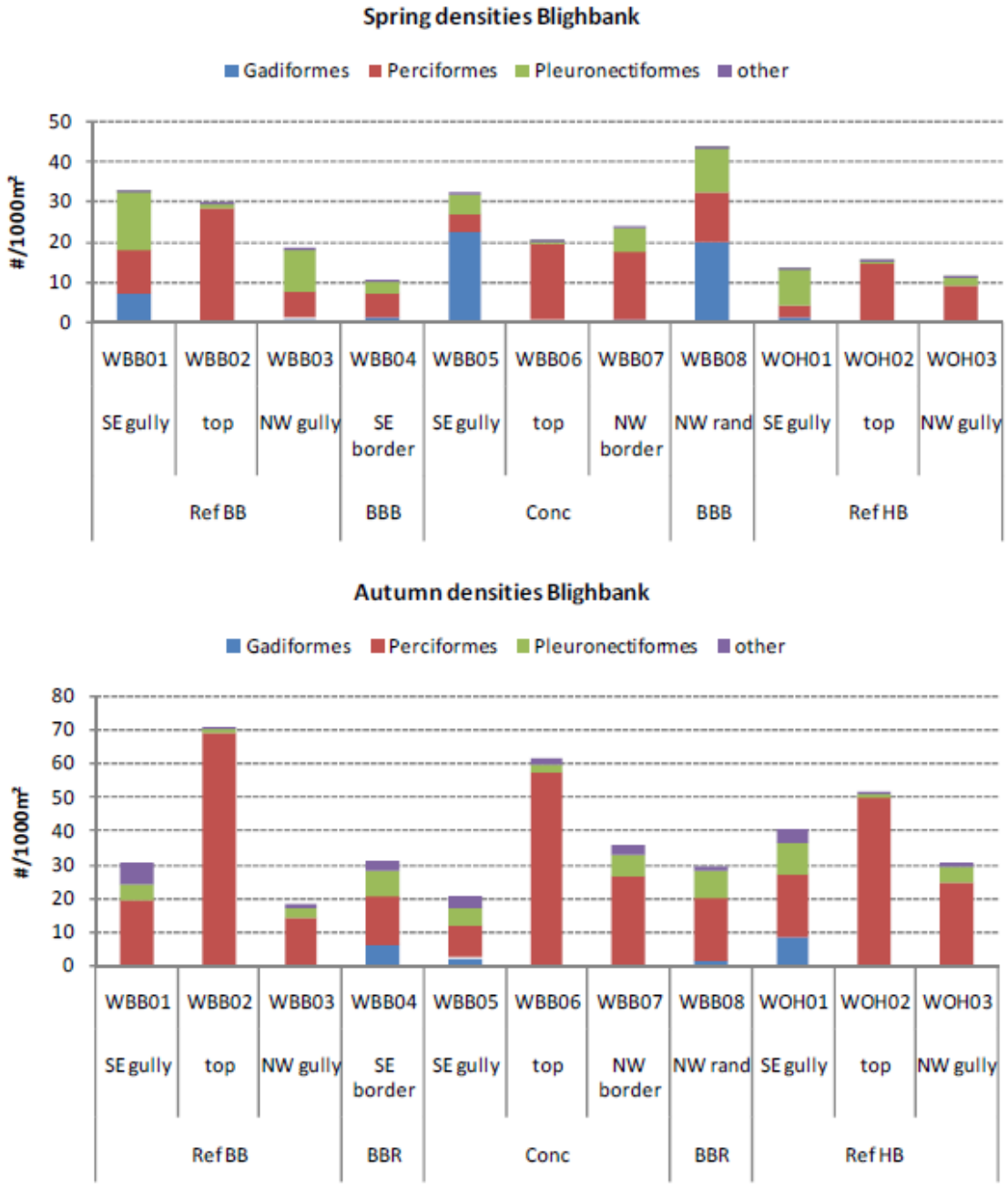
Figuur 5-75 Biologische waarderingskaart voor de demersale visfauna (Derous et al., 2007). De locaties van Mermaid en Northwester 2 zijn rood omlijnd.

5.4.2.3.2 Het projectgebied

De baseline studie uitgevoerd op de Blighbank in 2008 toont aan dat de variaties in biotische variabelen (densititeit, diversiteit, biomassa, lengte frequentie) betreffende demersale vissen vooral toe te schrijven zijn aan seizoenale en ruimtelijke (geulen versus banken) verschillen. Visdensiteiten waren algemeen hoger (> 200%) in de herfst dan in de lente (Figuur 5-76). De aantallen van nabijgelegen zones lagen in dezelfde grootteorde in beide seizoenen. In totaal werden in de regio van de Blighbank 30 demersale vissen gevonden in de herfst, ten opzichte van 27 soorten in de lente (Vandendriessche et al.,2009).

Ook waren de verschillen tussen geulen en banken van groot belang en werden hogere densiteiten aangetroffen op de banken in de herfst (vooral door abundantie van kleine pieterman) en vergelijkbare densiteiten tussen geulen en banken in de lente (Figuur 5-76). Baarsachtigen waren dominant op de top van de zandbank in beide seizoenen (> 90% van de

totale densiteit per station), terwijl in de geulen zowel baarsachtigen als platvissen het vaakst werden geobserveerd. De belangrijkste soort op de Blighbank tijdens de lente waren de kleine pieterman (*Echiichtys vipera*) voor de baarsachtigen, wijting (*Merlangius merlangus*) voor de kabeljauwachtigen en schar (*Limanda limanda*), dwergtong (*Buglossidium luteum*) en schol (*Pleuronectes platessa*) voor de platvissen.



Figuur 5-76 Densiteiten van demersale vissen per taxonomische groep op de Blighbank en op de referentiezones, tijdens de lente (boven) en herfst (onder) van 2008 (Vandendriessche et al.,2009)

In sommige aspecten (vnl. densiteit) blijven deze zandbanken in vergelijking met de rijkere kustgebieden (Figuur 5-74) toch van minder ecologisch belang.

5.4.2.3.3 Autonome ontwikkeling

Indien er in de projectgebieden geen windparken zouden gebouwd en geëxploiteerd worden, zou de visfauna niet wezenlijk veranderen. Langetermijntrends in densiteit en soortenrijkdom tonen wel een algemene stijging in zowel densiteit als soortenrijkdom doorheen de tijd.

Andere activiteiten kunnen de autonome ontwikkeling beïnvloeden. De goedgekeurde windparken zouden een effect kunnen hebben op het aquatische milieu als geheel doordat ze een aantrekking zouden kunnen uitoefen op (jonge) vissen waardoor het gebied soortenrijker wordt en nieuwe gemeenschappen herbergt. Voor meer details wordt verwezen naar het hoofdstuk 'Cumulatieve effecten'.

Ook mogelijke veranderingen in de traditionele visserijsector bijvoorbeeld met betrekking tot bevissingsmethodes, intensiteit of locatie van het vissen, zouden een invloed kunnen hebben op de samenstelling van de benthische levensgemeenschap en bestaande visfauna in het projectgebied. Momenteel zijn daar nog geen wetenschappelijke studies over beschikbaar.

5.4.2.4 Vogels en vleermuizen

5.4.2.4.1 Het Belgisch Deel van de Noordzee

Ondanks de kleine oppervlakte is het BDNZ van internationaal belang voor een groot aantal zeevogels. Ze doet dienst als overwinteringsgebied, trekgebied of als foerageergebied tijdens het broedseizoen. Tijdens de lente en herfst wordt geschat dat er jaarlijks maar liefst 1 tot 1,3 miljoen zeevogels migreren doorheen de zuidelijke Noordzee (Stienen *et al.*, 2007).

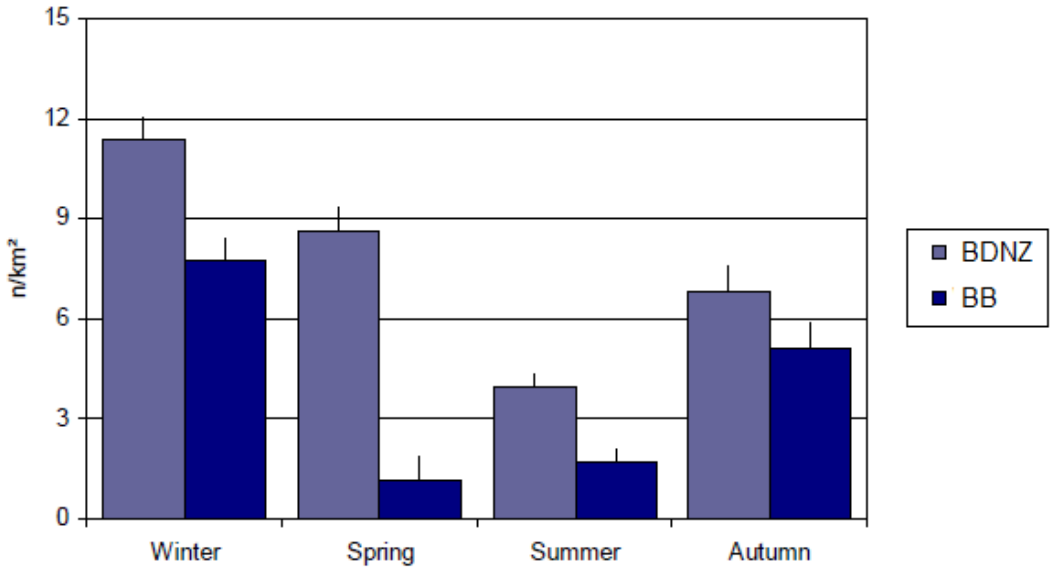
Op het BDNZ worden de hoogste dichtheden aan zeevogels bereikt in de winter (gemiddelde dichtheid van ca. 11,5 vogels/km²) (Vanermen & Stienen, 2009). In de lente en herfst is de gemiddelde dichtheid iets lager, maar ook dan worden nog steeds dichtheden van meer dan 7 vogels/km² vastgesteld. Tijdens de zomer worden relatief weinig vogels gezien op het BDNZ (gemiddelde dichtheid van 4 vogels/km²) (Vanermen & Stienen, 2009). Maximale dichtheden kunnen veel hoger liggen en oplopen tot meer dan 700 vogels/km². Dergelijke hoge cijfers zijn wel meestal gekoppeld aan bijvoorbeeld de aantrekkende werking van vissersschepen, waar achter soms grote concentraties aan vogels worden waargenomen.

Alle vleermuissoorten die voorkomen in Europa zijn strikt beschermd in de EU onder bijlage IV van de Habitatrichtlijn (92/43/EEG). Dit betekent dat ze niet opzettelijk verstoord mogen worden tijdens de overwintering, voortplanting en trek (artikel 12). Op land is de voorbije jaren gebleken dat windturbines een bedreiging vormen voor vleermuizen (Durr & Bach 2004, Arnett *et al.* 2008, Baerwald & Barclay 2009, Rydel *et al*. 2010). Vleermuizen blijken zich ook op zee te begeven. Voor het BDNZ zijn er weinig waarnemingen bekend, maar op offshore-platforms in het Nederlands deel van de Noordzee worden regelmatig vleermuizen gesignaleerd (Boshamer & Bekker, 2008). Het betreft ruige dwergvleermuizen *(Pipistrellus nathusii)* maar ook rosse vleermuizen (*Nyctalus noctula*), een laatvlieger (*Eptesicus serotinus*), twee voor Nederlands grondgebied zeer bijzondere noordse vleermuizen (*Eptesicus nilssonii*) en tweekleurige vleermuizen (*Vespertilio murinus*). De meeste vleermuizen werden aangetroffen in de herfst, en in mindere mate de lente. Het gaat dus om trekkende soorten die, net als veel vogels, in lente en herfst migreren naar andere oorden. Ook in de Nederlandse windparken Egmond aan Zee en Prinses Amalia werden vleermuizen aangetroffen, voornamelijk de ruige vleermuis (Jonge Poerink *et al.,* 2013). Genetisch onderzoek bij populaties van de ruige vleermuis in Groot-Brittannië en het Europees vasteland heeft ook aantoond dat deze vleermuizen het Kanaal oversteken (Lagerveld *et al*., 2013).

Hoewel er nog meer onderzoek dient te gebeuren naar het voorkomen van vleermuizen op zee, kan men er wel vanuit gaan dat vleermuizen ook sporadisch voorkomen in het BDNZ.

5.4.2.4.2 Het projectgebied

Vanaf 2008 werd de Blighbank intensief gemonitord (Figuur 5-64). Resultaten van Vanermen & Stienen (2009) toonden aan dat de gemiddelde vogeldensiteiten op de Blighbank nooit hoger lagen dan het gemiddelde van het BDNZ (Figuur 5-77). Tijdens de lente en zomer zijn de densiteiten erg laag op de Blighbank, terwijl in de herfst en wintermaanden densiteiten voorkomen van respectievelijk 5 en 8 vogels per km². De resultaten van deze tellingen tonen dat dit zeegebied van relatief gering ornithologisch belang is.

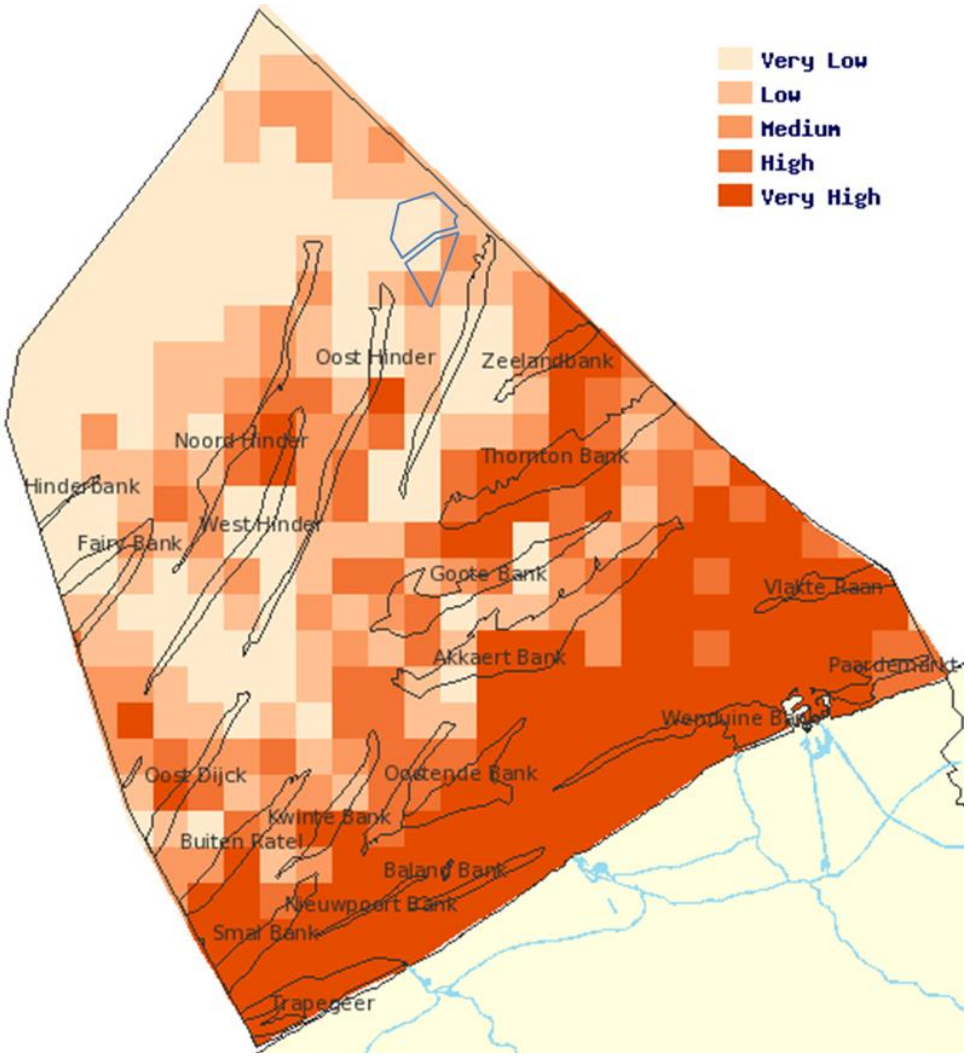


Figuur 5-77 Vogeldensiteiten (n/km²) op de Blighbank (BB) in vergelijk met het BDNZ ijdens de winter, lente, zomer en herfst (Vanermen & Stienen, 2009)

Tabel 5-60 vergelijkt de gemiddelde densiteiten van enkele vogelsoorten op de Blighbank met de gemiddelde densiteiten op het BDNZ. Doordat de Blighbank op ruime afstand van de kust is gelegen, komen er in dit gebied zo goed als geen roodkeelduikers (*Gavia stellata*), futen (*Podiceps cristatus*), zwarte zee-eenden (*Melanitta nigra*) en sternen (*Thalasseus sandvicensis* en *Sterna hirundo*) voor. Zes soorten komen wel in relatief hoge densiteiten voor, namelijk noordse stormvogel (*Fulmarus glacialis*), grote jager (*Stercorarius skua*), dwergmeeuw (*Hydrocoloeus minutus*), kleine mantelmeeuw (*Larus fuscus*), drieteenmeeuw (*Rissa tridactyla*) en zeekoet (*Uria aalge*). Volgens Vanermen & Stienen (2009) zijn voor de Blighbank enkel de dwergmeeuw en de grote jager van belang. Bijgevolg heeft het projectgebied van Mermaid dan ook een zeer lage waarde op de biologische waarderingskaart van Derous *et al.* (2007), en het projectgebied van Northwester 2 een zeer lage tot middelmatige biologische waarde (Figuur 5-78).

*Tabel 5-60 Vergelijking van de seizoenale verdeling (aantal vogels/km²) van zeevogels op de Blighbank (BB) t.o.v. het BDNZ in de winter, lente, zomer en herfst. *: Bijlage I soorten van de Vogelrichtlijn (Vanermen & Stienen, 2009)*

	Winter		Lente		Zomer		Herfst	
	BB	BDNZ	BB	BDNZ	BB	BDNZ	BB	BDNZ
Aantal gridcellen	27	778	17	676	25	642	29	736
Roodkeelduiker	0,02	0,23	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04
Fuut	0,00	0,46	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05
Noordse stormvogel	0,31	0,43	0,10	0,25	0,15	0,14	0,02	0,51
Jan-van-gent	0,67	0,42	0,08	0,27	0,14	0,13	0,98	1,02
Zwarte zee-eend	0,00	0,53	0,00	0,78	0,00	0,04	0,00	0,08
Grote jager	0,10	0,01	0,00	0,01	0,05	0,03	0,04	0,05
Dwergmeeuw*	0,00	0,17	0,38	0,70	0,00	0,03	0,00	0,25
Stormmeeuw	0,32	1,24	0,02	0,53	0,00	0,01	0,01	0,26
Kleine mantelmeeuw	0,23	0,27	0,40	3,00	1,29	1,89	0,13	0,95
Zilvermeeuw	0,13	0,63	0,00	0,98	0,00	0,56	0,00	0,51
Grote mantelmeeuw	0,34	1,12	0,00	0,15	0,00	0,05	0,56	0,70
Drieteenmeeuw	2,31	1,87	0,00	0,38	0,05	0,04	2,99	1,22
Grote stern*	0,00	0,00	0,00	0,15	0,01	0,23	0,00	0,01
Visdief*	0,00	0,00	0,00	0,26	0,02	0,64	0,00	0,02
Zeekoet	3,10	3,26	0,14	0,88	0,00	0,01	0,34	0,80
Alk	0,30	0,67	0,00	0,13	0,00	0,00	0,04	0,20

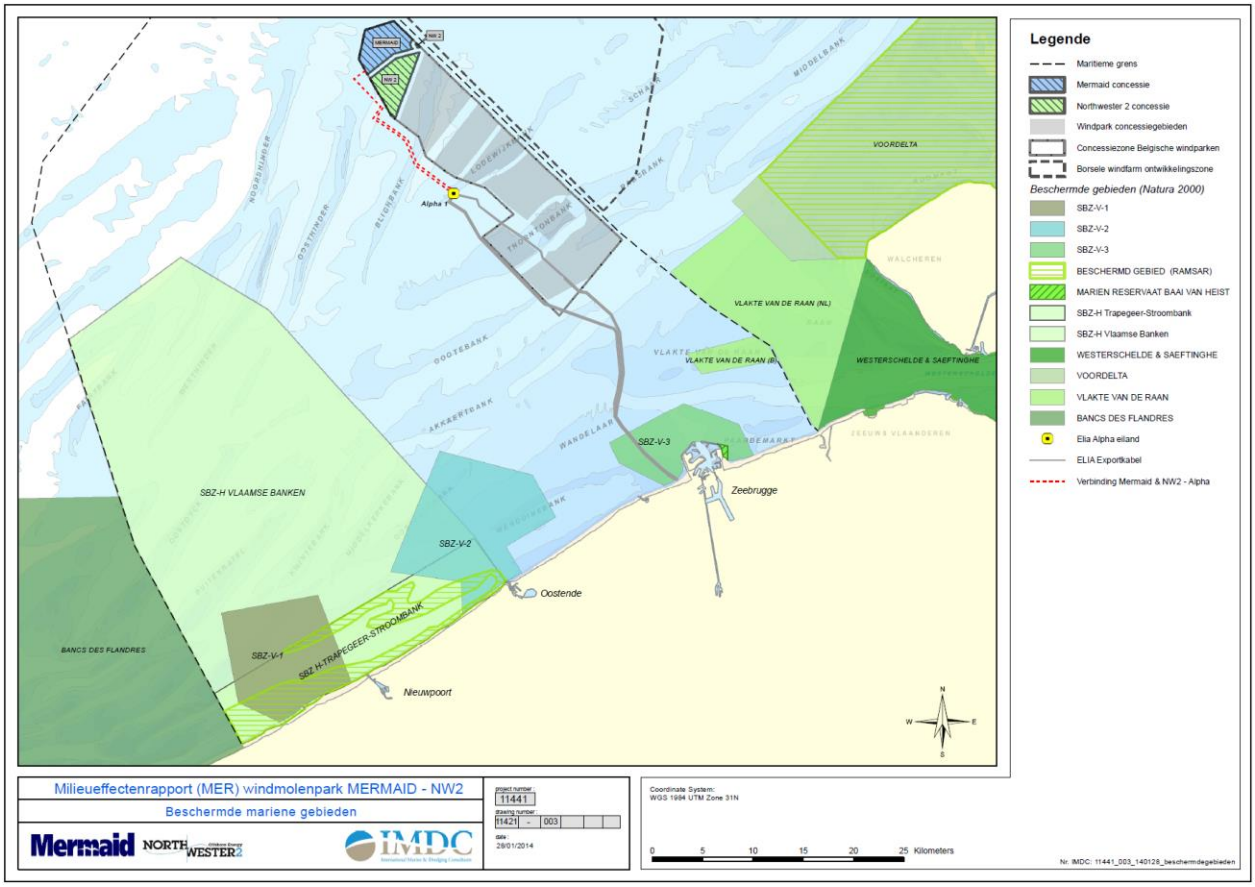


Figuur 5-78 Biologische waarderingskaart voor de vogels (Derous et al., 2007.) De locaties van Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) zijn blauw omlijnd.

5.4.2.4.3 Beschermde soorten

Daarnaast is het BDNZ ook van belang voor enkele minder algemene en Europees beschermde zeevogels zoals de dwergmeeuw, grote stern en visdief. Deze drie soorten staan namelijk op Bijlage I van de Europese Vogelrichtlijn en kregen 3 speciale beschermingszones: (SBZ-V) in het BDNZ (Figuur 5-19):

- SBZ-V1- Nieuwpoort (grote stern en fuut (*Podiceps cristatus*)),
- SBZ-V2- Oostende (grote stern, fuut, visdief, dwergmeeuw)
- SBZ-V3- Zeebrugge (grote stern, visdief, dwergmeeuw). De drie Europees beschermde soorten worden hierna meer in detail beschreven op basis van gegevens van Vanermen & Stienen (2009).



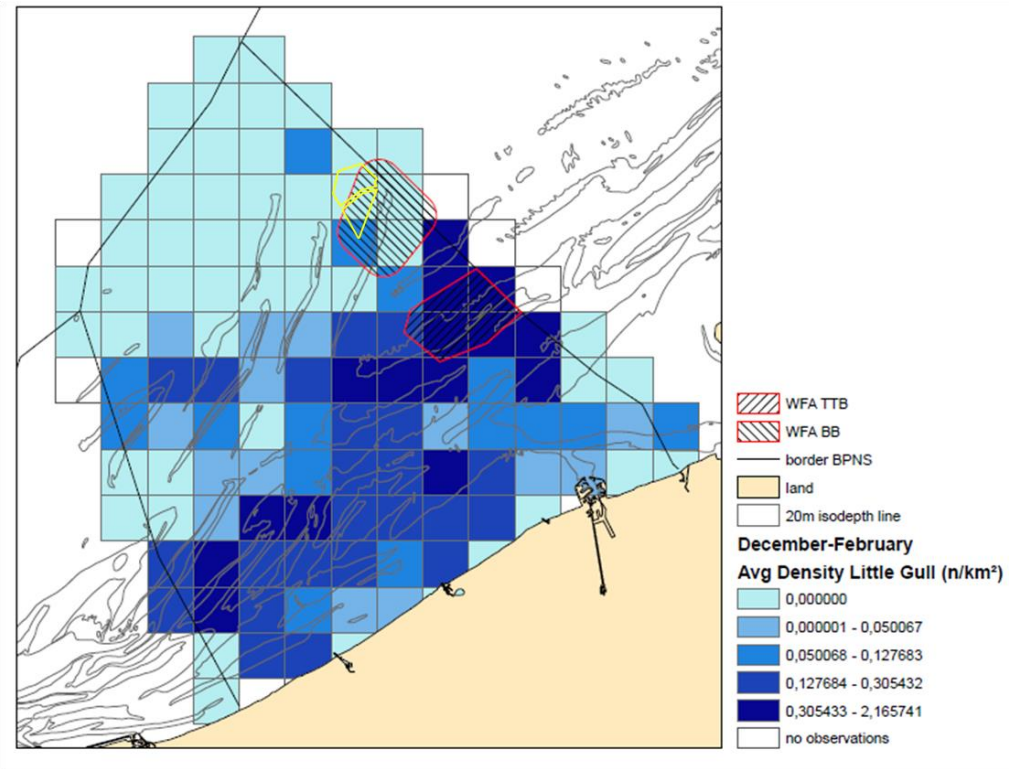
Figuur 5-79 Overzicht van o.a. de 3 speciale beschermingszones voor vogels (SBZ-V) in het BDNZ

Dwergmeeuw

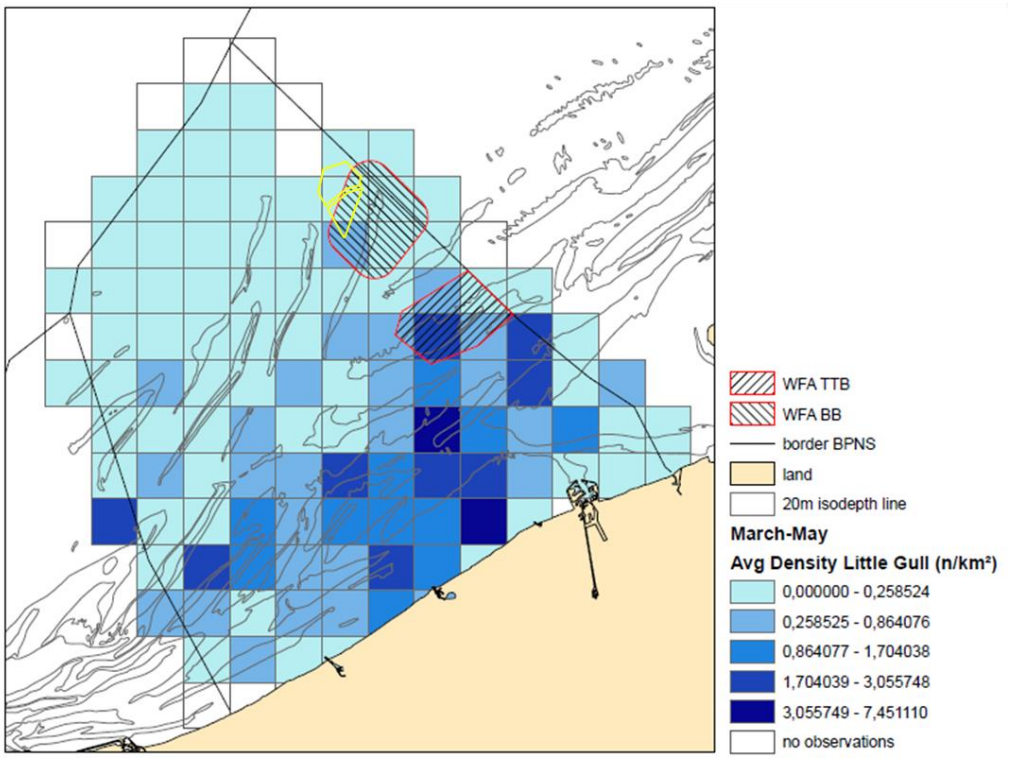
(Annex I van de Vogelrichtlijn, Appendix II van de Bern Conventie).

Onderstaande figuren geven de verspreiding van deze soort in het BDNZ weer tijdens de winter, lente en herfst (Figuur 5-80 t.e.m. Figuur 5-82).

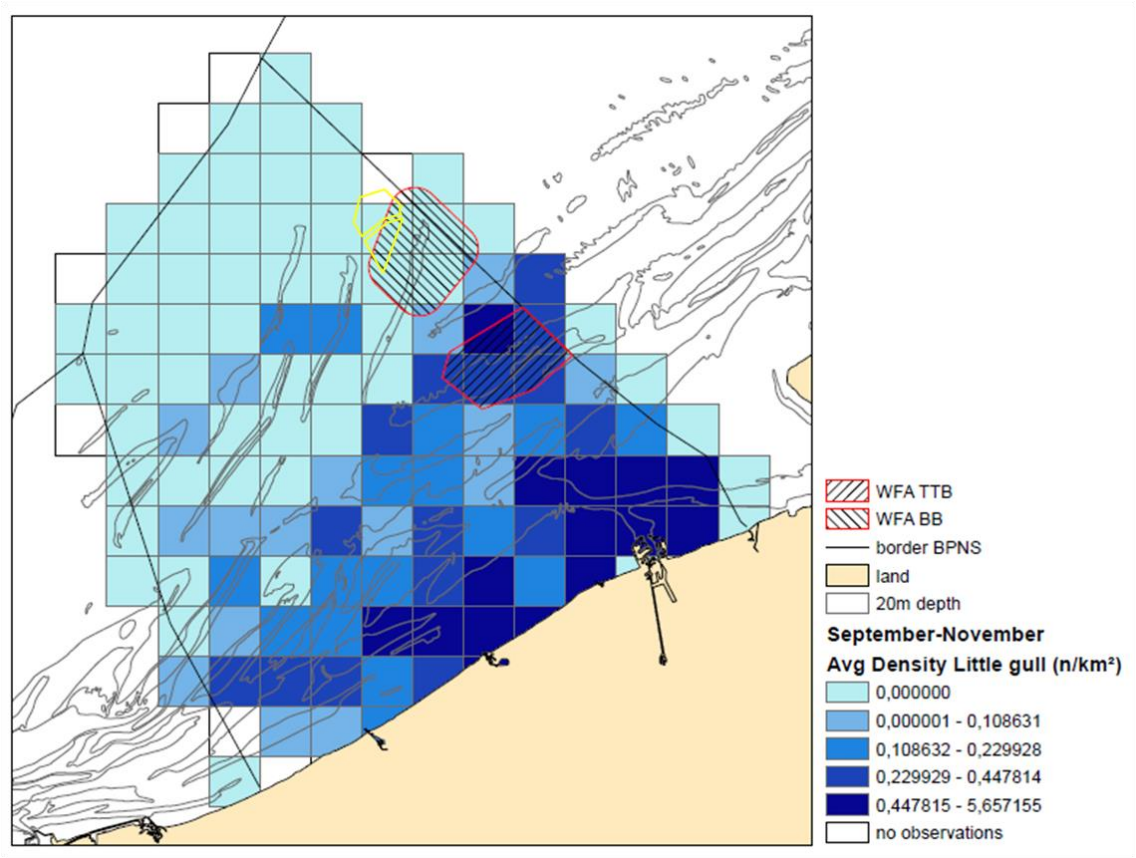
In het projectgebied van Mermaid komt de dwergmeeuw tijdens de winter, lente en herfst zo goed als niet voor. Tijdens de herfst en lente komt hij wel in hogere aantallen voor in het projectgebied van Northwester 2. Tijdens de herfst wordt de dwergmeeuw vooral waargenomen ter hoogte van de haven van Zeebrugge en Oostende.



Figuur 5-80 Winter distributie van de dwergmeeuw op het BDNZ (aantal per km²) (WFA TTB: wind farm area Thorntonbank, WFA BB: wind farm area Blighbank) (Vanermen & Stienen, 2009). De projectgebieden van Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) zijn geel omlijnd.



Figuur 5-81 Lente distributie van de dwergmeeuw op het BDNZ (aantal per km²) (WFA TTB: wind farm area Thorntonbank, WFA BB: wind farm area Blighbank) (Vanermen & Stienen, 2009). De projectgebieden van Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) zijn geel omlijnd.

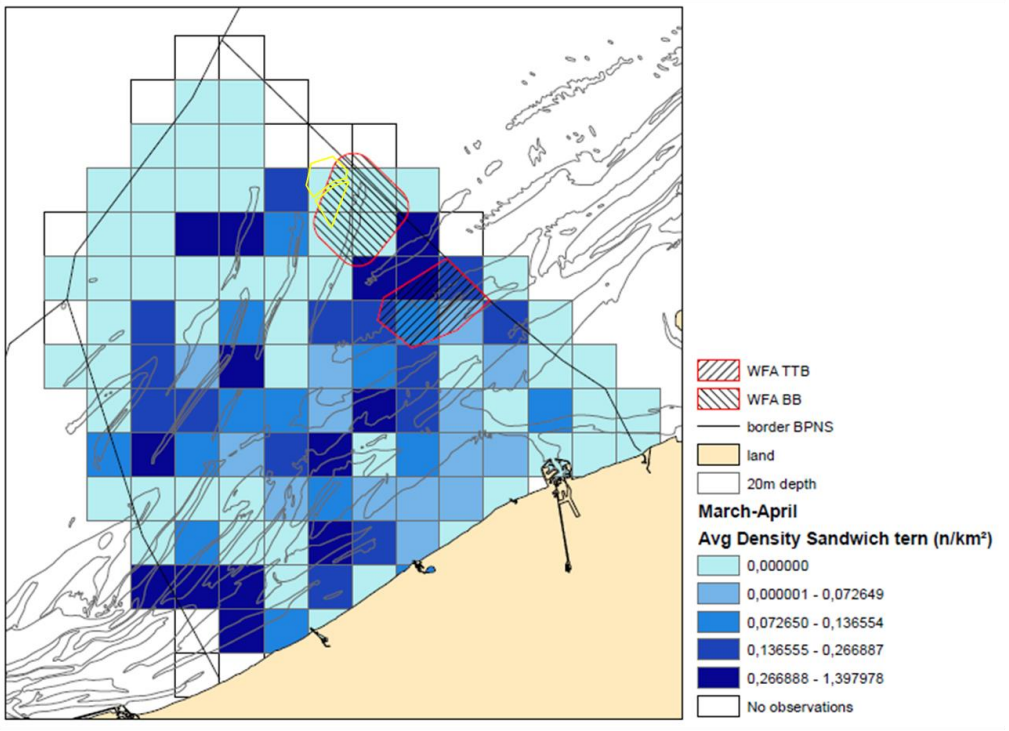


Figuur 5-82 Herfst distributie van de dwergmeeuw op het BDNZ (aantal per km²) (WFA TTB: wind farm area Thorntonbank, WFA BB: wind farm area Blighbank) (Vanermen & Stienen, 2009). De projectgebieden van Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) zijn geel omlijnd.

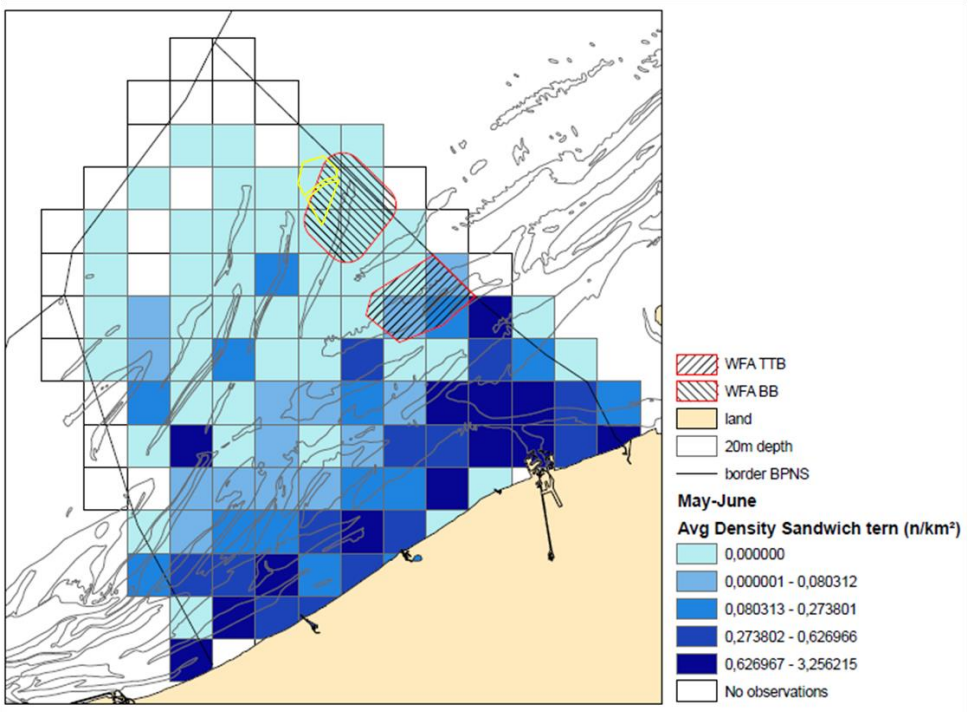
Grote stern

(Annex I van de Vogelrichtlijn, Appendix II van de Bonn Conventie, Appendix II van de Bern Conventie).

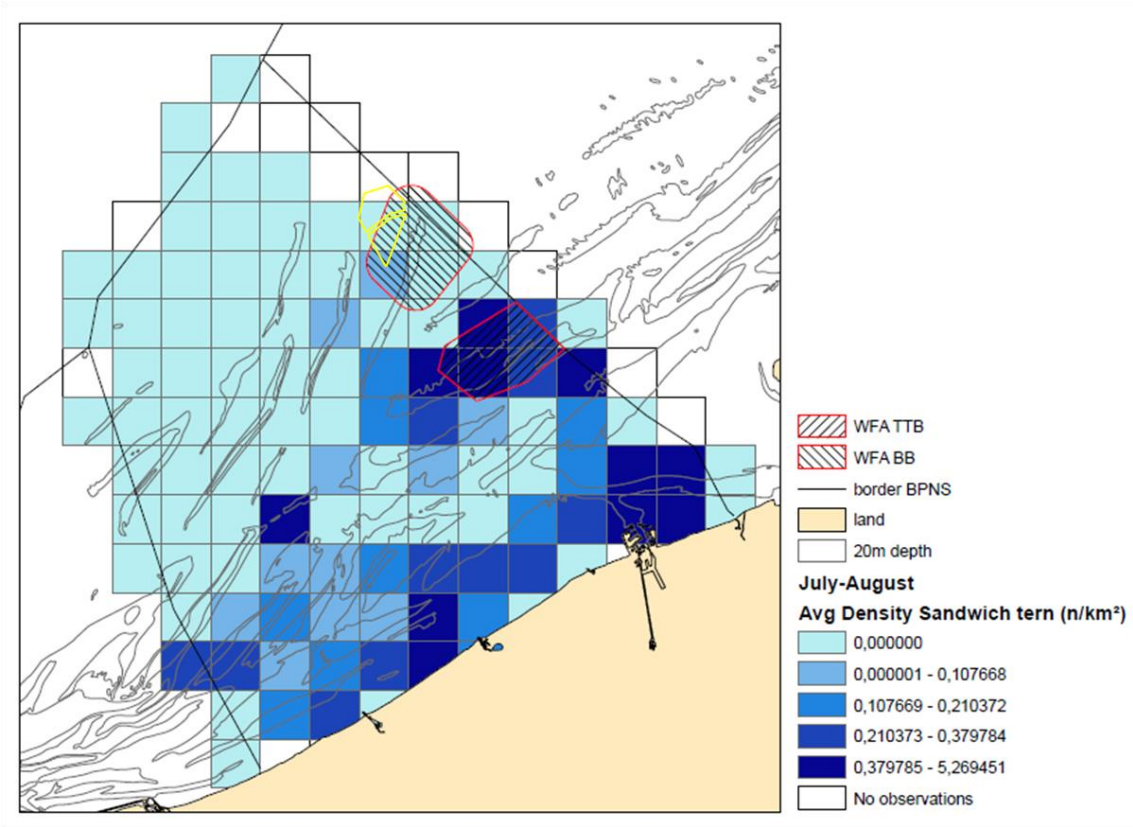
In de lenteperiode treedt, verspreid over heel het BDNZ, een migratie van grote sternen op (Figuur 5-83). Tijdens het broedseizoen komen de grootste dichtheden voor nabij de kust, met een duidelijke concentratie binnen een straal van 15 km rond de broedkolonie op het sternenschiereiland te Zeebrugge (Figuur 5-84). Gedurende de zomerperiode komen er voornamelijk ter hoogte van de havens van Zeebrugge en Oostende en ter hoogte van de Thorntonbank hoge concentraties grote sternen voor (Figuur 5-85). In de projectgebieden van Mermaid en Northwester 2 komt deze soort zo goed als niet voor.



Figuur 5-83 Lente distributie van de grote stern op het BDNZ (aantal per km²) (WFA TTB: wind farm area Thorntonbank, WFA BB: wind farm area Blighbank) (Vanermen & Stienen, 2009). De projectgebieden van Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) zijn geel omlijnd.



Figuur 5-84 Distributie van de grote stern op het BDNZ tijdens het broedseizoen (aantal per km²) (WFA TTB: wind farm area Thorntonbank, WFA BB: wind farm area Blighbank) (Vanermen & Stienen, 2009). De projectgebieden van Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) zijn geel omlijnd.

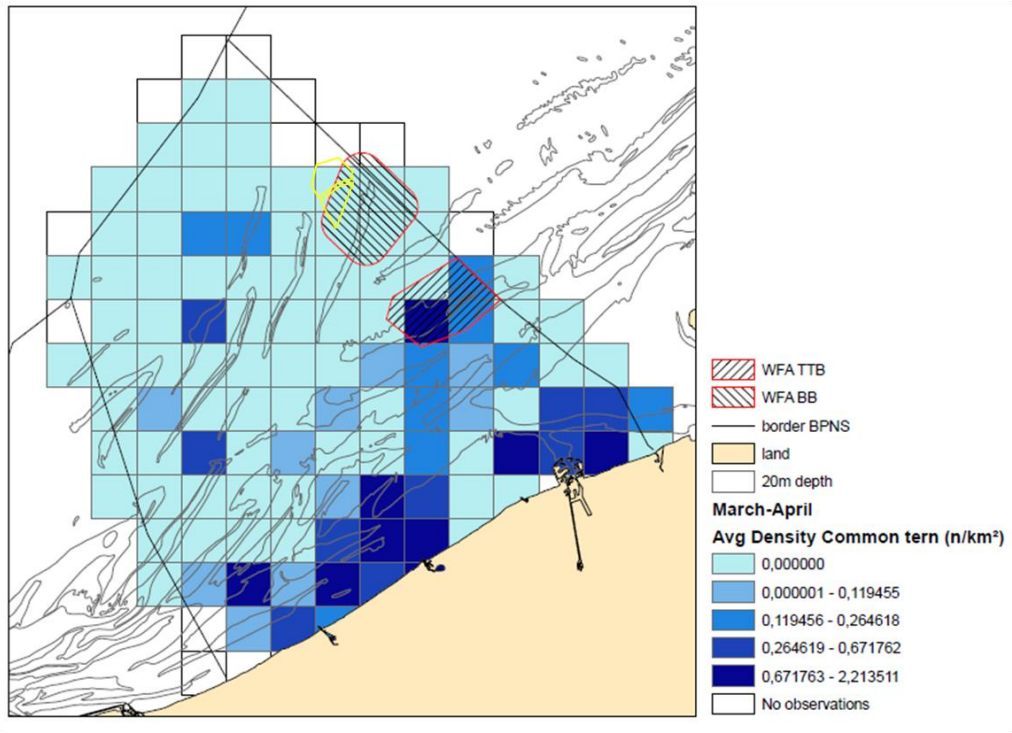


Figuur 5-85 Zomer distributie van de grote stern op het BDNZ (aantal per km²) (WFA TTB: wind farm area Thorntonbank, WFA BB: wind farm area Blighbank) (Vanermen & Stienen, 2009). De projectgebieden van Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) zijn geel omlijnd.

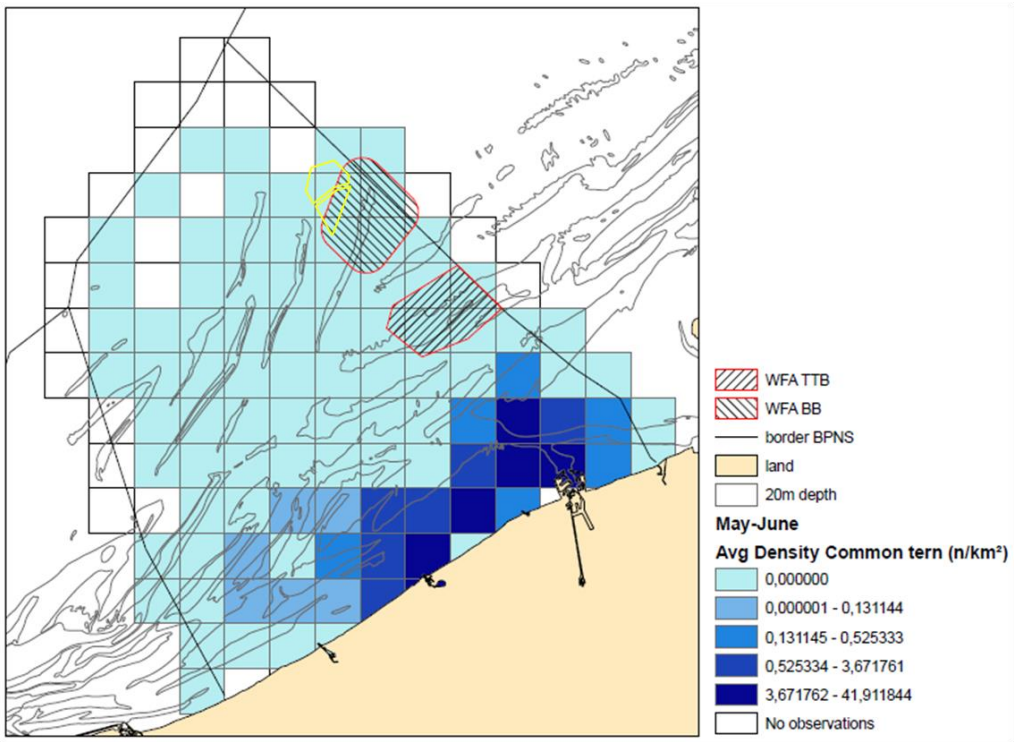
Visdief

(Annex I van de Vogelrichtlijn, Appendix II van de Bonn Conventie, Appendix II van de Bern Conventie).

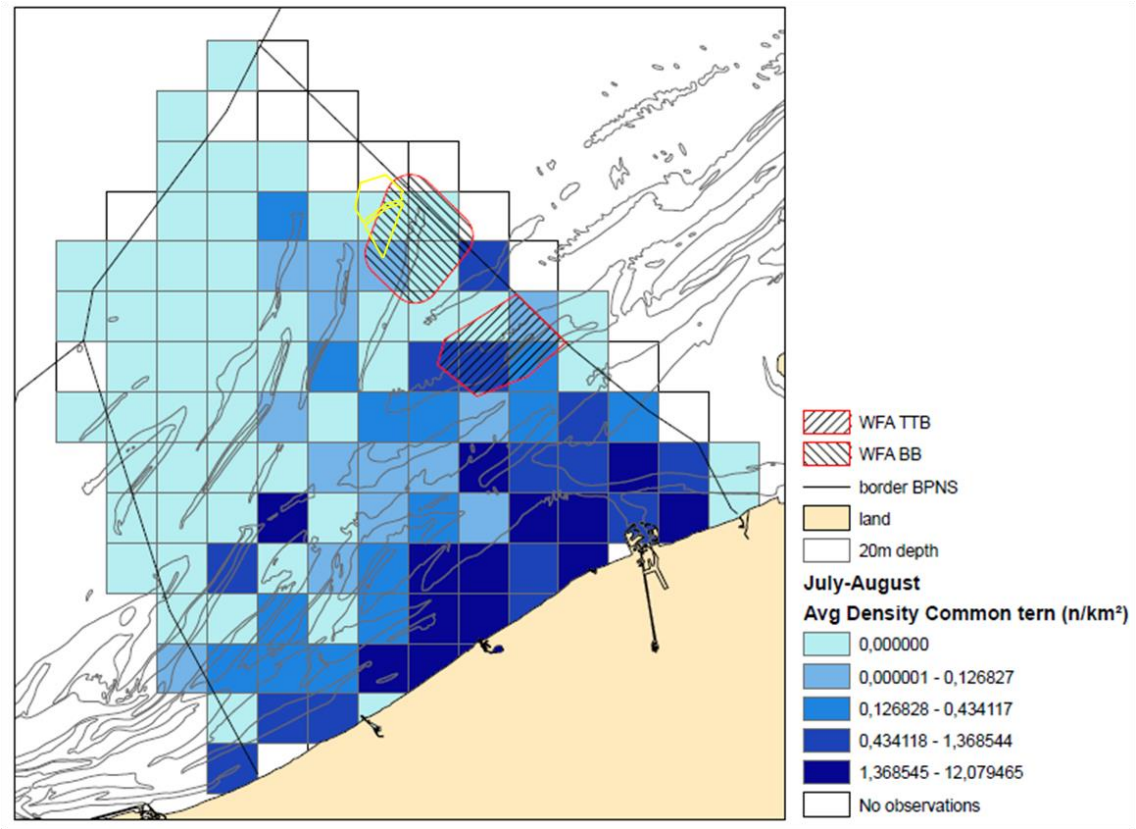
In de vroege lente komt de visdief verspreid over het BDNZ voor, met hoge densiteiten ter hoogte van de haven van Zeebrugge en Oostende (Figuur 5-86). Tijdens het broedseizoen komen visdieven vooral in de kustzone voor en meer specifiek ter hoogte van de broedkolonie op het sternenschiereiland te Zeebrugge (Figuur 5-87). Tegen het eind van de zomer, bij aanvang van de zuidelijke migratie, komen ze wel opnieuw voor op de Lodewijkbank en in beperkte mate op de Blighbank (Figuur 5-88).



Figuur 5-86 Lente distributie van de visdief op het BDNZ (aantal per km²) (WFA TTB: wind farm area Thorntonbank, WFA BB: wind farm area Blighbank) (Vanermen & Stienen, 2009). De projectgebieden van Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) zijn geel omlijnd.



Figuur 5-87 Distributie van de visdief op het BDNZ tijdens het broedseizoen (aantal per km²) (WFA TTB: wind farm area Thorntonbank, WFA BB: wind farm area Blighbank) (Vanermen & Stienen, 2009). De projectgebieden van Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) zijn geel omlijnd.



Figuur 5-88 Zomer distributie van de visdief op het BDNZ (aantal per km²) (WFA TTB: wind farm area Thorntonbank, WFA BB: wind farm area Blighbank) (Vanermen & Stienen, 2009). De projectgebieden van Mermaid (N) en Northwester 2 (Z) zijn geel omlijnd.

5.4.2.4.4 Autonome ontwikkeling

Bij het niet installeren van de Mermaid en Northwester 2 windparken mag verondersteld worden dat de waarde voor vogels van de site nagenoeg hetzelfde zal blijven. De aanwezigheid van de naburige windparken kan de autonome ontwikkeling beïnvloeden. Ook de constructie van het Alpha-eiland voor het Belgian Offshore Grid (BOG) van Elia zal een grote impact hebben voor vogels. Een eiland creëert immers een rustplaats en oefent een enorme aantrekking uit op vogels. Voor meer details wordt verwezen naar het hoofdstuk 'Cumulatieve effecten'.

Veranderingen in de verspreiding van zeevogels als gevolg van de opwarming van de aarde zullen niet op korte termijn meetbaar zijn en zullen dan ook niet interfereren met een toekomstige monitoring van zeevogels in het projectgebied (Stienen *et al.,* 2002).

5.4.2.5 Zeezoogdieren

5.4.2.5.1 Referentiesituatie

De zoogdiersoorten die in de Belgische wateren als inheems beschouwd worden, zijn de bruinvis (*Phocoena phocoena*), de gewone zeehond (*Phoca vitulina*), de grijze zeehond (*Halichoerus grypus*), de tuimelaar (*Tursiops truncatus*) en de witsnuitdolfijn (*Lagenorhynchus albirostris*) (Haelters, 2009; 2010).

Courtens *et al.*, (2006) stellen in hun studie vast dat zeezoogdieren tot en met 2003 slechts sporadisch werden waargenomen tijdens zeevogeltellingen in de Belgische mariene wateren. Hierbij ging het hoofdzakelijk om zeehonden (zowel gewone zeehond als grijze zeehond) en bruinvissen. Sinds het voorjaar van 2003 worden in toenemende mate zeezoogdieren gemeld, waarbij vooral het grote aantal bruinvissen en witsnuitdolfijnen in het oog springen. Dit kadert in een algemene trend die ook in de andere landen rond de zuidelijke Noordzee werd vastgesteld. De oorzaak voor dit verschijnsel dient mogelijk gezocht te worden in de sterk afgenomen voedselbeschikbaarheid in het noordelijkere verspreidingsgebied van deze soorten, hoewel andere oorzaken niet kunnen worden uitgesloten (Courtens *et al.*, 2006; Depestele *et al.*, 2008; Haelters & Camphuysen, 2009).

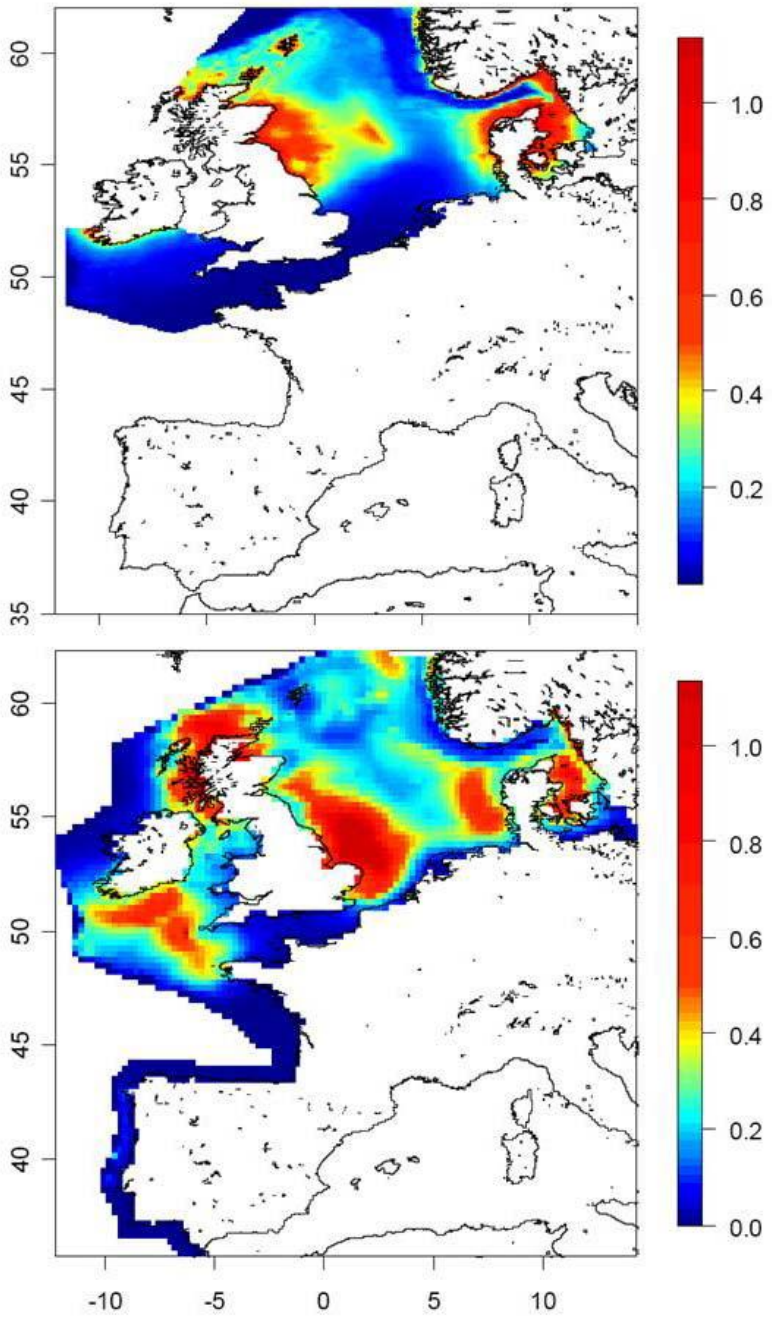
Alle zeezoogdieren zijn beschermde soorten. België heeft voor de zeezoogdieren verplichtingen op zich genomen om ze te beschermen en om negatieve impacten zoveel mogelijk te vermijden. Walvisachtigen en zeehonden zijn namelijk soorten die opgenomen zijn in de Europese Habitatrichtlijn Bijlage II en IV. Dit betekent dat ze niet opzettelijk verstoord mogen worden tijdens de overwintering, voortplanting en trek (artikel 12). Het toestaan of aanvaarden van activiteiten die mogelijk de dood van beschermde soorten tot gevolg heeft, kan beschouwd worden als een inbreuk op artikel 12 van deze richtlijn. Verder heeft België ook in het kader van ASCOBANS (Overeenkomst inzake de bescherming van de kleine walvisachtigen in de Oostzee en de Noordzee) aanvaard dat de partijen zouden streven naar het vermijden van significante verstoring, in het bijzonder van akoestische aard (Conservation and Management Plan in de Bijlage van de Overeenkomst) (BMM, 2007).

De bruinvis, tuimelaar, witsnuitdolfijn, gewone en grijze zeehond worden verder in detail bestudeerd in de volgende paragrafen.

Bruinvis

Het voorkomen van de bruinvis, zowel ruimtelijk als in de tijd, is moeilijk te voorspellen, gezien het een zeer mobiele soort is, waarvan de verspreiding afhangt van tal van factoren die niet alleen door beheer in beschermde gebieden kunnen beïnvloed worden (bvb. klimaatsveranderingen, met effecten op de voedselketen) (Degraer *et al.*, 2010a).

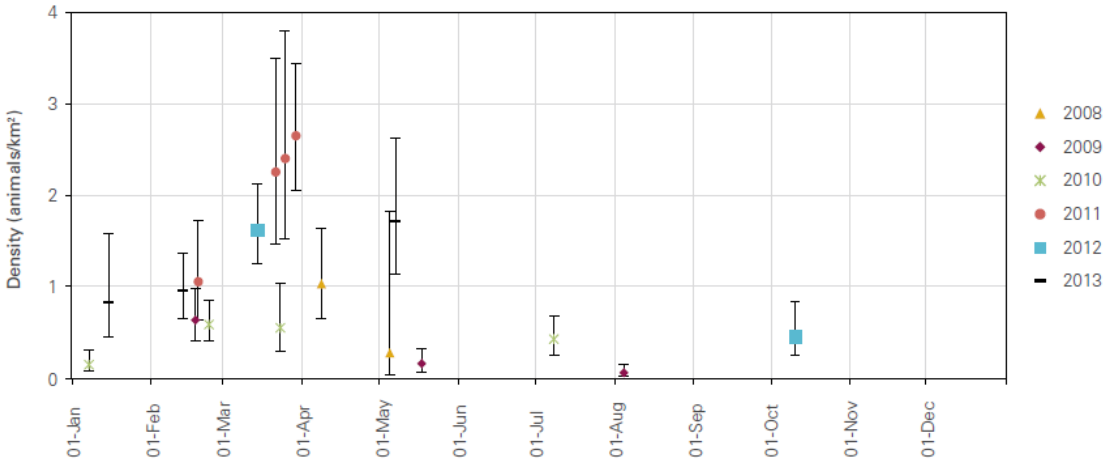
Tijdens de zomer van 2005 werd een grootscheepse campagne uitgevoerd voor het bepalen van het aantal bruinvissen (en andere walvisachtigen) in de Noordzee en aanpalende Atlantische Oceaan (SCANS II, 2008). De survey van 2005 bevestigde dat het zomerverspreidingsgebied van bruinvissen in de Noordzee sterk veranderde tussen 1994 en 2005. Hoewel de populatieomvang niet gewijzigd lijkt, komen nu veel meer bruinvissen voor in het zuidelijke deel van de Noordzee (Figuur 5-89). De hoge dichtheden tegenover de Engelse zuidoostkust werden tijdens de zomer vastgesteld, na het voorkomen van de hoogste dichtheden in Noord-Franse, Belgische en Nederlandse kustwateren. Dit concentratiegebied ligt in de lente ongetwijfeld meer naar het zuiden.



Figuur 5-89 Een vergelijking tussen de zomerverspreidingsgebieden van de bruinvis zoals vastgesteld in 1994 (boven) en 2005 (onder) toont duidelijk aan dat er een verandering opgetreden is in het verspreidingsgebied. De kleurschaal rechts van de kaart geeft de vastgestelde densiteit weer in aantal dieren/km² (SCANS II, 2008).

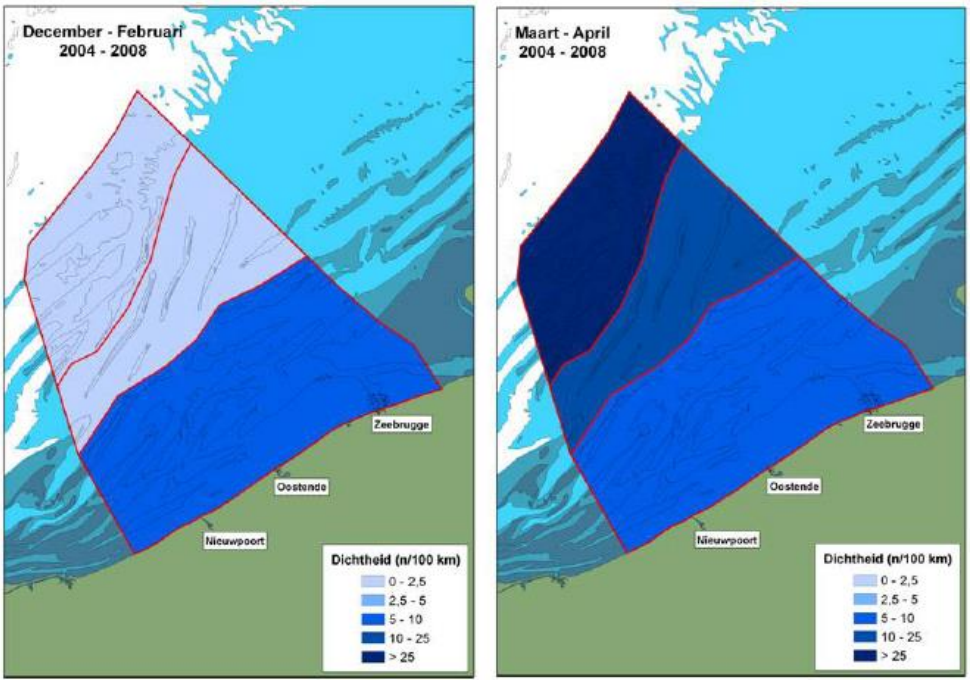
De dieren die aangetroffen worden in Belgische wateren vormen geen geïsoleerde populatie, maar maken dus deel uit van een veel grotere populatie, die zich verspreidt over de hele zuidelijke en centrale Noordzee.

Tijdens luchtsurveys uitgevoerd door de BMM in het voorjaar van 2011 werden de hoogste dichtheden ooit vastgesteld in Belgische wateren: meer dan 8.000 dieren eind maart 2011, met een gemiddelde geschatte dichtheid van meer dan 2,7 ind./km² (Figuur 5-90) (Haelters *et al*., 2013a).



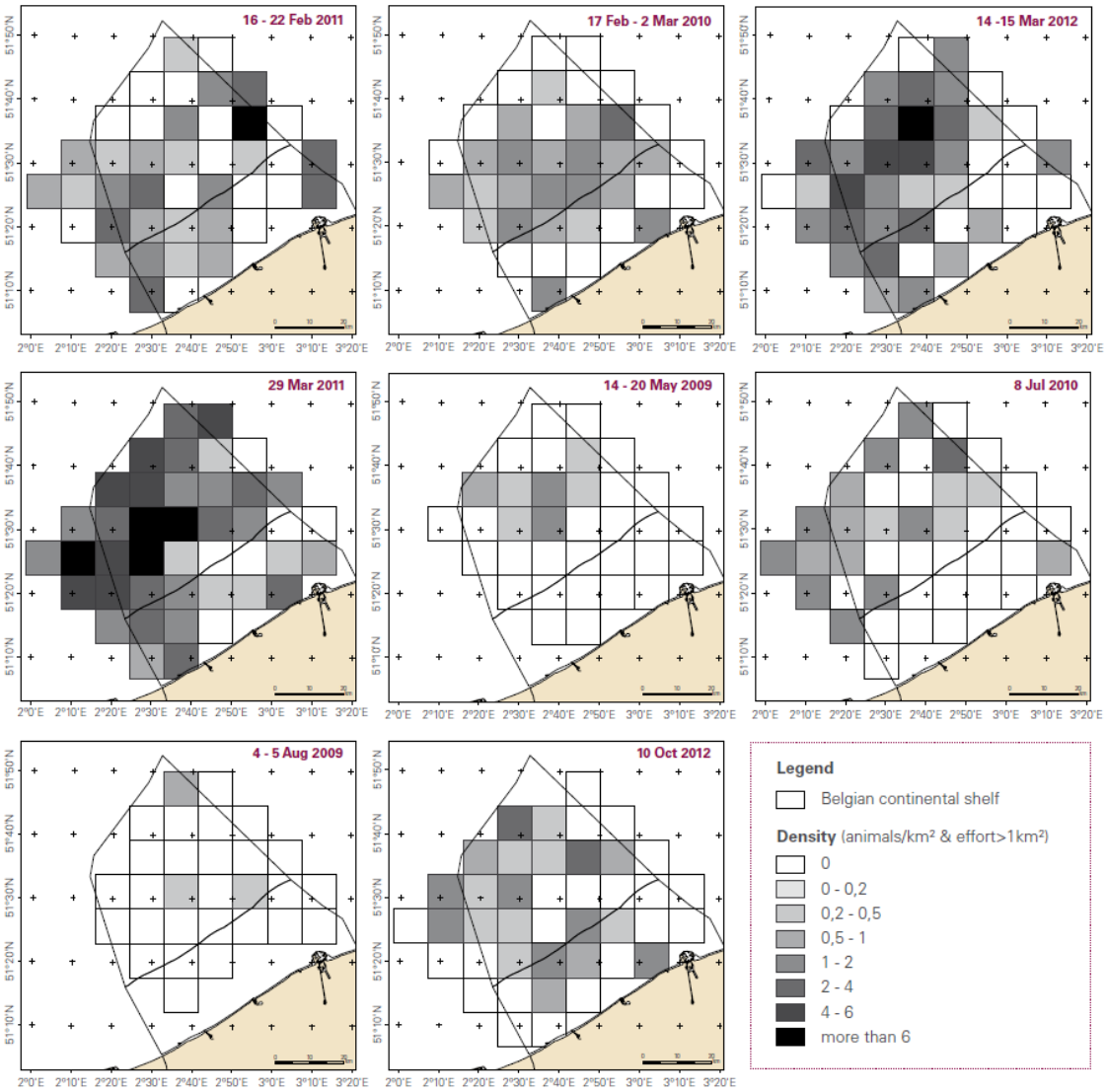
Figuur 5-90 Geschatte dichtheden aan bruinvissen (in een gebied ongeveer equivalent met de Belgische wateren) zoals vastgesteld tijdens luchtsurveys uitgevoerd tussen 2008 en 2013 (Haelters et al., 2013a)

Bruinvissen komen het hele jaar door voor in de Belgische zeegebieden, maar er is een duidelijk seizoenaal patroon zichtbaar, met de hoogste dichtheden tijdens de late winter en de lente. In de winter is vooral de kustnabije zone van belang terwijl in maart-april de hoogste dichtheden in het noordwestelijke deel van het BDNZ worden vastgesteld (Figuur 5-91).



Figuur 5-91 Seizoenale patronen in het voorkomen van bruinvis in het BDNZ gebaseerd op scheepstellingen van het INBO (Degraer et al., 2009)

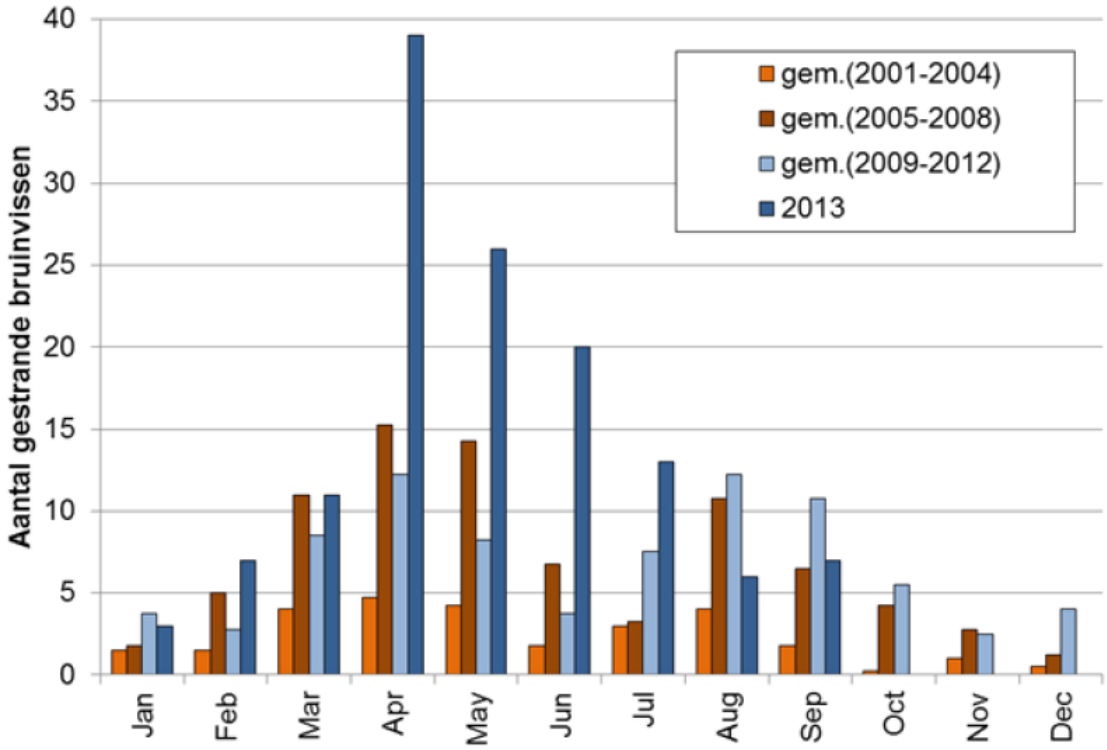
Figuur 5-92 toont de waarnemingen van zeezoogdieren tijdens enkele surveys in de periode 2009-2012 (Haelters *et al.*, 2013a). Deze kaarten tonen een ongelijke verspreiding in het BDNZ zowel in ruimte als in tijd.



Figuur 5-92 Een selectie van verspreidingskaarten van bruinvissen in Belgische wateren op basis van de dichtheid per 10 x 10 km blok (waarnemingen tijdens luchtsurveys; Haelters et al., 2013a).

Het jaarlijks aantal gestrande bruinvissen en het jaarlijks aantal gesignaleerde bruinvissen door het publiek (waarnemingen in havens of vanaf stranden) of door diensten actief op zee (zonder de waarnemingen uitgevoerd tijdens zeevogeltellingen van het INBO en de waarnemingen tijdens toezichtsvluchten van de BMM) geven beiden een goed beeld van de terugkeer van de soort in de Belgische wateren. De hoge dichtheid aan bruinvissen in Belgische wateren tijdens de survey van mei 2013 ging gepaard met een relatief hoog aantal gestrande dieren in deze periode. Tussen april en juli werden recordaantallen aangespoelde bruinvissen gemeld (Figuur 5-93).

Mogelijk was deze hoge dichtheid een gevolg van een relatief koud voorjaar, met consequenties voor de beschikbaarheid van geschikt voedsel (Haelters, 2013). Ook in Nederland werden in dezelfde periode ongewoon veel gestrande bruinvissen gerapporteerd (IJsseldijk & Begeman, 2013).



Figuur 5-93 Gemiddeld aantal gestrande bruinvissen per maand van 2001 tot 2013. Data 2013 t.e.m. September (BMM, 2013)

Vermoedelijk komen in de late winter en het vroege voorjaar in totaal zo'n 8.500 bruinvissen voor in de Belgische wateren (min. gemiddeld 2,5 individuen per km²) (Haelters *et al.*, 2012). In andere periodes is er sprake van enkele honderden exemplaren (max. gemiddeld 0,31 individuen per km²). In de gehele Noordzee bevinden zich ongeveer een kwart miljoen bruinvissen. Gedurende het grootste deel van het jaar komt aldus minder dan 1% van de Noordzeepopulatie voor in Belgische wateren, maar seizoenaal (februari – april) loopt dit aantal op tot ca. 1,6% van de populatie in de Noordzee (BMM, 2007; Haelters, 2009, 2010; Haelters & Camphuysen, 2009; Degraer *et al.*, 2009, 2010). In het kader van de instandhoudingsdoelstellingen wordt het relatief belang van de Belgische wateren voor de bruinvis binnen Europa seizoenaal hoog ingeschat, voornamelijk omwille van het groot aantal dieren dat van dit gebied gebruik maakt tijdens de migratieperiode.(Degraer *et al.*, 2009, 2010).

Tuimelaar

Ondanks de waarnemingen van de laatste jaren worden tuimelaars hier als uitgestorven beschouwd, net zoals in het grootste gedeelte van de Noordzee. Vermoedelijk zijn ze verdwenen door een combinatie van vervuiling, voedseltekort en directe vangsten. De dieren die hier waargenomen worden, zijn dwaalgasten vermoedelijk afkomstig van populaties in het centrale of westelijke deel van het Kanaal, of van de Golf van Biskaje. Meestal gaat het om solitaire dieren die hier tot enkele maanden verblijven, en af en toe worden groepjes tuimelaars gerapporteerd (Degraer *et al.*, 2009).

De herstelmogelijkheden in Belgische wateren zijn op korte termijn zo goed als onbestaande, gezien tuimelaars reeds tientallen jaren lang zo goed als volledig verdwenen zijn uit het grootste deel van de Noordzee (Degraer *et al.*, 2009). Enkel in het noordenwesten van de Noordzee, in de buurt van het Moray Firth (Schotland) bevindt zich nog een kleine populatie van iets meer dan 100 dieren. Het ontstaan van een nieuwe populatie door een influx uit nabijgelegen populaties in het Kanaal lijkt niet waarschijnlijk, gezien de zeldzaamheid van de soort, en de achteruitgang in de andere populaties. Tijdens de SCANS II survey (SCANS II, 2008) werd bepaald dat er zich naar schatting 12.645 (7.504 - 21.307) tuimelaars bevinden in de Noordzee en de aanpalende Atlantische Oceaan, maar er werden geen tuimelaars waargenomen in de centrale en zuidelijke Noordzee en in het oostelijke Kanaal.

Witsnuitdolfijn

Waarnemingen van groepjes witsnuitdolfijnen worden reeds een tiental jaren geregeld gemeld, maar deze soort is niet algemeen voorkomend. In 2011 werd nog een groep van meer dan 50 dieren waargenomen, maar meestal vormen ze kleinere groepjes van 2 à 6 dieren. In 2012 werden slechts 2 strandingen waargenomen, in 2013 1 stranding (database BMM, niet gepubliceerd). De meeste waarnemingen vinden plaats tussen november en mei.

Gewone zeehond

Tot de jaren ’50 werden zeehonden frequent waargenomen aan de Belgische kust. In die tijd bestonden in België al decennialang geen echte kolonies zeehonden meer (waar voortplanting plaatsvindt), waarschijnlijk voornamelijk door een continue en hoge graad van verstoring, bejaging en vervuiling. Rond de jaren ’50 waren de zeehondenkolonies overal in de zuidelijke Noordzee reeds sterk in omvang verminderd. Als gevolg van de achteruitgang van de zeehondenkolonies in de ons omringende landen, was de zeehond in België eveneens een zeldzame verschijning geworden. Sinds de jaren 1980 beginnen de zeehondenkolonies in de Zeeuwse Delta en Frankrijk te herstellen (Degraer *et al.*, 2009). De laatste jaren worden er bijgevolg opnieuw regelmatig groepjes van 5 tot 15 individuen van gewone zeehonden waargenomen aan de Belgische kust, voornamelijk ter hoogte van de haven van Nieuwpoort en ter hoogte van een strandhoofd bij Koksijde. Het huidige aantal gewone zeehonden in de Belgische wateren wordt op 5 tot 50 geschat (Haelters, 2010). In 2012 werden 19 strandingen geregistreerd door de BMM en in 2013 29 strandingen (database BMM, niet gepubliceerd).

Zeehonden leggen grote afstanden af en de dieren waargenomen in Belgische wateren zijn afkomstig van kolonies in Zeeland, de Waddenzee, de zuidoostelijke kust van Engeland en de baai van de Somme. Er is geen sprake van een geïsoleerde zeehondenpopulatie in Belgische wateren, aangezien de aantallen verwaarloosbaar zijn in vergelijking met de aantallen die voorkomen in de buurlanden; de Belgische wateren zijn dan ook van ondergeschikt belang voor de soort binnen Europa.

Het ontstaan van een kolonie in Belgische wateren wordt voornamelijk verhinderd door het gebrek aan rust- en voortplantingsplaatsen die niet verstoord worden (Degraer *et al.*, 2009, 2010; Haelters, 2010). De kolonies het dichtst bij de projectgebieden van Mermaid en Northwester 2 liggen in Zeeland (Bol van de Ooster, Hooge Platen), op een 70-tal kilometers afstand van de geplande windparken.

Grijze zeehond

De grijze zeehond is aan onze kust zeldzamer dan de gewone zeehond, en er bevinden zich geen kolonies of permanente uithaalplaatsen. De meest nabije kolonie grijze zeehonden bevindt zich in de Nederlandse Voordelta op zo'n 70-tal kilometer van de projectgebieden van Mermaid en Northwester 2. De grijze zeehond is in de Nederlandse Delta in korte tijd spectaculair toegenomen: terwijl er in 2003 maximaal 45 exemplaren werden waargenomen, meldde een uitgebreide survey in 2011 677 stuks (Haelters *et al*., 2012b). In België zijn waarnemingen op het strand of in havens uitzonderlijk. Tussen 2008 en 2013 werden jaarlijks tussen de 7 à 12 dieren waargenomen, bijna allen strandingen (database BMM, niet gepubliceerd).

De Belgische wateren zijn van zeer geringe betekenis voor de instandhouding van de soort. Ze komen hier enkel sporadisch voor en de aantallen zijn verwaarloosbaar tegenover de Noordzee-populaties gezien er geen kolonies noch frequent gebruikte uithaalplaatsen zijn (Degraer *et al.*, 2009).

5.4.2.5.2 Autonome ontwikkeling

Bij het niet installeren van de 2 windparken mag verondersteld worden dat de waarde voor mariene zoogdieren van de site nagenoeg hetzelfde zal blijven. Behalve bestaande (semi)-natuurlijke fluctuaties in het zeezoogdierbestand (bijvoorbeeld door veranderingen in de voedselbeschikbaarheid, of door verschuivingen in de overwinteringsgebieden), zijn er geen aanwijzingen dat er momenteel belangrijke natuurlijke wijzigingen plaatsvinden in het gebied. Haelters (2010) stelt dat de situatie van de bruinvis kwetsbaar is en dat zeer snelle veranderingen in de Noordzeepopulaties kunnen optreden. De belangrijkste bedreigingen voor zeezoogdieren zijn overbevissing, incidentele vangst, vervuiling (inclusief geluid en afval), klimaatveranderingen en aanvaring met schepen.

Zoals aangehaald zullen andere menselijke activiteiten, zoals de bouw van de naburige windparken, de autonome ontwikkeling beïnvloeden. Voor meer details wordt verwezen naar het hoofdstuk 'Cumulatieve effecten'.

5.4.2.6 Harde substraten

5.4.2.6.1 Epifauna

Door de aanwezigheid van het windpark op de Blighbank zijn er in de nabijheid van Mermaid en Northwester 2 al een grote hoeveelheid harde substraten aanwezig. Kerckhof *et al.* (2012) vergeleken de soortensamenstelling en de ecologische successie van de aangroeigemeenschap op het subtidale (circalitorale) deel van de funderingen van 2 windparken, nl. C-Power op de Thorntonbank en Belwind op de Blighbank. Zoals in talrijke andere studies werd waargenomen, vond er een snelle kolonisatie plaats van het beschikbare substraat. Niet minder dan de helft van het totale aantal aanwezige soorten werd in beide windparken aangetroffen. Op allebei de windparken was de amphipode *Jassa herdmani* dominant aanwezig met dichtheden tot 90.000 ind./m², zijnde 70% van de telbare soorten.

Andere dominante soorten in de beide windparken waren de zeester *Asterias rubens* en het vlokreeftje *Stenothoe valida*. Tijdens het eerste jaar verliep de successie in de windparken zeer gelijkaardig met enkele mobiele soorten zoals *J. herdmani* en *Corophium acherusicum* die een typische zomer – winter oscillatie vertoonden. De sessiele soorten zoals *Pomatoceros triqueter* en *Clytia hemisphaerica* vertoonden een sterk verschillend kolonisatiepatroon waardoor de overeenkomsten na het eerste jaar minder duidelijk waren.

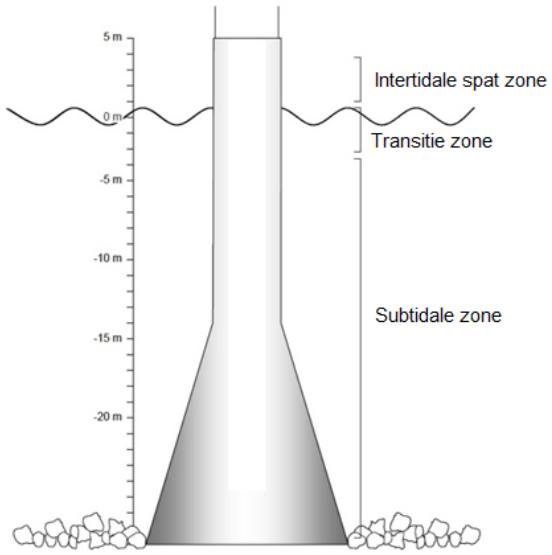
Op de betonnen gravitaire funderingen van C-Power werden beduidend meer soorten aangetroffen dan op de stalen monopiles van Belwind (respectievelijk 84 en 64 soorten) (De Mesel *et al*., 2013). Naast het verschil in funderingen kan de lagere biodiversiteit op de Belwind turbines ook te wijten zijn aan een lager aantal staalnames en een kortere periode sinds de constructie ten opzichte van C-Power. De Thorntonbank staat bovendien ook meer onder invloed van de rijkere kustwateren dan de verder offshore gelegen Blighbank (De Mesel *et al.,* 2013).

In vergelijking met de omliggende natuurlijke harde substraten is de taxonomische samenstelling van de sessiele epifauna verarmd. Dit kan, net zoals bij scheepswrakken, verklaard worden door specifieke kenmerken van de bestudeerde structuren zoals verticaliteit, samenstelling van het substraat of een lagere waterdiepte. Daarnaast speelt de activiteit van predatoren een belangrijke bepalende rol bij de opeenvolging van sessiele soorten. Deze fenomenen zorgen voor de specifieke patronen.

De hoge mate van ruimtelijke heterogeniteit (patchiness) suggereert dat het kolonisatieproces nog niet voltooid is. De climaxgemeenschap, de *Metridium senile*-gemeenschap, die kenmerkend is voor dit type van substraten in de Noordzee wordt bijgevolg nog niet maximaal bereikt. Behalve het muiltje, *Crepidula fornicata*, werden geen andere geïntroduceerde soorten aangetroffen op de permanent ondergedompelde (subtidale) delen van de windturbinefunderingen. Deze waarneming contrasteert sterk met de intertidale en spatzone waar in de biologische aangroeigemeenschap overwegend geïntroduceerde soorten aangetroffen werden (Kerckhof et al., 2012).

Een zonatiepatroon met drie duidelijk te onderscheiden zones kon worden waargenomen (De Mesel *et al*., 2013)(Figuur 5-94):

- Een soortenarme hoge intertidale spat zone gedomineerd door de Japanse dansmug sinds de start van de monitoring;
- Het laag intertidaal is geëvolueerd van een soortenrijkere zeepokken-*Jassa* zone naar een gemeenschap die wordt gedomineerd door de mossel *Mytilus edulis*. Deze mossels hebben zich bevestigd bovenop de zeepokken, die op hun beurt hun zone hebben uitgebreid tot net boven de mosselzone. Vooral op de GBF's op de Thorntonbank is deze zone goed ontwikkeld met een breedte van ca. 1 m;
- De subtidale zone is de zone met het grootste aantal niet-inheemse soorten. De zone wordt gekarakteriseerd door de *Jassa-Tubularia-Actiniaria* gemeenschap.



Figuur 5-94 Soortenrijkdom en diversiteit van de epifauna van de intertidale, transitie en subtidale zone (Kerckhof et al., 2009)

5.4.2.6.2 Visfauna

In totaal werden in de periode 2009-2012 12 vissoorten aangetroffen rond de windturbines, waarvan vier soorten regelmatig: steenbolk (*Trisopterus luscus*), kabeljauw (*Gadus morhua*), horsmakreel (*Trachurus trachurus*) en makreel (*Scomber scombrus*).

De visuele observaties, uitgevoerd tussen juli en oktober, toonden aan dat een populatie van minimum 29.000 steenbolken (biomassa van 3.500 kg) aanwezig was rond één windturbine. De densiteiten varieerden tussen 7 en 74 specimens/m², met een gemiddelde densiteit van 18 tot 21 ind./m² ter hoogte van de erosiebescherming. Een grote variatie in densiteiten was aanwezig tussen waarnemers en in de tijd.

Lijnvisserij werd uitgevoerd om voedingsselectiviteit, leeftijdsstructuur van de populatie en de temporele veranderingen te onderzoeken. Vooral de prooisoorten *Jassa herdmani* en porseleinkrab waren aanwezig in de magen van steenbolken rond de turbines. Deze soorten komen in zeer hoge densiteiten voor als epifauna op de funderingen van de windturbines (Reubens *et al.*, 2010). Steenbolken gevangen rond de turbines hadden gemiddeld een vollere maag dan individuen gevangen in het referentiegebied zonder harde substraten (Vandendriessche *et al*., 2013b).

Steenbolken zijn voornamelijk van september tot december in hoge aantallen rond de turbines te vinden, terwijl dit voor kabeljauwen het geval is van mei tot november (Reubens *et al.,* 2013). Verder bleek uit het onderzoek met lijnvissen dat voornamelijk de leeftijdsgroepen van de 0 en 1 jarigen voor steenbolk en de 1 en 2 jarigen voor kabeljauw aanwezig zijn rond de turbines. Bij de resultaten van lijnvissen moet rekening worden gehouden met de grootte van de vishaken aangezien die mee de grootte van de gevangen vis bepaalt. Voor kleine vissen kan de haak te groot zijn terwijl grote vissen niet efficiënt met een te kleine haak kunnen gevangen worden (Reubens *et al*., 2013).

In Vandendriessche *et al.* (2013b) besluit men dat op lokale schaal een netto toename van de populatie heeft plaatsgevonden. Op regionale schaal zijn er nog geen significante effecten op de populaties van kabeljauw en steenbolk zichtbaar.

5.4.2.6.3 Autonome ontwikkling

Het aantal harde substraten als potentieel habitat voor epifauna en vissen zal in de toekomst verder toenemen met de komst van de windparken Norther, Rentel, Northwind, SeaStar en de 2de fase van Belwind. De Alpha-installatie zal waarschijnlijk volledig met stortstenen worden omgeven wat het aandeel harde substraten in de omgeving opnieuw zal verhogen.

Ook wrakken vormen een uitgelezen habitat voor epifauna en visgemeenschappen van harde substraten. De aanwezige wrakken worden beschouwd als cultureel erfgoed en worden behandeld onder het hoofdstuk 'Zeezicht en cultureel erfgoed'.

5.4.3 Effecten

5.4.3.1 Benthos

Algemeen kan gesteld worden dat de effecten voor het macro- en epibenthos gelijkaardig zullen zijn. Bijgevolg worden ze hier samen besproken als benthos. De grootteorde van de effecten kan wel verschillen aangezien in tegenstelling tot het macrobenthos, het epibenthos over een beperkte mobiliteit beschikt waardoor zij bepaalde effecten deels kunnen ontwijken.

5.4.3.1.1 Constructiefase

De effecten die kunnen optreden tijdens de constructiefase zijn:

- Biotoopverlies en -verstoring;
- Verlies aan organismen;
- Sedimentatie;
- Geluid en trillingen.

Met uitzondering van de vernietiging van biotoop en organismen, zijn de andere effecten tijdelijk.

Biotoopverstoring

Door de installatie van de funderingen en de erosiebescherming van de windturbines wordt een gedeelte van het oorspronkelijk zachte biotoop door nieuwe structuren ingenomen en/of wordt het biotoop vernietigd bij nivellering of het baggeren van funderingsputten (direct biotoopverlies). Daarnaast is er ook een tijdelijke biotoopverstoring tengevolge van stockage van het uitgebaggerde zand in geval van o.a. de gravitaire funderingstechniek (indirecte biotoopverstoring). Het stockeren van uitgebaggerd zand kan gebeuren over een dikte van 1 m tot 5 m.

Zowel Mermaid als Northwester 2 voorzien drie mogelijke alternatieve funderingstypes: de monopile (MP), de jacket fundering (JF) en de gravitaire fundering (GBF). Als alternatief voor het heien van de palen bij monopile en jacket funderingen kan ook gebruik gemaakt worden van de suction bucket techniek. Bij GBF wordt een statische erosiebescherming aangebracht, terwijl voor MP zowel statische als dynamische erosiebescherming kan gebruikt worden. Voor JF wordt er vanuit gegaan dat voor alle funderingen een dynamische erosiebescherming wordt aangebracht (worst-case scenario). Het al dan niet gebruiken van de suction bucket techniek om de funderingen te plaatsen, verandert niets aan de ingenomen oppervlakte.

Indien gekozen wordt voor een statische erosiebescherming bij de monopile, zou voorafgaandelijk een nivellering van de zeebodem moeten gebeuren op de zones met grote zandduinen. In dit MER gaan we uit van statische erosiebescherming bij de helft van de geplande turbines, ongeacht de configuratie. Door deze biotoopverstoring (direct + indirect) wordt habitat vernietigd en sterft het bodemleven. Dit effect doet zich onmiddellijk voor en is onomkeerbaar tijdens de operationele fase van het park. De biotoopverstoring is afhankelijk van het aantal structuren, het funderingstype en de dimensies van de erosiebescherming.

Voor de berekening van het directe biotoopverlies van de 2 windparken wordt bij de monopiles en jacket funderingen uitgegaan van de oppervlakte ingenomen door de turbine en de erosiebescherming, met uitzondering van de monopiles waarbij vooraf nivellering van het zandoppervlak moet gebeuren. In dit geval, en eveneens bij gravitaire funderingen, valt deze oppervlakte (turbine + erosiebescherming) binnen de zone die uitgegraven wordt voor de fundering zelf, en is deze laatste dus bepalend voor het verlies aan natuurlijk zandig biotoop. De berekening van het directe biotoopverlies tengevolge van de funderingsputten gaat uit van de verstoorde oppervlakte ter hoogte van de natuurlijke zeebodem (incl. schuine wanden), en dus niet enkel van de oppervlakte op de bodem van de put.

In **Tabel 5-61** wordt de biotoopverstoring weergegeven voor de verschillende configuratiealternatieven van het Mermaid windpark en in Tabel 5-62 voor het Northwester 2 windpark.

Tabel 5-61 Biotoopverstoring bij de constructie van het Mermaid windpark (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravity based fundering)

Configuratie	Funderingstype		Direct biotoopverlies	Indirecte verstoring (stockage 5m)	Totaal
Basisconfiguratie (38 turbines + 1 OHVS)	MP	Statische erosiebescherming	201.600 m²	50.500 m²	252.100 m²
		Dynamische erosiebescherming	43.100 m²	0 m²	43.100 m²
	JF		62.400 m²	0 m²	62.400 m²
	GBF		1.027.700 m²	491.400 m²	1.519.100 m²
Configuratie 1 (80 turbines + 1 OHVS)	MP	Statische erosiebescherming	407.000 m²	106.400 m²	513.400 m²
		Dynamische erosiebescherming	57.200 m²	0 m²	57.200 m²
	JF		72.900 m²	0 m²	72.900 m²
Configuratie 2 (38 turbines + 1 OHVS)	JF		97.500 m²	0 m²	97.500 m²
	GBF		1.027.700 m²	491.400 m²	1.519.100 m²
Configuratie 3 (24 turbines + 1 OHVS)	JF		90.000 m²	0 m²	90.000 m²
	GBF		658.800 m²	315.000 m²	973.800 m²

Tabel 5-62 Biotoopverstoring bij de constructie van het Northwester 2 windpark (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravity based fundering)

Configuratie	Funderingstype		Direct biotoopverlies	Indirecte verstoring (stockage 5m)	Totaal
Basisconfiguratie (35 turbines + 1 OHVS)	MP	Statische erosiebescherming	190.000 m²	47.900 m²	237.900 m²
		Dynamische erosiebescherming	39.700 m²	0 m²	39.700 m²
	JF		57.600 m²	0 m²	57.600 m²
	GBF		948.600 m²	453.600 m²	1.402.200 m²
Configuratie 1 (70 turbines + 1 OHVS)	MP	Statische erosiebescherming	356.200 m²	93.100 m²	449.300 m²
		Dynamische erosiebescherming	50.200 m²	0 m²	50.200 m²
	JF		63.900 m²	0 m²	63.900 m²
Configuratie 2 (37 turbines + 1 OHVS)	JF		95.000 m²	0 m²	95.000 m²
	GBF		1.001.300 m²	478.800 m²	1.480.100 m²
Configuratie 3 (22 turbines + 1 OHVS)	JF		82.800 m²	0 m²	82.800 m²
	GBF		606.100 m²	289.800 m²	895.900 m²

Voor de monopile met dynamische erosiebescherming en de jacket fundering is het direct biotoopverlies per turbine door de oppervlakte van de erosiebescherming respectievelijk 710 - 1.100 m² en 900 - 3.600 m² (afhankelijk van het type turbine), terwijl dit voor de gravitaire fundering ca. 26.350 m² is. Voor de monopiles waarvoor eerst genivelleerd wordt, bedraagt het direct biotoopverlies respectievelijk 9.450 m² per turbine. Al naargelang het type fundering zal het totale directe verlies aan zandig biotoop door Mermaid (inclusief OHVS) variëren tussen 4,3 ha (basisconf., dynamische MP) en 152 ha (basisconf. en conf. 2, GBF) of respectievelijk 0,3% - 6,2% van het concessiegebied. Voor Northwester 2 varieert het totale directe biotoopverlies tussen 4 ha (basisconf., dynamische MP) en 148 ha (conf. 2, GBF) of 0,3% - 6,6% van het concessiegebied. Het direct biotoopverlies varieert dus van praktisch onbestaande (0; dynamische MP) tot matig negatief (-; GBF) voor zowel Mermaid als Northwester 2.

Bij de keuze voor gravitaire funderingen komt een substantiële verstoring van het biotoop voor door het - al dan niet tijdelijk - stockeren van het uitgebaggerde zand (ca. 63.000 m³/GBF rekening houdend met 30% bagger- en dumpingsverliezen). Voor de monopiles waarvoor genivelleerd zou moeten worden, bedraagt het te storten volume 13.300 m³/MP (rekening houdend met 30% bagger- en dumpingsverliezen, diepte van 4 m over een oppervlak van 1.800 m²). De oppervlakte van de bodemverstoring ten gevolge van de stockage is afhankelijk van het gekozen stockeringsscenario en varieert in een worst case scenario (basisconf. en conf. 2, GBF) tussen 246 ha (stockage van al het gebaggerde zand met een laagdikte van 1

m) en 49 ha (stockage van al het gebaggerde zand met een laagdikte van 5 m) of respectievelijk ca. 14,7% en 2,9% van het oppervlak van het Mermaid concessiegebied.

Voor Northwester 2 varieert het worst case scenario (conf. 2, GBF) tussen 239 ha (stockage 1 m) en 48 ha (stockage 5 m) of respectievelijk 15,8% en 3,2% van het concessiegebied. Het effect van scenario's met gravitaire funderingen wordt als significant (1 m stockage) tot matig (5 m stockage) negatief beoordeeld. Voor de andere funderingstypes (MP/JF) worden geen noemenswaardige effecten verwacht gezien het kleinere aandeel van de indirecte biotoopverstoring.

Er treedt duidelijk een schaalvergroting op van het totale biotoopverlies (direct en indirect) bij de keuze voor gravitaire fundering ten opzichte van de monopile of jacket fundering. Dit grote verschil is hoofdzakelijk te wijten aan het afwezig zijn of slechts beperkt voorkomen van indirect biotoopverlies voor stockage van zand bij de keuze voor een monopile of jacket fundering. Het scenario waarbij gekozen wordt voor een stockage van het uitgebaggerde zand (GBF) in een laag van 5 m betekent een daling van de verstoring met ongeveer 80%. De totale biotoopverstoring (erosiebescherming + stockage) in het scenario 5 m stockage (meest waarschijnlijk) bij de gravitaire fundering blijft aanvaardbaar (5,8% (conf. 3) tot 9,1% (basisconf. en conf. 2) voor het concessiegebied van Mermaid, en 5,9% (conf. 3) tot 9,8% (conf. 2) voor Northwester 2), zeker in vergelijking tot het gehele BDNZ (< 0,1%). Er kan besloten worden dat het verlies aan biotoop voor benthische organismen een gering (0/-; MP, JF) tot matig (-; GBF stockage 5 m) negatief effect zal hebben voor het mariene ecosysteem.

Verlies aan organismen

Ongeacht het funderingstype en de gebruikte techniek mogen we veronderstellen dat de volledige biotische zone die zich bevindt onder het stuk zeebodem dat in beslag wordt genomen, zal worden vernietigd door zowel het verwijderen, het verstikken, het beschadigen of het doden van de organismen ten gevolge van de hei- en baggeractiviteiten en het storten van uitgebaggerd zand. Het direct verwijderen van organismen en individuen wordt beschouwd als een wezenlijke biologische impact.

Het verlies aan benthische organismen is recht evenredig met het biotoopverlies/verstoring. Ondanks het ontbreken van site-specifieke data (biomassa en populatiestructuur) kan het letale effect afgeleid worden uit de gegevens van de referentiestudie van de Thorntonbank (De Maersschalck *et al.*, 2006). Deze indicatieve waarde (biomassaverlies) wordt gebaseerd op de gemiddelde biomassawaarde voor de twee concessiegebieden (top+randzone) op de Thorntonbank (Tabel 5-63).

Tabel 5-63 Biomassaberekeningen van macro- en epibenthos op de Thorntonbank. (De Maersschalk et al., 2006)

	Macrobenthos		Epibenthos	
	Voorjaar 2005	Najaar 2005	Voorjaar 2005	Najaar 2005
Westelijk concessiegebied	3,59 g AFDW/m²	3,03 g AFDW/m²	0,12 g WW/m²	0,054 g WW/m²
Oostelijk concessiegebied	2,15 g AFDW/m²	1,78 g AFDW/m²	0,16 g WW/m²	0,079 g WW/m²
Gemiddelde concessie drooggewicht	2,87 g AFDW/m²	2,41 g AFDW/m²	-	-
Gemiddelde concessie natgewicht	35,83 g WW/m²	30,11 g WW/m²	0,14 g WW/m²	0,06 g WW/m²

Op grond van deze cijfers kunnen we het verlies aan biomassa (macro- en epibenthos) ramen op ongeveer 33 g/m² natgewicht. Deze inschatting is van dezelfde grootteorde als het biomassaverlies berekend in de studie voor de Deense windparken (41 g/m²) (Leonhard, 2000).

Uitgaande van de hierboven berekende oppervlakte (biotoopverlies/verstoring) kan een inschatting gemaakt worden van het verlies aan organismen in de concessiegebieden (Tabel 5-64 voor Mermaid en Tabel 5-65 voor Northwester 2).

Tabel 5-64 Biomassaverlies voor het Mermaid windpark
(MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravity based fundering)

Configuratie	Funderingstype		Direct + Indirect (Stockage 1 m)	Direct + Indirect (Stockage 5 m)
Basisconfiguratie (38 turbines + 1 OHVS)	MP	Statische erosiebescherming	15.000 kg	8.300 kg
		Dynamische erosiebescherming	1.400 kg	1.400 kg
	JF		2.100 kg	2.100 kg
	GBF		115.000 kg	50.100 kg
Configuratie 1 (80 turbines + 1 OHVS)	MP	Statische erosiebescherming	31.000 kg	16.900 kg
		Dynamische erosiebescherming	1.900 kg	1.900 kg
	JF		2.400 kg	2.400 kg
Configuratie 2 (38 turbines + 1 OHVS)	JF		3.200 kg	3.200 kg
	GBF		115.000 kg	50.100 kg
Configuratie 3 (24 turbines + 1 OHVS)	JF		3.000 kg	3.000 kg
	GBF		73.700 kg	32.100 kg

Tabel 5-65 Biomassaverlies voor het Northwester 2 windpark
(MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravity based fundering)

Configuratie	Funderingstype		Direct + Indirect (Stockage 1 m)	Direct + Indirect (Stockage 5 m)
Basisconfiguratie (35 turbines + 1 OHVS)	MP	Statische erosiebescherming	14.200 kg	7.800 kg
		Dynamische erosiebescherming	1.300 kg	1.300 kg
	JF		1.900 kg	1.900 kg
	GBF		106.100 kg	46.300 kg
Configuratie 1 (70 turbines + 1 OHVS)	MP	Statische erosiebescherming	27.100 kg	14.800 kg
		Dynamische erosiebescherming	1.700 kg	1.700 kg
	JF		2.100 kg	2.100 kg

Configuratie	Funderingstype	Direct + Indirect (Stockage 1 m)	Direct + Indirect (Stockage 5 m)
Configuratie 2 (37 turbines + 1 OHVS)	JF	3.100 kg	3.100 kg
	GBF	112.000 kg	48.800 kg
Configuratie 3 (22 turbines + 1 OHVS)	JF	2.700 kg	2.700 kg
	GBF	67.800 kg	29.600 kg

Het totale verlies aan biomassa bedraagt minimaal 1.400 kg (basisconf, dynamische MP) en maximaal ca. 50.100 kg (basisconf. en conf. 2, GBF) bij een stockage van 5 m (meest waarschijnlijk) voor Mermaid en 1.300 kg (basisconf., dynamisch MP) tot 48.800 kg (conf. 2, GBF) voor Northwester 2, waarvan het grootste aandeel afkomstig is van biomassaverlies tengevolge van de stockage van uitgebaggerd zand. Hierbij moet ook rekening gehouden worden met een fractie mobiele organismen (vnl. vissen) die naast het aanwezige macro- en epibenthos door de constructie van het windpark beschadigd of zelfs gedood zullen worden door verstikking tijdens de graafwerken.

Ondanks het relatief groot verlies aan organismen door de ontwikkeling van de windparken met het gebruik van gravitaire funderingen, blijven de oppervlaktes waarop de destructieve activiteiten zullen plaatsvinden in de worst case scenario's (GBF) beperkt in vergelijking met het totale BDNZ. De effecten zullen naar verwachting dus ook in dit geval geen negatieve gevolgen hebben voor de totale bodemgemeenschap. De projectgebieden zijn bovendien niet aangeduid als beschermd gebied of gebied met belangrijke natuurwaarden (Degraer *et al.*, 2009), waardoor de invloed van de mortaliteit op de biomassa of op het functioneren van het plaatselijke ecosysteem als gering negatief (0/-; MP, JF) tot matig negatief (-; GBF) wordt beschouwd voor beide parken. Bovendien zal herkolonisatie van het verplaatste zand (stockage) in alle waarschijnlijkheid grotendeels plaatsvinden binnen het jaar.

Verstoring door sedimentatie & turbiditeit

De baggeractiviteiten nodig voor het plaatsen van de funderingen en het storten van het uitgebaggerde zand (gravitair) zorgen niet enkel voor een (tijdelijk) verlies aan biotoop, maar ook voor een verhoogde sedimentatie en turbiditeit in de onmiddellijke omgeving van de werken. Bovendien zijn beide projectgebieden gelegen in relatief helder Kanaal water met turbiditeitswaardes kleiner dan 10 mg/l (zie hoofdstuk 'Bodem en water'). Door de vertroebeling van de waterkolom dringt er minder licht door. Dit kan eventueel de groei (primaire productie) van het fytoplankton belemmeren waardoor mogelijks de voedselketen beïnvloed wordt. De verhoogde aanwezigheid van sedimentpartikels in de waterkolom kan leiden tot het verstoppen van de filtermechanismen van de organismen met mogelijks fatale gevolgen. Uit een baggerpluim modelleringsstudie (IMDC, 2014b als externe bijlage) blijkt dat bij het baggeren van één funderingsput, de achtergrond turbiditeit van 4 mg/l ca. 7,5% van de totale uitvoeringstijd zal overschreden worden binnen het concessiegebied (2,6 uur). Buiten het concessiegebied is dit het geval voor minder dan 3% van de tijd. Voor de limiet van 10 mg/l is dit nog minder. Concentraties hoger dan 4 mg/l worden niet verder dan 1,6 km van de dumpzone verspreid. De pluim zelf is nooit groter dan 600 m in diameter.

De specifieke impact door sedimentatie ten gevolge van zandextractie op het BDNZ is gezien de natuurlijke hoge input van gesuspendeerd materiaal ten gevolge van getijden- en golfwerking (zeer dynamisch systeem) als aanvaardbaar beschouwd (IMDC, 2010a). De levensgemeenschap is namelijk goed aangepast aan een zandige ondergrond die van nature in beweging is. Analoog met deze bevindingen kunnen we veronderstellen dat de verstoring door sedimentatie ten gevolge van de baggeractiviteiten voor Mermaid en Northwester 2 een matig negatief effect (-) zal hebben indien gekozen wordt voor gravitaire funderingen. In het geval van monopile of jacket funderingen zal dit slechts een gering negatief (0/-) effect zijn.

De densiteit en soortenrijkdom van de benthische gemeenschappen zal binnen het jaar grotendeels (60-80%) hersteld zijn na stopzetting van de baggerwerken (IMDC, 2010a). Bij het herstel zullen in eerste instantie r-strategen (pionierssoorten: snelle groei en veel nakomelingen) domineren.

Geluidsverstoring en trillingen

Onderwatergeluid heeft waarschijnlijk de meeste invloed op vissen en zeezoogdieren. Toch kunnen trillingen en drukveranderingen tengevolge van geluid een effect hebben op invertebraten zoals de schaaldieren (Crustacea) (Popper *et al.*, 2001). Studies op de Deense windparken Horns Rev en Nysted tonen aan dat de geluidsimpact van het heien van palen verwaarloosbaar (0/-) is voor benthische gemeenschappen (Dong Energy *et al.*, 2006). Indien bij de constructie gebruik gemaakt wordt van de suction bucket techniek, en de palen dus niet moeten geheid worden, zal er geen (0) geluidsverstoring plaatsvinden.

5.4.3.1.2 Operationele fase

Tijdens de operationele fase zijn de mogelijke effecten op het benthos beperkt tot veranderingen in de hydro-fysico-chemische toestand van de projectgebieden, effecten door geluid en trillingen en door de aanwezigheid van de turbines.

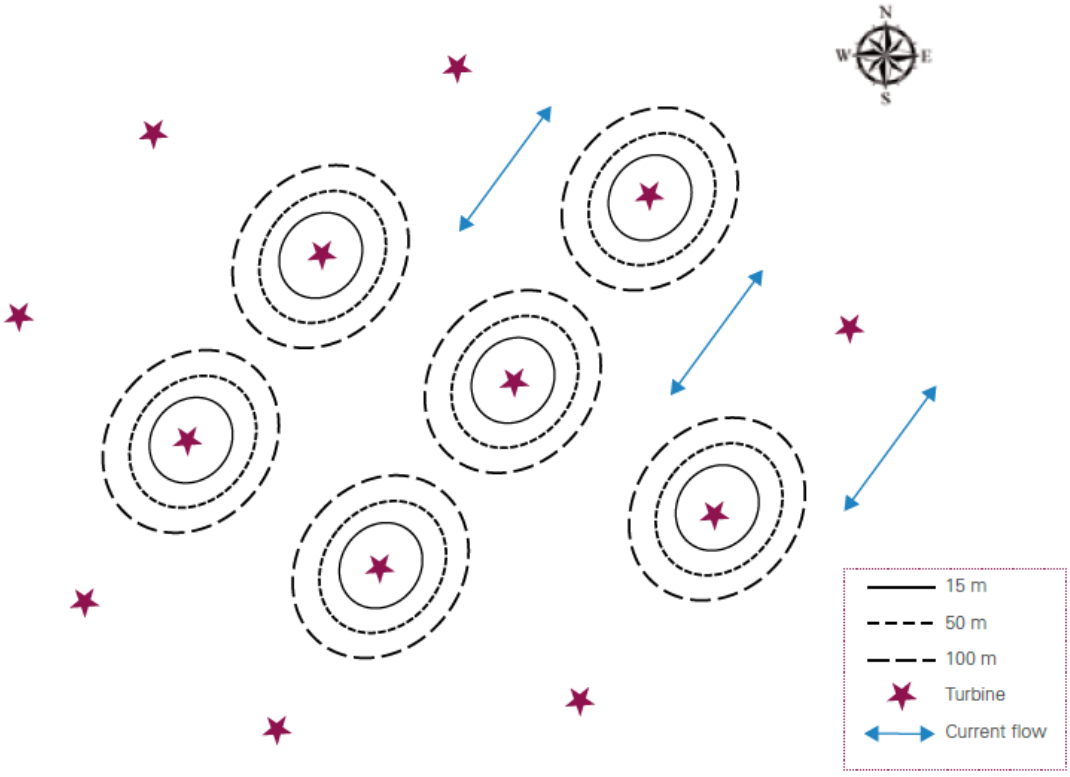
Aanwezigheid windpark

Uit de monitoringsresultaten van het BMM blijkt dat tijdens de eerste jaren na de constructie van de zes eerste windturbines op de Thorntonbank enkel de natuurlijke, temporele variabiliteit van het macrobenthos rond de turbines werd waargenomen, zonder duidelijke effecten van de turbine zelf (Reubens *et al.*, 2009a; Coates *et al.*, 2010). In 2011 (T-3) en 2012 (T-4) bleek dat er een duidelijk verschil in densiteit was opgetreden tussen bodemstalen genomen op 15, 25, 50, 100 en 200 m van de erosiebescherming (stortstenen) en in de vier gradiënten (zuidwest, zuidoost, noordwest en noordoost) rondom 1 gravitaire fundering op de Thorntonbank (Coates *et al*., 2012, 2013a). Volgende belangrijke trends werden geobserveerd (Coates *et al.*, 2011, 2012, 2013a):

- Lagere mediane korrelgrootte en hogere macrobenthische densiteiten dichtbij de stortstenen;
- Op de zuidwestelijke en noordoostelijke gradiënten hoge chlorofiel-a concentraties, een lagere mediane korrelgrootte samen met hogere densiteiten van *Lanice conchilega* en *Spiophanes bombyx*.
- Op 1 m en 7 m afstand werden hoge densiteiten aan juveniele zeesterren (*Asterias rubens*) en 2 hard substraat amphipoden (*Monocorophium acherusicum* en *Jassa herdmani*) gevonden, wat het directe effect van de aanwezigheid van de turbines aantoont.

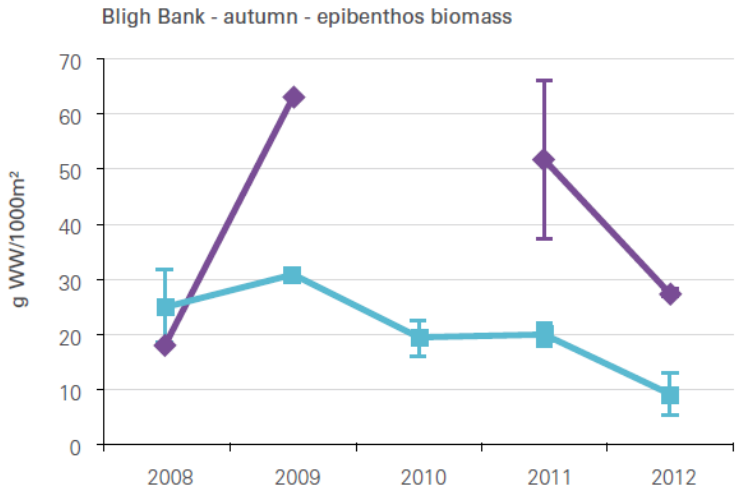
- Bovendien werd een accumulatie van de polychaeten *Spio* sp. en *S. bombyx* op stations < 50 m geobserveerd, in hogere densiteiten dan verwacht en dit voornamelijk op de zuidwest gradiënt. Deze soorten zijn algemeen in zandige bodems.
- Tot nu toe werden effecten tot ca. 50 m afstand van de turbine gedetecteerd volgens de zuidwestelijke en de noordwestelijke gradiënten.
- De sterke variabiliteit van de macrobenthische densiteiten tussen verschillende gradiënten en jaren wijst erop dat de gemeenschap nog onstabiel is en nog geen evenwicht heeft bereikt.

Deze resultaten zijn gelijkaardig aan de bevindingen in een Deens windpark. Hier namen eveneens de biomassa en densiteit toe langs één bepaalde gradiënt ten gevolge van afzettingen van de mossel *Mytilus edulis* (Maar *et al*. 2009). Deze mossel domineert het laag intertidaal in de Belgische parken (zie § 5.4.2.6.1) en er kan bijgevolg verwacht worden dat een gelijkaardige flux aan organisch materiaal het sediment rond de turbines beïnvloedt. Er kan verwacht worden dat de effecten zich in de toekomst verspreiden in het hele windparkgebied (Figuur 5-95). Dit kan leiden tot een verandering in de macrobenthische gemeenschap in de volledige zone (Coates *et al*., 2013a).



Figuur 5-95 De hypothetische schaalvergroting van lokale effecten die ontstaan rondom een turbine. Met de tijd breiden deze effecten uit langs verschillende gradiënten (Coates et al., 2013a)

Voor het epibenthos werden enkele verschillen genoteerd tussen het randgebied en de referentiegebieden van de Thorntonbank en de Blighbank (Vandendriessche *et al.*, 2013c). Op de Blighbank werd de voorbije jaren een stijging waargenomen van het aantal soorten en biomassa op de zandbank binnen het windpark, zowel in de lente als in de herfst (Figuur 5-96). Dit is waarschijnlijk te wijten aan de aanwezigheid van turbines en hun begroeiing, en aan de afwezigheid van bodemvisserij. Stijgingen werden enkel waargenomen bij reeds dominante aaseters zoals echinodermata en heremietkreeften. Er werden nog geen tekenen waargenomen van herstel van populaties van langlevende soorten die gevoelig zijn voor bodemvisserij. De geobserveerde effecten zijn daarenboven niet consistent tussen de 2 parken. Dit kan te wijten zijn aan verschillen in gemeenschappen, de zandbank topografie, (historische) visserij intensiteit, de leeftijd van de windparken en het type fundering.



Figuur 5-96 Biomassa tijdens de herfst van het epibenthos in de periode 2008-2012 op de Blighbank (Blauw: referentiezone – top zandbank, paars: impactzone – top zandbank) (Vandendriessche et al., 2013c)

Doordat het gebied afgesloten wordt voor (boomkor)visserij, wordt ook een refugium gecreëerd voor het benthos. Het verlies van bodemorganismen ten gevolge van visserij (sterfte van 5-65%) wordt hierdoor vermeden (E-connection, 2007). Lindeboom (2005) heeft berekend dat de effecten van de boomkorvisserij op het Nederlands Continentaal Plat het benthos 1.000-100.000 keer zwaarder belasten dan die van (het ruimtebeslag door) de offshore industrie, de zandwinning en de kabels en leidingen, gebruikersfuncties die te vergelijken zijn met de aanleg en de exploitatie van een offshore windpark. De directe negatieve invloed van de boomkorvisserij op het BDNZ zal naar verwachting dus hoger zijn dan de negatieve invloed die de funderingen, erosiebescherming en kabels uitoefenen op het mariene leven.

Onderzoek in een voor visserij gesloten veiligheidszone rond een offshore installatie op het Friese Front liet een veel beter ontwikkelde fauna zien dan in referentiegebieden op grote afstand van dit platform (Bergman *et al.*, 2005).

Waterkwaliteit

Zoals besproken onder de discipline water, zal de waterkwaliteit niet negatief beïnvloed worden door het project. Er worden ook geen effecten verwacht in de zuurstofhuishouding. Er worden bijgevolg geen effecten (0) verwacht op het onderwaterleven.

Geluidsverstoring en trillingen

Trillingen en drukveranderingen ten gevolge van geluid kunnen ook een effect hebben op invertebraten zoals schaaldieren (Crustacea) (Popper *et al.*, 2001). Een onderzoek naar de vluchtreactie van de grijze garnaal (*Crangon crangon*) bij vibratie van de grond als gevolg van vangmateriaal voor garnalen toonde aan dat deze vluchtreactie eerder het gevolg was van de verandering van de stroming dan van de vibratie van de grond (Vella *et al.*, 2001). Gezien het negatieve effect van geluid op het benthos tijdens de constructiefase als verwaarloosbaar (0/-) wordt ingeschat, wordt het effect tijdens de exploitatiefase als vrijwel onbestaande (0) beoordeeld voor beide windparken en alle configuratiealternatieven.

Andere vormen van verstoring

Er kan tengevolge van hersteloperaties tijdens de operationele fase (bvb. eventuele aanpassingen aan de erosiebescherming) mogelijke verstoring door sedimentatie plaatsvinden, maar dit effect zal zeer klein zijn in vergelijking met deze vorm van verstoring tijdens de constructiefase.

Voor de verschillende configuratiealternatieven en de basisscenario's van beide windparken worden geen effecten verwacht (0) voor het benthos ten gevolge van verstoring tijdens de operationele fase.

5.4.3.1.3 Ontmantelingsfase

Algemeen mag worden gesteld dat de effecten van de ontmantelingfase gelijkaardig zullen zijn aan die van de bouwfase, maar dat de intensiteit van voorkomen veel lager zal zijn.

De geluidsverstoring blijft bijvoorbeeld beperkt tot de geluiden geproduceerd door de betrokken scheepvaart en de ontmantelingsactiviteiten (afzagen van de funderingspalen tot 2 m onder de zeebodem; weghalen gravitaire fundering). De significante geluidsverstoring ten gevolge van het heien (MP/ JF) tijdens de constructiefase is tijdens de ontmantelingsfase niet meer aanwezig.

Ook het biotoopverlies en het daarmee gepaard gaande verlies aan organismen blijft beperkt tot de oppervlaktes die effectief verstoord worden tijdens de ontmantelingsfase. Er zal dus geen indirect biotoopverlies meer plaatsvinden ten gevolge van stockage (bij keuze voor de gravitaire fundering).

Er zal tijdelijke verstoring in het gehele concessiegebied optreden door het omwoelen van de zeebodem en de hierbij gepaard gaande sedimentatie die beiden kunnen leiden tot verstoppingen van filterorganen van benthische organismen en wijzigingen in de turbiditeit. Aangezien er tijdens de ontmantelingsfase niet gebaggerd wordt, blijft de impact door sedimentatie beperkt ten opzichte van de constructiefase.

De effecten variëren van (vrijwel) geen effect (0) tot een gering negatief effect (0/-), afhankelijk van het configuratiealternatief (aantal turbines, funderingstype).

5.4.3.1.4 WEC

De effecten op het benthos ten gevolge van de constructie van de wave energy converters (WEC's) zullen gelijkaardig, maar veel minder intensief zijn dan voor de windturbines, gezien de geringe oppervlakte die ze innemen op de bodem.

Tijdens de operationele en ontmantelingsfase worden er geen effecten verwacht op het benthos.

Biotoopverlies en verlies aan organismen

Door de installatie van de funderingen van de WEC's wordt analoog met de windturbines een gedeelte van het oorspronkelijk zachte biotoop door nieuwe structuren ingenomen. Het biotoopverlies zal het grootst zijn bij de keuze voor de Seabased WEC's. Per basisveld worden immers 160 units met een betonnen fundering geïnstalleerd. In Tabel 5-66 wordt een overzicht gegeven van de biotoopverstoring en het biomassaverlies, rekening houdend met oppervlakte van 28 m² per unit (doorsnede fundering 6 m). De biotoopverstoring is recht evenredig met het verlies aan benthische organismen. Net zoals voor de biotoopverstoring bij de constructie van de windturbines, kan het verlies aan biomassa (macro- en epibenthos) geraamd worden op ongeveer 33 g/m² natgewicht (zie § 5.4.3.1.1).

Tabel 5-66 Biotoopverstoring en biomassaverlies door de installatie van Seabased WEC's

	Aantal units	Biotoopverstoring (m²)	Biomassaverlies (kg)
1 basisveld	160 (4,8 MW)	4.500 m²	150 kg
4 basisvelden	640 (19,2 MW)	18.000 m²	600 kg
12 basisvelden	1.920 (57,6 MW)	54.000 m²	1.800 kg

In vergelijking met de windturbines zijn de effecten van de biotoopverstoring en het verlies aan organismen voor de WEC's in het worst case scenario ongeveer van de zelfde grootteorde als de JF windturbines in de basisconfiguratie. Zoals eerder aangehaald zijn de projectgebieden niet aangeduid als beschermd gebied of gebied met belangrijke natuurwaarden (Degraer *et al.*, 2009), waardoor de invloed van de mortaliteit op de biomassa of op het functioneren van het plaatselijke ecosysteem als gering negatief (0/-) wordt beschouwd. Indien gekozen wordt voor andere WEC types zal het effect kleiner zijn gezien het geringe aantal units nodig om hetzelfde geïnstalleerd vermogen te bereiken.

Verstoring door sedimentatie

Baggerwerken of nivelleringen zijn voor geen enkel type WEC van toepassing. Verstoring door sedimentatie is dan ook onbestaande (0)

Geluidsverstoring en trillingen

De Wavestar is het enige beschouwde WEC-type waarvoor er geheid dient te worden. Dit voorbeeldtype kan dan ook als het worst case scenario beschouwd worden voor de effecten van geluidsverstoring en trillingen. De andere typevoorbeelden worden aan de zeebodem bevestigd door middel van ankers of gravity-based structuren.

Voor de windturbines worden de effecten van het heigeluid als gering negatief beoordeeld (§ 5.4.3.1.1). Aangezien de diameter van de palen van de Wavestar 3-4 m bedraagt, wat in de grootteorde ligt tussen monopiles en JF, wordt het effect van de geluidsverstoring tijdens de constructiefase dus eveneens als gering negatief beoordeeld (0/-).

5.4.3.1.5 Bekabeling

Er worden twee kabeltracé opties per park voorgesteld naar de Alpha-installatie, plus een fall-back optie tot aan land. Voor een gedetailleerde beschrijving van de kabelalternatieven wordt verwezen naar hoofdstuk 4 (§ 4.3.2).

De lengte van de parkkabels zal voor beide windparken verschillen per configuratiealternatief daar het aantal en de ligging van de windturbines hiervoor bepalend is. Ook voor de WEC's is de lengte van de bekabeling afhankelijk van het typevoorbeeld en het aantal units dat geïnstalleerd wordt. De onderstaande effectbeschrijving is dus geldig zowel voor de verschillende configuratiealternatieven van beide windparken als voor de basisscenario's en de WEC's. Voor de mogelijke effecten ten gevolge van verschillende offshore kabeltracés wordt verwezen naar het hoofdstuk 'Cumulatieve effecten' (§ 6.3.5).

De belangrijkste effecten op het benthos tengevolge van de bekabeling zijn:

- Biotoopverstoring;
- Turbiditeit;
- Elektromagnetische velden;
- Opwarming.

Biotoopverstoring

Zowel tijdens de voorbereidingswerken als tijdens de offshore installatie van de kabels zal er een tijdelijke en lokale biotoopverstoring optreden. Tijdens de voorbereidingswerken zal dit vooral het geval zijn tijdens de nivellering of pre-sweeping en pre-run, aangezien hierbij een soort van sleep- en/of baggertechniek zal gehanteerd worden, waarbij de bodem lokaal wordt omgewoeld.

In Tabel 5-67 wordt een overzicht gegeven van de totale lengte aan parkkabels, verbindingskabels en exportkabels in een worst case scenario. Dit worst case scenario hangt af van het configuratiealternatief en het type parkkabel. Voor de parkkabels zal het aantal km het hoogst zijn voor configuratie 1 (grootste aantal turbines) en ook bij het gebruik van 33 kV parkkabels is de totale lengte iets langer dan wanneer er 66 kV kabels worden gebruikt. Indien gekozen wordt voor Optie A en de verschillende 66 kV verbindingskabels rechtstreeks op Alpha aansluiten, is het aantal km kabel veel groter dan bij de keuze voor Optie B (2 verbindingskabels naar Alpha via een OHVS).

Voor de kabels buiten de parken (verbindingskabels en exportkabels) bestaat de kans dat er geopteerd wordt om de kabelsleuven te baggeren (trenchen). Hierbij is de bodemverstoring veel groter dan bij jetten of ploegen: de breedte van het verstoorde oppervlak op de zeebodem bedraagt per kabel ca. 100 m in Het Scheur, 35 m in de Westpit en elders 20 m. Daarenboven dient ook een stockageplaats te worden aangeduid door de BMM waar het gebaggerde materiaal tijdelijk kan worden opgeslagen. Ook hier zal alle bodemleven gedood worden. Daarbij komt dat door de baggerverliezen (ca. 30%) nog extra sediment zal moeten worden gewonnen om de gebaggerde zone terug op te vullen.

Wat betreft de WEC's wordt als worst case scenario de Seabased WEC beschouwd, aangezien hiervoor de lengte van de parkkabels het grootst zal zijn door het groot aantal units. Voor 1 basisveld met 160 Seabased units zal de lengte van de parkkabels ca. 9 km bedragen.

Tabel 5-67 Overzicht van het maximaal aantal km en het maximale verstoorde oppervlak voor de parkkabels (WTG's + WEC's), verbindingskabels en exportkabels voor Mermaid en Northwester 2

Kabeltype	Optie	Mermaid		NW2	
		Maximaal aantal km	Maximale oppervlakte verstoring	Maximaal aantal km	Maximale oppervlakte verstoring
Parkkabels WTG's	A (rechtstreeks)	50 km	25 ha	35 km	18 ha
	B (via OHVS)	50 km	25 ha	39 km	17 ha
Verbindingskabels	A (rechtstreeks)	6 x 22 km	264 ha	4 x 11,8 km	94 ha
	B (via OHVS)	2 x 20 km	80 ha	2 x 15,5 km	62 ha
Parkkabels WEC's	Seabased (12 basisvelden)	108 km	54 ha	N/A	N/A

Per kruising van een bestaande kabel of leiding zullen matten of een gelijkwaardig systeem worden aangebracht over een oppervlakte van ca. 500 m², waardoor de oorspronkelijke zandige bodem wordt ingenomen door harde substraten (zie § 5.4.3.5.1).

Gezien deze verstoringen in vergelijking met het volledige BDNZ als beperkt in omvang aanzien kunnen worden en de werkzaamheden slechts tijdelijk van aard zullen zijn, wordt het effect van biotoopverstoring op het benthos als verwaarloosbaar (0/-) beoordeeld. Indien gekozen wordt om de kabels te jetten of ploegen i.p.v. trenchen zal het verstoorde oppervlak veel kleiner zijn.

Dit besluit wordt tevens bevestigd door een onderzoek in de Baltische Zee uitgevoerd door Andrulewicz *et al.* (2003), waarbij de impact van het leggen van de SwePol Link transmissiekabel op de macrobenthosgemeenschap bepaald werd. Een vergelijking van de macrobenthosgemeenschap vóór en één jaar na het leggen van de kabel geven aan dat er geen wezenlijke veranderingen zijn inzake compositie, abundantie en biomassa wat zou kunnen gerelateerd zijn aan de biotoopverstoring als gevolg van de aanleg van de kabel. Enkel in een bepaalde zone waar een minder dynamische bodem aanwezig is, zijn er geringe indicaties dat het leggen een impact heeft op het macrobenthos. In deze zone werd vastgesteld dat de grootte van de individuen een jaar na het leggen van de kabel minder groot was dan voor het leggen van de kabel. Bijkomend kan uitgegaan worden van een natuurlijk herstel van de benthosgemeenschap na de werkzaamheden.

Verstoring door turbiditeit

Tijdens bepaalde voorbereidingswerken (nivellering of pre-sweeping, pre-run) en het leggen van de kabels zal er een verhoogde sedimentatie en turbiditeit optreden in de onmiddellijke omgeving van de werken. De grootteorde van de verhoogde turbiditeit zal afhankelijk zijn van de gebruikte techniek, namelijk ploegen, jetten, trenchen of een combinatie van technieken. Bovendien hangt de turbiditeit samen met het type materiaal dat gebaggerd wordt. Zoals vermeld in § 5.4.2.1.2 is dit voornamelijk zand waardoor de straal waarbinnen het sediment terug bezinkt vrij gering zal zijn.

Aangezien het BDNZ van nature een zeer dynamisch systeem is, en de benthische levensgemeenschappen goed zijn aangepast aan een natuurlijke hoge input van gesuspendeerd materiaal, wordt de impact als aanvaardbaar beschouwd voor beide windparken (IMDC, 2010a). Er kan dus verondersteld worden dat de verstoring door de voorbereidingswerken en het leggen van de kabels vrijwel onbestaande (0) zal zijn indien gekozen wordt voor ploegen of jetten en gering negatief (0/-) indien gekozen wordt voor trenchen.

Ondanks het besluit dat de impact voor beide types kabels en uitvoeringswijzen als zeer tijdelijk en lokaal wordt beoordeeld, leidt jetten tot minder verstoring van het onderwaterleven en de waterkwaliteit, en tot een lager risico op beschadiging van de kabels (BERR, 2008). Waar mogelijk, in functie van de lokale grondkarakteristieken, zou dus voorgesteld worden om de kabeltracés te jetten. Ondanks deze lichte voorkeur wordt ook voor ploegen vrijwel geen effecten verwacht voor het benthos.

Elektromagnetische velden

De transmissie van elektriciteit door zeekabels leidt tot het opwekken van elektromagnetische velden. Deze elektromagnetische velden zijn afhankelijk van het type kabel, van het getransporteerd elektrisch vermogen doorheen de kabel en van de gebruikte techniek van energietransport. Gezien in de mechanische opbouw van elektrische zeekabels, de geleidende kern van de kabel aan de binnenzijde van de kabel steeds omgeven is door een elektrisch geaard scherm, zullen er nooit elektrische velden optreden omheen de kabel. De magnetische velden, opgewekt door de stromen in de kabel, kunnen wel optreden en zijn afhankelijk van de stroomsterkte. De techniek van energietransport die in voorliggend project gebruikt zal worden, gaat uit van heel laag frequent driefasige wisselstroom (50Hz). De symmetrische constructie van de drie aders in de kabel leidt tot een sterke reductie van elektrische en magnetische velden doordat de afzonderlijke velden elkaar grotendeels opheffen door het faseverschil in de spanningen en de stromen. Hierdoor zijn de EMV grotendeels geneutraliseerd ter hoogte van het kabeloppervlak (OSPAR, 2008b). Dit wordt bevestigd door recente metingen in de operationele windparken van C-Power en Belwind (BMM, 2013).

Sommige invertebraten zijn waarschijnlijk gevoelig voor elektromagnetische velden, al is onduidelijk of dit ook voor deze heel laag frequent driefasige wisselstromen het geval is. Door gebrek aan beschikbare kennis en registraties in het veld is de grootte van de impact en de oorzaak-relatie nog niet voldoende gekend (Gill *et al.*, 2005; Dong Energy *et al.*, 2006, BERR, 2008, Woodruff *et al*., 2012). Voor de gewone garnaal (*Crangon crangon*) en de mossel (*Mytilus edulis*) is aangetoond dat ze zich aangetrokken voelen tot magnetische velden van de grootteorde die verwacht wordt rond de windparken, maar dat deze effecten niet als significant (0) worden beschouwd (ICES, 2003; Bochert & Zettler, 2004).

Opwarming

De effecten van het opwarmen van de zeebodem en de waterkolom door de aanwezigheid van kabels wordt besproken in de discipline ‘Bodem en water’ (§ 5.2).

Bij gebrek aan veldgegevens is het moeilijk om de effecten van de verhoogde temperatuur op benthos in te schatten. Mogelijks kan een temperatuursstijging ook een verandering in de biogeochemische karakteristieken van de zeebodem veroorzaken met mogelijke gevolgen voor de benthische fauna en flora. Deze effecten zullen naar alle waarschijnlijkheid groter zijn in ondiepe gebieden of gebieden met een hoog organisch gehalte (OSPAR, 2008b). Ook hier is onderzoek nodig om deze gegevens te bevestigen.

Op basis van het feit dat de meeste bodemdieren zich in de bovenste laag van de zeebodem bevinden (tot op ca. 20 cm vanaf het oppervlak), de warmte-productie door de ingegraven kabels hier eerder gering is en de effecten zeer lokaal zijn, worden er geen effecten verwacht van opwarming op zowel macro- als epibenthos (0).

5.4.3.1.6 Besluit bespreking en beoordeling van de effecten op benthos

Samenvattend worden de effecten op benthos weergegeven in Tabel 5-68 voor Mermaid en Tabel 5-69 voor Northwester 2, voor zowel de basisconfiguraties als de diverse configuratiealternatieven. Volgende definities zijn van toepassing: significant positief (++), matig positief (+), gering positief (0/+), (vrijwel) geen effect (0); gering negatief (0/-), matig negatief (-), significant negatief (--).

Tabel 5-68 Overzicht van de effecten op benthos voor het Mermaid windpark (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering, St: statische erosiebescherming, Dyn: dynamische erosiebescherming)

Configuratie	**Basis**				**1**			**2**		**3**	
Funderingstype	MP		JF	GBF	MP		JF	JF	GBF	JF	GBF
	St	Dyn			St	Dyn					
Constructiefase											
Biotoopverstoring	0/-	0/-	0/-	-	0/-	0/-	0/-	0/-	-	0/-	-
Verlies aan organismen	0/-	0/-	0/-	-	0/-	0/-	0/-	0/-	-	0/-	-
Verstoring door sedimentatie en turbiditeit	0/-	0/-	0/-	-	0/-	0/-	0/-	0/-	-	0/-	-
Geluidsverstoring en trillingen: standaard techniek	0/-	0/-	0/-	0	0/-	0/-	0/-	0/-	0	0/-	0
Geluidsverstoring en trillingen: suction bucket techniek	0	0	0	n.v.t.	0	0	0	0	n.v.t.	0	n.v.t.
Operationele fase											
Waterkwaliteit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Geluidsverstoring en trillingen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andere vormen van verstoring	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ontmantelingsfase											
Analoog constructiefase	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
WEC											
Biotoopverstoring	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Verstoring door sedimentatie en turbiditeit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Geluidsverstoring	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Bekabeling (WTG+WEC)											

Configuratie	Basis				1			2		3	
Biotoopverstoring	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Verstoring door Turbiditeit bij jetten/ploegen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Verstoring door turbiditeit bij trenchen	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Elektromagnetische velden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opwarming	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 5-69 Overzicht van de effecten op benthos voor het Northwester 2 windpark (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering, St: statische erosiebescherming, Dyn: dynamische erosiebescherming)

Configuratie	Basis				1			2		3	
Funderingstype	MP		JF	GBF	MP		JF	JF	GBF	JF	GBF
	St	Dyn			St	Dyn					
Constructiefase											
Biotoopverstoring	0/-	0/-	0/-	-	0/-	0/-	0/-	0/-	-	0/-	-
Verlies aan organismen	0/-	0/-	0/-	-	0/-	0/-	0/-	0/-	-	0/-	-
Verstoring door sedimentatie en turbiditeit	0/-	0/-	0/-	-	0/-	0/-	0/-	0/-	-	0/-	-
Geluidsverstoring en trillingen: standaard techniek	0/-	0/-	0/-	0	0/-	0/-	0/-	0/-	0	0/-	0
Geluidsverstoring en trillingen: suction bucket techniek	0	0	0	n.v.t.	0	0	0	0	n.v.t.	0	n.v.t.
Operationele fase											
Waterkwaliteit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Geluidsverstoring en trillingen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andere vormen van verstoring	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ontmantelingsfase											
Analoog constructiefase	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Bekabeling											
Biotoopverstoring	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Verstoring door turbiditeit bij jetten/ploegen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Verstoring door turbiditeit bij trenchen	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Elektromagnetische velden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opwarming	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ondanks dat gravitaire funderingen een matig negatief effect kunnen hebben op de windparken, kunnen deze effecten gerelativeerd worden indien ze gekaderd worden ten opzichte van de afgebakende windconcessiezone of het BDNZ. Op die manier kan worden aangetoond dat deze effecten aanvaardbaar blijven daar hun ruimtelijke impact relatief beperkt blijft en het ecosysteem van de Noordzee niet wordt bedreigd. Dit is bijvoorbeeld het geval voor biotoopverstoring.

De effecten op het benthos worden hierdoor als vrijwel onbestaande tot matig negatief ingeschat en kunnen dus allen als aanvaardbaar beschouwd worden.

5.4.3.2 Vissen

Sommige effecten op de vissen zijn gelijkaardig aan die beschreven voor het deel ‘Benthos’. Er zal dan verwezen worden naar die paragrafen. De andere nog niet besproken effecten op vissen worden in dit deel beschreven.

5.4.3.2.1 Constructiefase

De effecten die kunnen optreden op vissen tijdens de bouwfase zijn:

- Biotoopverstoring;
- Verlies aan organismen;
- Verstoring door sedimentatie en turbiditeit;
- Geluidsverstoring en trillingen.

Biotoopverstoring

De biotoopverstoring is voor de demersale vissen volledig gelijkaardig aan het benthos (§ 5.4.3.1.1).

Verlies aan organismen

Aangezien vissen mobieler zijn dan het benthos, zal het verlies aan organismen tengevolge van direct biotoopverlies en indirecte biotoopverstoring (stockage) minder uitgesproken zijn (0).

Tijdens het heien is het mogelijk dat ook vissen die zich dicht bij de hei-installatie bevinden, gewond raken of sterven door de gepaard gaande trillingen en geluidsfrequenties. Mogelijk zou heien ook kunnen leiden tot een verhoogde mortaliteit van vislarven (Bos *et al.*, 2009). Voor een verdere bespreking van de mogelijke gevolgen wordt verwezen naar de paragraaf “Geluidsverstoring en trillingen”.

Verstoring door sedimentatie & turbiditeit

Tijdens de bouwfase zal het volledige concessiegebied algemeen verstoord worden. De potentiële verstoring zal voornamelijk bestaan uit het opwoelen van de zeebodem en de wijziging van de turbiditeit.

Alle levensstadia van vissen zullen tijdelijk verstoord worden door het omwoelen van de zeebodem, door onderwaterbewegingen en andere activiteiten op de zeebodem. De kans is groot dat zij zullen wegtrekken van de plaats waar de werkzaamheden worden uitgevoerd zodat het effect minder groot zal zijn dan bij sedentaire organismen (IMDC, 2010a). Het gering negatieve effect (0/-) zal dus tijdelijk zijn en naar verwachting zullen de organismen snel naar het projectgebied terugkeren zodra de bouwfase achter de rug is.

Op zich kan de verstoring ook een gering positieve impact (0/+) hebben: de verhoogde beschikbaarheid van prooidieren door o.a. het omwoelen van het sediment. De mate waarin dat van invloed kan/zal zijn, is niet bekend. Ten slotte is er het gewenningsaspect, waarover geen informatie beschikbaar is.

Het is moeilijk in te schatten of het projectgebied ook dienst doet als paaigebied van bepaalde vissoorten, zoals op de Thorntonbank, en de mogelijke gevolgen hiervoor. In het verleden zijn enkele traditionele gebieden aangegeven waar de Noordzee haring vroeger paaide, maar het blijkt moeilijk om a priori gebieden af te bakenen waar haring ook effectief zal paaien omdat het aantal paaigebieden afhankelijk is van het voorplantingssucces en de omvang van de stock (BMM, 2013). Voor het project Lecofish werden commerciële en recreatieve vissers gevraagd aan te duiden waar in het BDNZ zich de paaigebieden bevinden van enkele commerciële vissoorten (Maes *et al*., 2012). De paaigebieden voor schol, zeebaars, tong en haring aangeduid door de vissers bevinden zich alvast op erg grote afstanden tot de windparken. Indien ongekende paai- en kraamgebieden tijdens de constructiefase toch worden verstoord, zullen ze zich waarschijnlijk snel herstellen en opnieuw aantrekkelijk worden tijdens de operationele fase.

Er kan besloten worden dat de beschreven negatieve effecten tengevolge van sedimentatie als niet significant (0) worden beschouwd voor de vissen. De monitoringsstudies in Horns Rev en Nysted (Dong energy *et al.*, 2006) en de eerste resultaten van C-Power (Vandendriessche *et al.*, 2009) blijken dit te bevestigen.

Geluidsverstoring en trillingen

Een belangrijke verstoring tijdens de bouwfase is de productie van geluid en trillingen voornamelijk tengevolge van het heien (bij monopile en jacket funderingen), maar ook door het baggeren van funderingsputten (bij GBF), het leggen van kabels en de toegenomen scheepvaart. Het bepalen van de grootte van de verstoring is niet evident daar er nog veel onzekerheden bestaan o.a. rond transmissieverliezen en dus ook rond de reikwijdte van de geluidsverstoring. Veel hangt af van de lokale omstandigheden zoals bodemsamenstelling en -profiel, waterdiepte, wind en weersomstandigheden (Huddleston, 2010).

De omgeving onder water is van nature reeds zeer lawaaierig met geluid afkomstig van regen en wind, golven, getijdenstromingen en onderwaterfauna. Op de Blighbank werd voor de komst van de windparken een gemiddeld geluidsniveau van 95 tot 100 dB (re 1µPa) bij gunstige weersomstandigheden en 130 dB bij minder gunstige weersomstandigheden waargenomen (§ 5.3.2.2). Daarnaast vormen antropogene geluiden, zoals het geluid en de trillingen van scheepsmotoren één van de belangrijkste geluidsbronnen onder water.

Vissen horen het geluid op verschillende manieren. Veel soorten horen van 30 Hz tot 1 kHz. Sommige soorten horen de infrasoon (< 20 Hz) en de ultrasoon (> 20 kHz) geluiden. De grootte van het effect of de schade is dus mede afhankelijk van de gevoeligheid van een bepaalde vissoort voor het geluid (Huddleston, 2010). Bij lage frequenties (tot 30 Hz) komt de geluidsgevoeligheid bij veel vissoorten redelijk overeen. Bij hoge frequenties is deze gevoeligheid afhankelijk van een aantal factoren: aan- of afwezigheid van de zwemblaas, hoeveelheid lucht in de zwemblaas en of de blaas in verbinding staat met het binnenoor (Vella *et al.*, 2001; Huddleston, 2010).

Vissen kunnen op die manier ingedeeld worden in drie groepen met betrekking tot de gevoeligheid voor geluid:

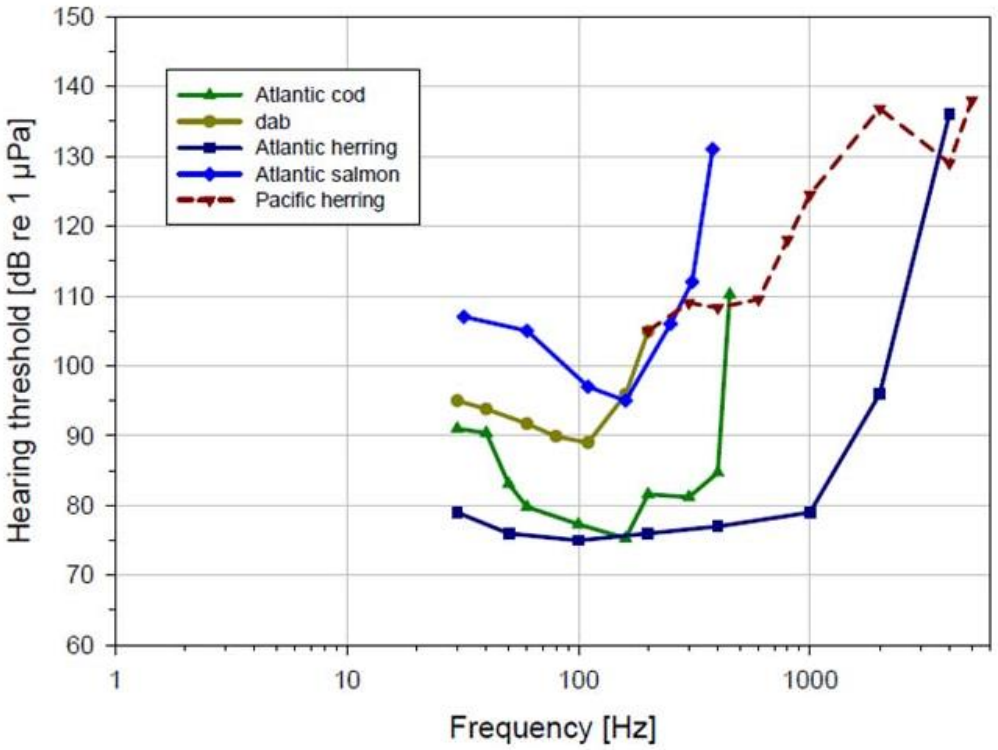
- 'non-specialists': geen zwemblaas; minst gevoelig; bvb. zalm;
- 'hearing generalist': zwemblaas niet verbonden met binnenoor; matig gevoelig; bvb. kabeljauw, schar;
- 'hearing specialist': zwemblaas in verbinding met binnenoor; zeer gevoelig; bvb. haring, sprot.

Om zich te handhaven dienen vissen doelmatig te reageren op roofvijanden en prooien. Ook de fysieke omgeving vraagt aandacht, net als de communicatie met soortgenoten. Bij al deze levensfuncties en gedragingen speelt geluid een rol. Vissen kunnen geluid maken om een vijand af te schrikken, om partners te lokken en kunnen contactgeluid gebruiken om in schoolverband te zwemmen (Grontmij, 2006). In relatief troebele wateren kan geluid een belangrijke rol spelen. De emissies van geluid en trillingen in de mariene waterkolom kunnen leiden tot een gedragsverandering of een reductie van de habitatgrootte. (Petersen & Malm, 2006).

Er worden vier zones van geluidsinvloeden gedefinieerd, afhankelijk van de afstand tot de geluidsbron (Richardson *et al.*, 1995; Huddleston, 2010):

- Een zone waarbinnen het dier in staat is om de geluiden van het windpark waar te nemen;
- Een zone waarbinnen het dier een zekere vorm van gedragsverandering vertoont;
- Een zone waarbinnen het geluid afkomstig van het windpark interfereert met andere geluiden zoals communicatiesignalen;
- Een kleine zone dichtbij de geluidsbron waar tijdelijke of permanente gehoorschade kan optreden (beschadigingen aan haarcellen in het binnenoor), of kan leiden tot interne bloedingen (door het hele lichaam), tot orgaanschade (lever, nieren) door plotselinge expansie van de zwemblaas en zelfs een ruptuur van de zwemblaas (direct dodelijk).

Veel studies baseren zich op een aantal doelsoorten met een verschillende gevoeligheid voor geluid om de geluidseffecten van het heien in kaart te brengen. De audiogrammen van vier doelsoorten: zalm, kabeljauw, haring en schar worden weergegeven in Figuur 5-97. Algemeen kan wel gesteld worden dat de gehoorsrange van de meeste vissen zich situeert binnen de range van < 50 Hz tot 500-1.500 Hz (Huddleston, 2010).



Figuur 5-97 Audiogram van zalm, kabeljauw, haring en schar (Thomsen et al., 2006)

De meeste energie van het heigeluid (bij frequenties < 1 kHz) binnen de gehoorsrange van de beschouwde soorten overschrijdt het achtergrondgeluid tot op 80 km (Thomsen *et al.*, 2006). De paaldiameter zou de meest bepalende factor zijn naast aantal, type zeebodem, waterdiepte en duurtijd. In termen van milieueffecten zijn de zones waarbinnen gedragsveranderingen of schade kunnen optreden van groter belang.

Mogelijke gedragsveranderingen tengevolge van heigeluid zijn vermijding, vluchtreacties, alarmrespons, verandering in scholingsgedrag, etc. Een geluidsniveau van 90 dB_{ht}[6] wordt vooropgesteld als drempelwaarde waarbij significante vermijdingsreacties zullen plaatsvinden (Nedwell *et al.*, 2003; Nedwell *et al.*, 2007; Thomsen *et al.*, 2006). Kleine gedragsveranderingen worden reeds vanaf 70 dB_{ht} verwacht (Nedwell *et al.*, 2007). Tabel 5-70 geeft een overzicht van berekende ranges waarbij bepaalde organismen een significant vermijdingsgedrag vertonen tengevolge van de productie van geluid tijdens het heien (Nedwell *et al.*, 2003). Gelijkaardige metingen (90 dB_{ht} range) voor het Burbo offshore windpark in het Verenigd Koninkrijk (4,7 m Φ palen; ca. 10 m waterdiepte) geven volgende waarden: schar en zeebaars (500 m), kabeljauw (2 km) en haring (2,6 km) (Nedwell *et al.*, 2007).

[6] dB_{ht} is een maatstaf voor het geluidsniveau boven de gehoordrempel van een diersoort, of het 'perceptieniveau'

Tabel 5-70 Ranges (90 dB_{ht}) waarbij bepaalde organismen vermijdingsgedrag vertonen tengevolge van heiactiviteiten (Nedwell et al., 2003)

Soort	Berekende range voor significant vermijdingsgedrag (m)	Berekende range voor significant vermijdingsgedrag (m) voor 4,3 m Φ palen	Berekende range voor significant vermijdingsgedrag (m) voor 6,5 m Φ palen
Zalm	1.400	460	1.100
Kabeljauw	5.500	-	
Schar	1.600		
Zeebaars	-	450	
Haring	-	1.630	

Uit Tabel 5-70 volgt dat de invloed van het geluid soortspecifiek is en bovendien bepaald wordt door de diameter van de palen. Op basis van 90 dB_{ht} waarde kan besloten worden dat vermijdingsreacties kunnen plaatsvinden in een zone van enkele kilometers. Er moet de nodige voorzichtigheid in acht genomen worden gezien er nog grote onzekerheid heerst betreffende het extrapoleren van deze experimentele waarden (Hastings & Popper, 2005; Thomsen *et al.*, 2006; OSPAR, 2006). De graad van schade blijkt daarenboven niet direct gerelateerd met de afstand tot de heiplaats, maar eerder met het niveau en de duur van de geluidsblootstelling (Hastings & Popper, 2005).

Tijdelijke gehoorschade zou eerder voorkomen bij ‘hearing specialists’ (bvb. haring) dan bij ‘hearing generalists’ (bvb. schar), maar de graad van schade tengevolge van hei-pulsen blijft moeilijk te bepalen. Vissterfte als gevolg van heigeluid kan direct zijn of indirect, bijvoorbeeld doordat meeuwen vissen oppikken die tijdelijk verdoofd aan het oppervlak komen. Vissterfte is vastgesteld in Amerikaanse studies waarbij een onderscheid gemaakt wordt in directe vissterfte binnen een zone van ca. 10 m rond de turbine en uitgestelde vissterfte (door inwendige schade) tot op afstanden van minimaal 150 m tot de geluidsbron (Thomsen *et al.*, 2006). Sterfte door onderwatergeluid neemt af met afstand tot de bron, afhankelijk van de lokale omstandigheden en de betrokken vissoorten (Hastings & Popper, 2005).

Daarenboven wordt de grootte van het effect ook bepaald door welke ecologische functies er door deze invloedssfeer in het gedrang komen, en of deze functies een tijdelijk of permanent karakter hebben. Indien bijvoorbeeld hierdoor bepaalde paaigebieden of migratieroutes verstoord worden en dit in de meest gevoelige periodes, dan zal het effect zwaarder doorwegen.

De beschikbare data suggereert dus dat geluid tengevolge van de constructie van het windpark kan leiden tot gedragsveranderingen (vermijding) bij vissen tot op enkele kilometers van het brongeluid. Fatale gevolgen of fysische schade door het heien zijn beperkt tot een kleine afstand (enkele honderden meters) van de bron. De literatuurgegevens blijken nogal uiteenlopende resultaten te geven, waardoor er nog veel onzekerheid bestaat rond de grootte van het effect voor vissen (zowel op korte als lange termijn). Veel hangt namelijk af van de lokale karakteristieken van het projectgebied, de configuratie en de voorkomende soorten. De lopende monitoringsprogramma’s van de vergunde windparken zullen deze leemte in kennis deels invullen.

Naast de mogelijke effecten op adulte vispopulaties, kunnen ook de vislarven effecten ondervinden van heiactiviteiten. Vislarven kunnen zich enkel passief verplaatsen via de zeestroming, dit in tegenstelling tot juveniele en adulte vissen die actief kunnen wegzwemmen van een geluidsbron. Hierdoor kunnen vislarven meer effecten ondervinden van onderwatergeluid dan oudere levensstadia (Bolle *et al.*, 2011). Popper & Hasting (2009) rapporteren verminderde groei en levensvatbaarheid tot directe sterfte van viseieren en vislarven. Dit heeft gevolgen voor het transport van vislarven van paaigronden naar kraamgebieden. Volgens Prins *et al.* (2008; 2009) mag aangenomen worden dat mortaliteit optreedt binnen een straal van 1 km van de geluidsbron (gebaseerd op een hydrodynamisch model met gegevens over het transport van larven van haring, schol en tong). Het resultaat was een vermindering van de aanvoer van larven van bepaalde vissoorten naar de kust van 5 tot 10% wat als significant kan beschouwd worden in het kader van Natura 2000 (Prins *et al.*, 2009). Alles lijkt erop te wijzen dat deze aanname als een worst case scenario beschouwd kan worden en initiële resultaten tonen aan dat dit waarschijnlijk een overschatting betreft (Prins *et al.* 2009; BMM, 2011b). Nederlands onderzoek (Bolle *et al.*, 2012) waarbij tijdens experimenten verschillende ontwikkelingsstadia blootgesteld werden aan verschillende niveaus en duur van heigeluid, kon geen significante effecten aantonen op larven van tong. Momenteel loopt ook aan de Ugent een onderzoek naar de impact van heien op de eieren en larven van de zeebaars, in het labo en in situ. Uit de voorlopige resultaten van de labotesten blijkt dat de larven een hogere directe mortaliteit vertonen bij blootstelling aan sterke impuls geluiden (ca. 500-3.000 Hz, > 200 dB) in vergelijking met de controlegroep (Debusschere *et al.,* 2013a, 2013b). Uit de in situ experimenten blijkt dat de larven van zeebaars (68 en 115 dagen oud) geen directe of uitgestelde mortaliteit noch macroscopische effecten aan hun skelet vertonen tot 14 dagen na blootstelling aan het geluid geproduceerd door heiactiviteiten en dit op slechts 45 m afstand van de bewuste geluidsbron (cumulatief geluid tussen 215 en 222 dB re 1 µPa².s). Er werd wel een verminderde respiratie geregistreerd ten opzichte van de controlegroep, wat tevens een stress indicatie is. Heiactiviteiten veroorzaken dus geluidsdrukniveaus onder de letale, maar boven de stress geluidsdrempel voor jonge zeebaars (Debusschere *et al.*, 2014). Verder onderzoek, van onder meer soorten die hun zwemblaas permanent behouden, moet uitwijzen of dit ook het geval is voor andere vissen.

Bij gebrek aan gegevens voor de specifieke onderhavige situatie (vissoort, duur, frequentie, etc.), kunnen geen gedetailleerde uitspraken worden gedaan voor de projecten van Mermaid en Northwester 2. Het effect van het heien zal weliswaar toenemen met het aantal te plaatsen turbines en met een toenemende diameter van de paal. Hoewel uit het Lecofish project blijkt dat de projectgebieden niet worden aangeduid als paaigebieden voor tong, zeebaars, schol en haring, bestaat er nog onduidelijkheid over andere vissoorten. Hierdoor is een inschatting van de impact van de heiactiviteiten op de vislarven momenteel onmogelijk. Op basis van de beschikbare literatuur kan men het effect van heien op vispopulaties als matig negatief (-) beschouwen voor de configuraties waarbij monopiles of jacket funderingen geheid worden. Niettegenstaande de heiactiviteiten van relatief korte duur zijn, is het toch aangewezen om de significant negatieve effecten zo minimaal mogelijk te houden door gebruik te maken van enkele milderende maatregelen (zie § 5.4.5.2). De impact van geluid bij een gravitaire fundering is praktisch onbestaande (0) in vergelijking met de twee andere funderingstypes. Hier is namelijk enkel de geluidsverstoring van baggerende schepen van belang, die veel lager wordt ingeschat dan heigeluid, een toename van het scheepsverkeer en het storten van de erosiebescherming. Ook wanneer men gebruik maakt van het suction bucket principe, waarbij monopiles en jacket funderingen niet geheid worden, zal de impact van geluid en trillingen wegvallen (0).

5.4.3.2.2 Operationele fase

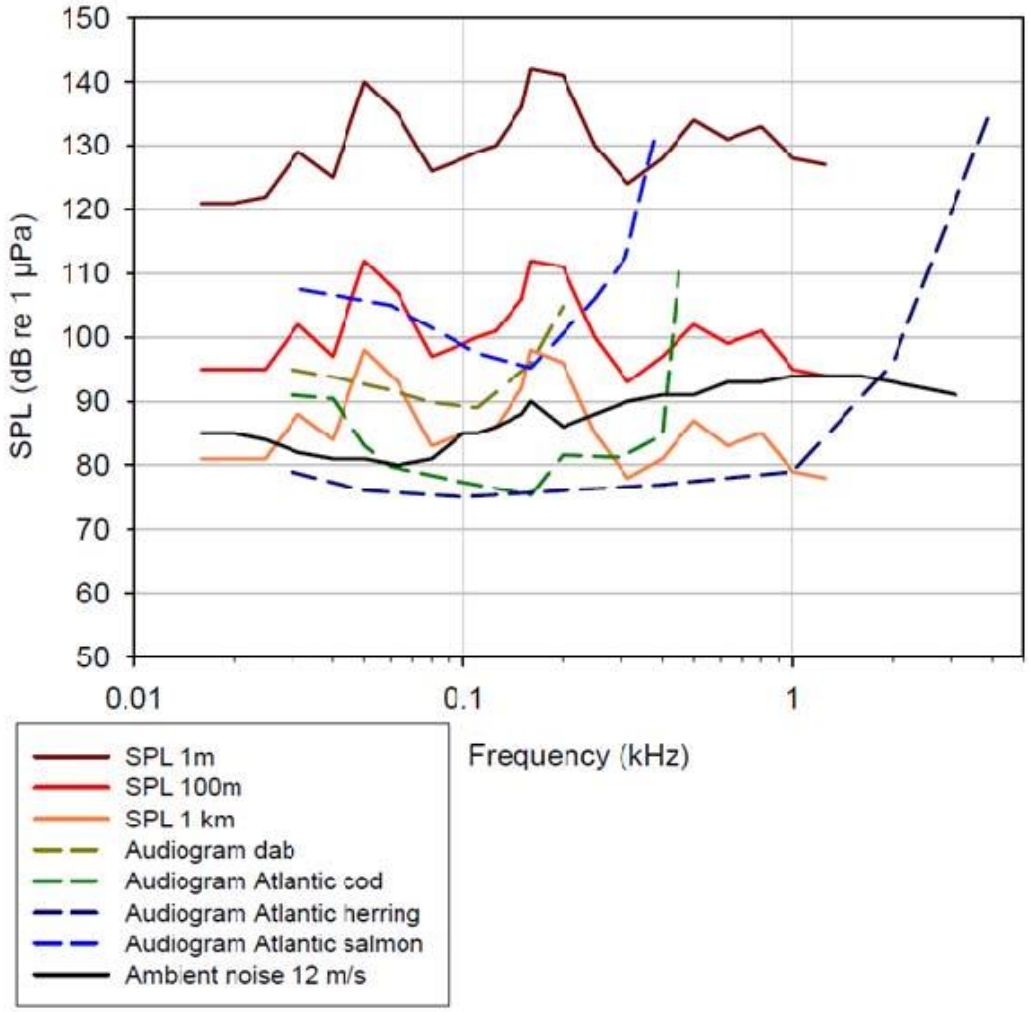
Naast algemene vormen van verstoring wordt specifiek ingegaan op het effect van geluid en trillingen geproduceerd tijdens de operationele fase op de visgemeenschappen.

Geluidsverstoring en trillingen

Windturbines produceren twee verschillende types mechanische trillingen:

- Laagfrequente trillingen: Deze hangen samen met de passage van de rotorbladen langs de mast, de onbalans van de rotor en de eigen trilling van de mast. Hogere frequenties kunnen mogelijk ontstaan door interferentie van deze trillingen met geluid uit de gondel.
- Hoogfrequente trillingen: Deze hangen samen met de draaiende onderdelen van de generator in de gondel, de interactie van wind met de gehele windturbine (met name het aerodynamisch geluid van de rotortippen), golven die tegen de mast slaan, de beweging van zand en water langs de mast en organismen die op de windturbines voorkomen.

In Figuur 5-98 worden het operationele geluid van een windpark op verschillende afstanden van de geluidsbron, het omgevingsgeluid en de audiogrammen van de reeds vermelde doelsoorten weergegeven. Uit deze figuur blijkt dat de afstand van het waarneembare onderwatergeluid soortspecifiek is. Analoog als uit de geluidsberekeningen (zie discipline ‘Geluid en trillingen’ § 5.3) blijkt eveneens dat het operationele onderwatergeluid voor de meeste frequenties onder het achtergrondgeluid (90 – 100 dB 1 re µPa) zal liggen op een afstand van 500 m. Het onderwatergeluid veroorzaakt door de windturbines zal dus vermoedelijk binnen de veiligheidszone (500 m) (voor de meeste frequenties) gemaskeerd worden door het heersende achtergrondgeluid (ongeacht de configuratie) en dus geen invloed hebben op de meeste vissoorten. Gewenning zal ook optreden voor het continue geluid uitgezonden door windparken. Frequenties tussen de 500-2.000 Hz zullen praktisch geen effect hebben op vissen, zeker omdat de invloed van de windturbines gelijkaardig is aan het omgevingsgeluid (Hoffmann *et al.*, 2000; Thomsen *et al.*, 2006).



Figuur 5-98 Operationeel geluid windpark, omgevingsgeluid en audiogram van zalm, kabeljauw, haring en schar (Thomsen et al., 2006)

Vergelijkingen tussen de visfauna van het windpark Horns Rev en deze van scheepswrakken in de Noordzee geven geen indicatie dat geluid en trillingen afkomstig van een windpark een impact veroorzaken op de visgemeenschap. In vergelijking met de start van het windpark hebben zich zelfs enkele nieuwe vissoorten gevestigd in het gebied (Leonhard & Pedersen, 2005). Deze resultaten worden deels bevestigd door de studie van Westerberg (1994). Op basis van zijn onderzoek concludeerde Westerberg (1994) in de eerste plaats dat het windpark attractief was voor vissen en ten tweede dat de geluidsproductie binnen een zone van 200 m als gevolg van de windturbines niet van die aard was, dat de vissen zich verder van de windturbines begeven. Onderzoek rond het Nederlandse OWEZ windpark toont aan dat er noch vermijding noch aantrekking van de windturbines op het gedrag van tong blijkt te zijn en dat de visserijmortaliteit van tong niet verschilt met daarbuiten gelegen referentiegebieden (Winter *et al.*, 2010). Kabeljauw en steenbolk vertonen een zeker aantrekkingsgedrag (zie Harde substraten § 5.4.3.5.2).

Ondanks de onzekerheid die bestaat rond kwantitatieve inschattingen van geluidseffecten op vissen tijdens de operationele fase van het windpark, kan verondersteld worden dat deze effecten van minder belang zijn en dat technologische verbeteringen mogelijks nog kunnen leiden tot verdere reducties van de impact. Voor alle beschouwde configuraties voor beide windparken wordt dit effect als gering negatief beschouwd (0/-).

Ter volledigheid zal er ook geluidsverstoring optreden door de geplande transporten naar de windparken. Het aantal transporten zal variëren naargelang het ingezette materiaal en de configuratie. De verhoogde scheepstrafiek tengevolge van de 2 projecten is beperkt in vergelijking met de heersende scheepsintensiteit. Daarenboven wordt nogmaals gewezen op het reeds besproken tunneleffect (zie discipline 'Geluid en trillingen' § 5.3) dat ontstaat in ondiepere wateren waarbij laagfrequente signalen (< 200 Hz) verdwijnen, waardoor er vrijwel geen bijkomende geluidsverstoring van de vissen zal zijn.

Aanwezigheid windpark

Een jaar na de constructie van 55 turbines op de Blighbank werden duidelijke verschillen waargenomen binnen de demersale visfauna van het windpark, zowel op het niveau van ecosysteemcomponent als op soortsniveau (Vandendriessche *et al*., 2012, 2013c). De uitgevoerde analyses werden ontworpen om onderscheid te kunnen maken tussen effecten ten gevolge van de aanwezigheid van turbines en effecten ten gevolge van veranderende activiteiten in de omgeving van het windpark. De resultaten toonden na 1 jaar een reductie van het aantal demersale vissen binnen het windpark. De veranderingen in demersale visfauna kunnen het gevolg zijn van het verdwijnen van visserijactiviteiten in het gebied of van lokale veranderingen in de bodemsamenstelling en bijgevolg ook van de infauna. Van commercieel interessante platvissoorten werden hogere densiteiten waargenomen (tarbot, tong) en/of veranderingen in de lengte-frequentieverspreiding (tarbot, pladijs). Deze waarnemingen kunnen duiden op een refugium effect, maar dergelijke grote platvissen blijven niet lang in een zelfde gebied, dus dat effect is waarschijnlijk beperkt. Er werden op de Blighbank nog geen tekenen waargenomen van herstel van populaties van langlevende soorten die gevoelig zijn voor bodemvisserij. Ten slotte werden er enkele verschillen waargenomen tussen referentiestations en 'fringe' stations, maar deze kunnen nog niet eenduidig in verband gebracht worden met veranderende activiteiten in de buurt van het windpark.

In buitenlandse studies werd een verhoging van de densiteit van tong, mul en wijting binnen een windpark waargenomen (ter Hofstede, 2008).

Aangezien de effecten soortafhankelijk zijn, kan het effect van de aanwezigheid van een windpark op vissen zowel gering positief (0/+) als gering negatief (0/-) beschouwd worden. In § 5.4.3.5.1 wordt verder ingegaan op de visfauna van harde substraten.

Andere vormen van verstoring

Zoals besproken voor het benthos, worden ook hier geen effecten (0) verwacht ten gevolge van de waterkwaliteit, zuurstofhuishouding en hydrodynamiek. Sommige vissen die zich ingraven in de bodem en afhankelijk zijn van specifieke sediment condities zoals platvissen en zandspiering (Ammodytidae spp.) zouden wel een impact kunnen ondervinden, maar de studies in Denemarken bevestigen dit nog niet (Dong Energy *et al.*, 2006). Of de roterende schaduw van de turbinewieken (schaduw-effect) een invloed zou hebben op het gedrag van de vissen is momenteel nog niet wetenschappelijk onderzocht. Er kan verwacht worden dat gewenning optreedt.

5.4.3.2.3 Ontmantelingsfase

Algemeen mag gesteld worden dat de effecten van de ontmantelingsfase gelijkaardig zullen zijn aan die van de bouwfase, maar dat de intensiteit van voorkomen veel lager zal zijn. De geluidsverstoring blijft bijvoorbeeld beperkt tot de geluiden geproduceerd door de betrokken scheepvaart en de ontmantelingsactiviteiten (afsnijden van turbines tot 2 m onder de zeebodem; weghalen gravitaire fundering). De significante geluidsverstoring ten gevolge van het heien (MP/JF) tijdens de constructiefase is tijdens de ontmantelingsfase niet meer aanwezig. Ook het biotoopverlies en het daarmee gepaard gaande verlies aan organismen blijft beperkt tot de oppervlaktes die effectief verstoord worden tijdens de ontmantelingsfase (geen indirect biotoopverlies meer tengevolge van stockage van zand (GBF)). De effecten variëren van (vrijwel) geen effect (0) tot een gering negatief effect (0/-), afhankelijk van de configuratie (aantal turbines, funderingstype) voor zowel Mermaid als Northwester 2.

5.4.3.2.4 WEC

Verstoring

De biotoopverstoring tijdens de constructiefase is voor de demersale vissen gelijkaardig zoals besproken onder het benthos (§ 5.4.3.1.4).

Voor het effect van de aanwezigheid van de WEC's tijdens de operationele fase wordt verwezen naar 'Harde substraten' (§ 5.4.3.5.4). Andere effecten op vissen worden niet verwacht tijdens de operationele fase.

Geluid en trillingen

De constructie, de operationele fase en de ontmanteling van grote mechanische structuren zal onvermijdelijk zorgen voor de productie van geluid en trillingen (zie hoofdstuk Geluid en trillingen § 5.3.4.4). Ook hier zal de grootste impact zich voordoen tijdens de constructiefase indien er geheid wordt. Dit is enkel nodig bij de installatie van de Wavestar. De andere WEC's worden via ankers of gravitaire funderingen aan de bodem bevestigd. Gezien de geluidsverstoring slechts van korte duur zal zijn en lang niet zo intensief is als tijdens het installeren van de windturbines tijdens de constructiefase, wordt het effect beschouwd als gering negatief (0/-). Er wordt niet verwacht dat er blijvende fysiologische schade zal optreden voor de vissen.

De geluidsproductie tijdens de operationele fase is moeilijk te voorspellen en hangt af van veel factoren: de weersomstandigheden, de diepte, het type zeebodem en de gebruikte technologie. De omvang van de geluidsverstoring door WEC's is nog niet goed gekend. De meeste geluidstudies zijn bovendien uitgevoerd op een beperkt aantal WEC's of op WEC's op een kleinere schaal. Toch wordt aangenomen dat de milieu-impact van het geproduceerde geluid minimaal zal blijven (Austin *et al.,* 2009). In Zweden werd het geluid gemeten van 2 operationele point absorbers op een afstand van 20 en 40 m (Haikonen *et al.,* 2013). De resultaten toonden aan dat het grootste deel van de geluidsenergie zich in frequenties onder 1 kHz bevond. Dit betekent dat vissen de operationele WEC's zullen horen op een afstand van minstens 20 m, maar er wordt niet verwacht dat fysiologische schade of gedragsveranderingen zich zullen voordoen. Voor de WEC's in het Mermaid park wordt verwacht dat er geen effecten (0) op de populatie vissen zullen optreden tijdens de operationele fase.

Elektromagnetische velden

Het effect van elektromagnetische velden wordt besproken onder bekabeling.

5.4.3.2.5 Bekabeling

De belangrijkste effecten tengevolge van de bekabeling voor de demersale visfauna zijn biotoopverstoring, verhoogde turbiditeit, het ontstaan van elektromagnetische velden (EM-veld) en de mogelijke opwarming.

Voor biotoopverstoring, turbiditeit en opwarming wordt verwezen naar § 5.4.3.1.4, daar deze effecten analoog zullen zijn als deze besproken voor het benthos. In volgende paragrafen zal wel dieper worden ingegaan op de effecten van elektromagnetische velden.

Elektromagnetische velden

Een elektrische stroom doorheen een kabel zorgt enerzijds voor een elektrisch veld (E-veld) dat niet aanwezig is buiten de driefasige kabel, en anderzijds voor een magnetisch veld (B-veld). Zowel gelijkstroom (DC) als wisselstroom (AC) wekken een E-veld en een B-veld op. Er is echter een verschil tussen een B-veld opgewekt door DC of AC. DC zorgt voor een statisch B-veld, terwijl bij AC er een alternerend B-veld ontstaat. Een alternerend B-veld wekt bovendien, door inductie, nog een bijkomend E-veld op: het geïnduceerd E-veld (E_i -veld).

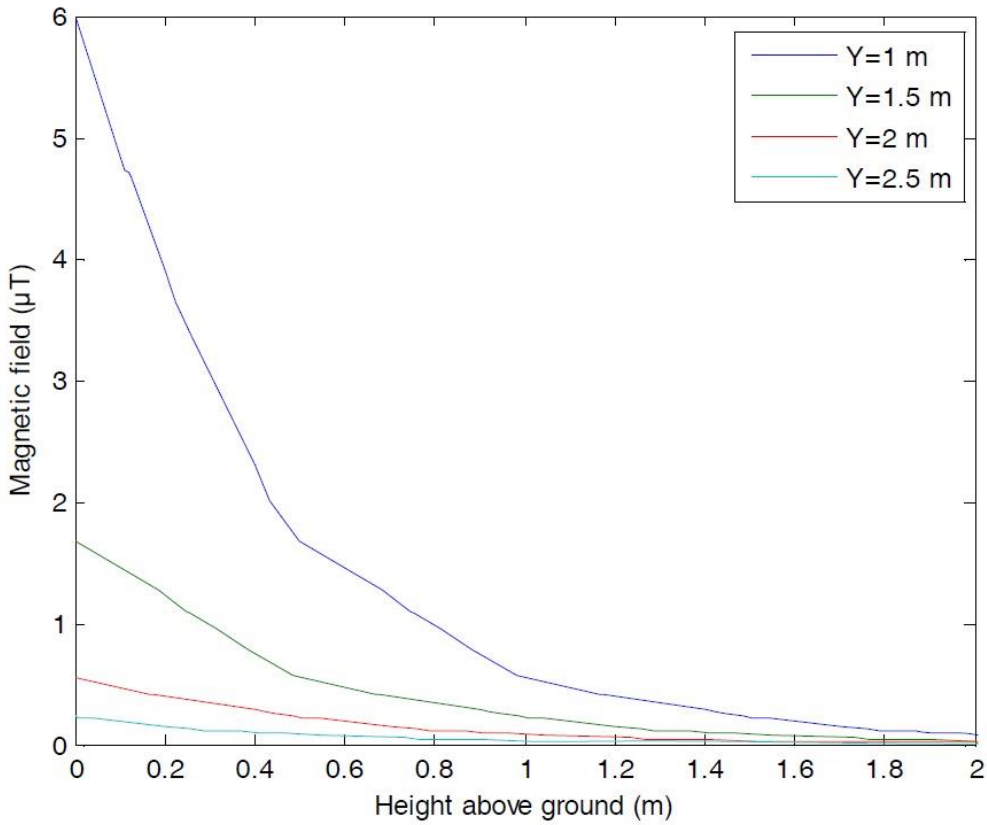
In de Noordzee is de grootte van het natuurlijke statische B-veld ongeveer 50 µT (microtesla). Het natuurlijke E-veld is ongeveer 0,4 µV/m (microvolt per meter) (IMDC, 2010b, 2012c) en de sterkte van het door het natuurlijke aardmagnetische veld gegenereerde E_i-veld bedraagt ca. 40 µV/m (Ecofys, 2006).

Algemeen geldt dat de intensiteit van de elektromagnetische (EM) velden sterk projectafhankelijk is (soort kabel, DC of AC, locatie, vermogen van de kabel...). Voor Mermaid en Northwester 2 zijn alle gebruikte kabeltypes laagfrequente wisselstroomkabels (frequentie 50 Hz), waarbij door de symmetrische constructie van de 3 aders in de kabel de E-velden en B-velden sterk worden gereduceerd (Gill *et al*., 2009). Hierdoor zijn de EM-velden grotendeels geneutraliseerd ter hoogte van het kabeloppervlak (OSPAR, 2008b). Bovendien kunnen de EM-velden verder worden gereduceerd door de kabel af te schermen met een metalen beschermlaag. Aangezien het E-veld niet bestaat buiten de kabel, zijn enkel B-velden en E_i-velden van belang. Voor de WEC's is het aangetoond dat de units zelf een verwaarloosbaar EM-veld genereren (Vattenfall, 2010). De WEC-kabels tussen de units en de ingegraven lijnstreng hangen vrij in de waterkolom bij de Poseidon, Weptos, FlanSea en Lifesaver. Bij de Wavestar en de Seabased zijn de kabels volledig begraven in de zeebodem. Ook voor deze kabels zullen wisselstroom 50 Hz gebruikt worden.

Verschillende vissoorten kunnen EM-velden detecteren (Gill *et al*., 2014). Sommige vissen gebruiken, net als vele trekvogels, het natuurlijke statisch aardmagnetisch veld om zich te oriënteren (Vattenfall, 2010; CMACS, 2003). Naast een invloed op het gedrag van vissen, zouden B-velden tevens een effect hebben op de fysiologische kenmerken van bepaalde vissoorten, hoewel afhankelijk van de soort ze waarschijnlijk statische en alternerende B-velden anders waarnemen (Ohman *et al*., 2007). Voorbeelden hiervan zijn invloeden op de hormonenspiegel bij bronforel (*Salvelinus fontinalis*) (Lerch *et al.*, 1998) en verlagingen van de migratiesnelheid bij paling onder invloed van het B-veld van een offshore AC kabel van 130 kV (*Anguilla anguilla*) (Westerberg & Lagenfelt, 2008). De resultaten uit laboratorium- en veldonderzoek zijn echter niet eenduidig. Dit wijst erop dat grote verschillen kunnen bestaan tussen soorten, maar ook volgens de gebruikte methode. Daarbovenop dient vermeld te worden dat het detecteren van een magnetisch veld niet noodzakelijk leidt tot een verandering in gedrag (Ohman *et al.*, 2007).

Gill *et al.* (2005) hebben een lijst opgesteld van prioritaire soorten die gevoelig zouden kunnen zijn voor EM-velden waaronder o.a. schol en kabeljauw, die ook in het studiegebied voorkomen. Kraakbeenvissen (roggen en de haaien) zouden echter meer dan 10.000 keer gevoeliger zijn voor elektromagnetische velden dan de meest gevoelige beenvissen (Merck, 2009; Tasker *et al.*, 2010). Hiervan is bekend dat zij reageren op een E_i-veld met een range tussen 0,5 – 100 µV/m. De verwachte waarden op 1 m afstand van de kabels liggen binnen dit bereik (Gill & Taylor, 2001; Gill *et al.*, 2005, Gill *et al.*, 2009). Experimenten uitgevoerd door Gill *et al.* (2009) geven aan dat kabels (50 Hz) waarneembaar waren voor kraakbeenvissen bij een intensiteit van een B-veld van 8 µT en een E_i-veld van 2,2 µV/m, maar dat hun reactie afhankelijk was van de soort en individu. De hondshaaien (*Scyliorhinus canicula*) vertoonden bijvoorbeeld allen een sterke reactie, terwijl slechts enkele individuen van de stekelroggen (*Raja clavata*) en geen enkele doornhaai (*Squalus acanthias*) reageerden. Ook Boehlert & Gill (2010) geven aan dat de reactie op de EM-velden varieert van individu tot individu.

Zowel zand als zeewater zijn slechte geleiders van magnetische velden, waardoor de intensiteit van de magnetische velden hoe dan ook exponentieel afneemt met de afstand tot de kabel (Vattenfall, 2010). Uit Figuur 5-99 kan men duidelijk afleiden dat het B-veld snel verkleint naarmate men zich verder verwijdert van de kabel, en naarmate de kabel dieper is ingegraven. In de kabelcorridor zullen zowel de verbindingskabels in optie A als B een tussenafstand hebben van minstens 50 m. Daardoor zal er geen onderlinge interactie qua magnetische velden zijn. Ook de WEC-parkkabels zullen steeds minstens 50 m van elkaar verwijderd zijn. Het is fout te veronderstellen dat het ingraven van kabels de effecten volledig zou wegnemen. Door de afstand tussen de vissen en de kabel te vergroten heeft dit een milderend effect op gevoelige vissoorten (Gill *et al.*, 2005; Öhman *et al.*, 2007; Gill *et al.*, 2009; Huddleston, 2010, Vattenfall, 2010).



Figuur 5-99 De evolutie van het magnetisch veld voor een driefasige kabel ten opzichte van de hoogte boven de zeebodem bij verschillende kabeldieptes (Y) bij een stroomsterkte van 712 A (Lopez et al., 2011)

Het is dus belangrijk te vermelden dat elektromagnetische velden van een magnitude waarneembaar door gevoelige mariene organismen geproduceerd zal worden door de standaard industriële kabels, ook als die begraven worden op verschillende meters onder de zeebodem (Gill *et al.*, 2005).

Over de reactie van vissen op de EM-velden en in hoeverre de kabels een biologisch significant effect veroorzaken heersen nog veel onzekerheden (Gill *et al.*, 2014). Bovendien moet door de soortspecifieke reacties ook meer toegepast onderzoek op het BDNZ gebeuren om mogelijke effecten te bevestigen. Bij de installatie van de WEC's in het Mermaid park stijgt het aantal kabels gevoelig, zeker wanneer ze los hangen in de waterkolom. Ook over de cumulatieve effecten is nog weinig geweten.

In studies van de windparken in Horns Rev en Nysted werden geen effecten waargenomen op de overige fauna, inclusief beenvissen (Dong Energy, 2007). Voorlopig worden door het zeer lokale karakter van de EM-velden de gevolgen als verwaarloosbaar (0) ingeschat voor vissen. Bovendien komen de betreffende soorten slechts zeer sporadisch in het studiegebied voor en hebben een groot verspreidingsgebied. Hierdoor zijn er geen effecten op populatieniveau te verwachten (Grontmij, 2006; Ecofys, 2006).

5.4.3.2.6 Besluit bespreking en beoordeling van de effecten op vissen

Samenvattend worden de effecten op de vissen weergegeven in Tabel 5-71 en Tabel 5-72 voor zowel de basisconfiguraties als de diverse configuratiealternatieven van respectievelijk het Mermaid en het Northwester 2 windpark. Aangezien het gebruik van de suction bucket techniek bij monopile en jacket funderingen een ander effect heeft dan het heien van palen, wordt hier rekening mee gehouden. Volgende definities zijn van toepassing: significant positief (++), matig positief (+), gering positief (0/+), (vrijwel) geen effect (0); gering negatief (0/-), matig negatief (-), significant negatief (--), onzeker (?).

Tabel 5-71 Overzicht van de effecten op vissen voor het Mermaid windpark (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering, SB: suction bucket)

Configuratie	**Basis**				**1**			**2**			**3**		
Funderingstype	MP	JF	GBF	SB	MP	JF	SB	JF	GBF	SB	JF	GBF	SB
Constructiefase													
Biotoopverstoring	0/-	0/-	-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	-	0/-	0/-	-	0/-
Verlies aan organismen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Verstoring door sedimentatie en turbiditeit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Geluidsverstoring en trillingen	-	-	0	0	-	-	0	-	0	0	-	0	0
Operationele fase													
Geluidsverstoring en trillingen	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Aanwezigheid windpark	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
Andere vormen van verstoring	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ontmantelingsfase													
Analoog constructiefase	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
WEC													
Verstoring	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Geluid en trillingen	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Bekabeling													
Biotoopverstoring	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Verstoring door turbiditeit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektromagnetische velden	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)
Opwarming	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 5-72 Overzicht van de effecten op vissen voor het Northwester 2 windpark (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering, SB: suction bucket)

Configuratie	**Basis**				**1**			**2**			**3**		
Funderingstype	MP	JF	GBF	SB	MP	JF	SB	JF	GBF	SB	JF	GBF	SB
Constructiefase													
Biotoopverstoring	0/-	0/-	-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	-	0/-	0/-	-	0/-
Verlies aan organismen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Verstoring door sedimentatie en turbiditeit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Geluidsverstoring en trillingen	-	-	0	0	-	-	0	-	0	0	-	0	0
Operationele fase													
Geluidsverstoring en trillingen	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Aanwezigheid windpark	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
Andere vormen van verstoring	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ontmantelingsfase													
Analoog constructiefase	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Bekabeling													
Biotoopverstoring	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Verstoring door turbiditeit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektromagnetische velden	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)
Opwarming	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ondanks bepaalde effecten als significant negatief worden ingeschat voor beide concessiegebieden, kunnen deze gerelativeerd worden indien ze gekaderd worden ten opzichte van de afgebakende windconcessie zone of het BDNZ. Op die manier kan worden aangetoond dat deze effecten aanvaardbaar blijven daar hun ruimtelijke impact relatief beperkt blijft en het ecosysteem van de Noordzee niet wordt bedreigd. Dit is bijvoorbeeld het geval voor biotoopverstoring. Andere significant negatieve effecten zoals bijvoorbeeld geluidsverstoring door heien, kunnen dan weer tot aanvaardbare niveaus gebracht worden mits in acht name van gepaste milderende maatregelen. Hierbij kan gedacht worden aan een gepast heitechniek, beperking van de installatieperiode waarbij rekening is gehouden met de meest gevoelige periodes (paaien, migratie) voor de relevante vissoorten of gebruik te maken van de suction bucket techniek.

De effecten op de visgemeenschappen worden hierdoor als vrijwel onbestaande tot matig negatief ingeschat en kunnen dus allen als aanvaardbaar beschouwd worden, mits de gepaste milderende maatregelen.

5.4.3.3 Vogels en vleermuizen

5.4.3.3.1 Constructiefase

Tijdens de constructiefase kunnen volgende effecten een significante verstoring veroorzaken op bepaalde soorten als gevolg van de werkzaamheden:

- Barrièrewerking door geluidsverstoring;
- Toegenomen scheepvaart;
- Sedimentatie;
- Voedselbeschikbaarheid.

Geluidsverstoring

Tijdens de werkzaamheden kan er een barrièrewerking optreden ten opzichte van de migrerende vogels. Deze barrièrewerking zal voornamelijk het gevolg zijn van de geluidsproductie ter hoogte van de concessiegebieden en de aanwezigheid van schepen. Tevens kunnen in de non-operationele fase al aanvaringen plaatsvinden met de masten, hoewel de kans op aanvaringen opmerkelijk kleiner wordt ingeschat als in de operationele fase.

Bij de constructie van de offshore windparken Horns Rev en Nysted in Denemarken (Christensen *et al.,* 2003; Petersen *et al.,* 2006), bleken zeevogels de windturbines te vermijden, hoewel de reacties sterk soortafhankelijk waren. Verstoringsgevoelige soorten (bvb. roodkeelduiker, zwarte zee-eend, fuut, zeekoet, alk) kunnen door het geluid tijdelijk het gebied vermijden, terwijl andere soorten zoals zilvermeeuwen mogelijk voordelen kunnen ondervinden van de werkzaamheden door het tijdelijk beschikbaar komen van voedsel, door het omwoelen van de bodem en verhoogde scheepsactiviteit (Stienen *et al.,* 2002; Vanermen *et al.,* 2006).

Bij het heien van de turbinepalen bij de aanleg van een windpark op acht zeemijl ten noordwesten van IJmuiden (Nederland) werden geen negatieve effecten vastgesteld op duikende vogels, die als meest kwetsbaar beschouwd worden (Leopold & Camphuysen, 2007).

De omgeving van de Blighbank, waar beide windparken gebouwd worden, vormt geen concentratiegebied voor de verstoringsgevoelige soorten zoals roodkeelduiker, fuut en zwarte zee-eend. Wat zeekoet en in mindere mate alk betreft, worden er ter hoogte van de Blighbank wel grote densiteiten waargenomen, voornamelijk tijdens de winter. Toch is de Blighbank niet van bijzonder belang voor deze soorten (Vanermen & Stienen, 2009), waardoor er slechts een gering negatief effect (0/-) verwacht wordt ten aanzien van de verstoringsgevoelige soorten. Bijkomend kan er aangehaald worden dat de werkzaamheden hoofdzakelijk uitgevoerd zullen worden in de periode van april tot oktober, al blijkt op basis van de ervaringen bij de bouw van de andere windparken op het BDNZ dat er ook kan gewerkt worden in de winterperiode bij koude maar heldere, kalme weersomstandigheden.

Verstoring door sedimentatie

Indien gravitaire funderingen gebruikt worden moet er een grote hoeveelheid zand gebaggerd en verplaatst worden. De opwerveling van het bodemsediment en het ontstaan van een slibpluim door uitspoeling (winning en het storten van dit zand) leidt tot vertroebeling van het water met gevolgen voor het lichtregime en bijgevolg voor de primaire productie (Verfaillie *et*

al., 2006). Hierdoor kunnen visueel prederende vogelsoorten zoals sternen moeilijkheden ondervinden tijdens het foerageren.

Gezien de natuurlijke hoge invoer van gesuspendeerd materiaal tengevolge van getijden- en golfwerking (zeer dynamisch systeem), zijn soorten in het BDNZ reeds aangepast aan het jagen in van nature troebel water. In tegenstelling tot gebieden die dichter bij de kust zijn gelegen, situeren Mermaid en Northwester 2 zich in helder kanaal water (Van den Eynde *et al.*, 2010). Het effect is tijdelijk van aard en beperkt in uitbreiding. Bijgevolg worden er ten aanzien van de oogjagende zeevogels geen significant negatieve effecten verwacht. Het effect wordt als gering negatief (0/-) beoordeeld.

Voor de configuraties die gebruik maken van monopile of jacket funderingen, zal de vertroebeling van de waterkolom minder groot zijn. Als besluit kan er gesteld worden dat er geen betekenisvol onderscheidend effect (0) is tussen de verschillende type(s) funderingen.

Voedselbeschikbaarheid

De heiactiviteiten kunnen tijdens de constructiefase een negatief effect hebben op de aanwezige vislarven (o.a. verminderde respiratie als stress indicatie). Dit kan de rekrutering van de betrokken soorten beïnvloeden en een verminderd voedselaanbod betekenen voor visetende vogelsoorten na het heien. Dit zorgt voor een verminderde kwaliteit van het foerageergebied wat een gering negatief (0/-) effect kan hebben op vogels.

Vleermuizen

Tijdens de constructiefase worden er geen effecten (0) verwacht op vleermuizen.

5.4.3.3.2 Operationele fase

Tijdens de operationele fase zijn er twee grote effecten te onderscheiden voor lokale en migrerende vogels: het aanvaringsaspect waarbij vogels in aanvaring komen met de turbines met de dood tot gevolg, en het verstoringsaspect met enerzijds habitatverlies voor de soorten die de windparken zullen vermijden als foerageer- of rustgebied, en anderzijds een barrière-effect van de windparken waardoor migrerende vogels een langere weg moeten afleggen om rond het park heen te vliegen, wat resulteert in een verhoogd energieverbruik. Tenslotte wordt ook het aanvaringsaspect voor vleermuizen besproken.

Aanvaringsaspect

Vogels botsen vrijwel uitsluitend ’s nachts, in de schemering en bij slechte zichtomstandigheden (mist, harde wind, nevel, regen) tegen windturbines (Stienen *et al.*, 2002). Het aanvaringsrisico is over het algemeen gerelateerd aan het aantal aanwezige (vliegende) vogels, terwijl de grootte van de turbines minder belangrijk lijkt (Everaert & Stienen, 2006). De aanvaringskans zal dus het grootst zijn op plaatsen waar veel vogels op windturbinehoogte passeren (Stienen *et al.,* 2002).

Naast aanvaringsslachtoffers van zeevogels, kunnen niet-zeevogels zich tijdens hun trekperiode tot obstakels op zee aangetrokken voelen. Vooral tijdens slechte weersomstandigheden kunnen zij proberen neer te strijken (‘falls’) binnen een windpark (Hüppop *et al.*, 2006). Tijdens dergelijke ‘falls’ is het mogelijk dat er zeer veel aanvaringsslachtoffers vallen, al vormt dit op basis van de beschikbare gegevens op dit moment nog steeds een leemte in de kennis. Het voorziene radaronderzoek in het monitoringsprogramma zal hierover meer informatie kunnen verschaffen.

Zoals hiervoor reeds gesteld, hangt het aantal aanvaringsslachtoffers sterk af van het aantal vliegbewegingen (flux) ter hoogte van het windpark en het aantal vogels dat op rotorhoogte vliegt, wat sterk soortafhankelijk is. Tijdens de monitoring werden de vlieghoogtes van de vogels in detail onderzocht (Vanermen *et al*., 2013a). In Tabel 5-73 wordt per soort het procentueel aantal zeevogels weergegeven dat op rotorhoogte werd waargenomen. De rotordraaihoogte die hier in beschouwing is genomen, is een hoogte tussen de 30 en 150 m.

*Tabel 5-73 Procentueel aantal zeevogels dat op rotorhoogte (30-150 m) vliegt tijdens de vogelmonitoring op het BDNZ. *: Bijlage I soort van de Vogelrichtlijn (Vanermen et al., 2013a)*

Soort	% vliegend op rotorhoogte
Zeekoet	0%
Alk	0%
Visdief*	1%
Grote stern*	2%
Dwergmeeuw*	2%
Drieteenmeeuw	9%
Jan-van-gent	5%
Stormmeeuw	15%
Zilvermeeuw	15%
Kleine mantelmeeuw	22%
Grote mantelmeeuw	20%

De conclusies op basis van het monitoringsonderzoek van Vanermen *et al*. (2013a) zijn grotendeels gelijkaardig aan wat reeds verondersteld werd in Vanermen *et al.* (2006):

- Een aantal soorten werd nooit boven de 30 m en bijgevolg ook nooit op rotorhoogte waargenomen. Het betreft fuut, noordse stormvogel, zwarte zee-eend, zeekoet en alk.
- Boven de 30 m en ter hoogte van de rotor komen voornamelijk grote meeuwensoorten voor zoals zilvermeeuw, kleine mantelmeeuw en in mindere mate grote mantelmeeuw.
- Stormmeeuw, jan-van-gent en drieteenmeeuw werden waargenomen tot 50 m boven het wateroppervlak. Bijkomend werden enkele sporadische waarnemingen van jan-van-gent en drieteenmeeuw geregistreerd respectievelijk tussen de 110 en 120 m en tussen de 60 en 70 m.
- Veldobservaties tonen tevens aan dat er een dagelijkse variatie bestaat in het aantal vogels dat per dag ter hoogte van de rotor vliegt, afhankelijk van ondermeer de weersomstandigheden. Vooral bij helder en zonnig weer worden verschillende soorten op een hoogte van meer dan 30 m waargenomen.

Op basis van de frequentiedistributies voor bovenvermelde soorten voor de verschillende vlieghoogtes, opgesteld door Vanermen & Stienen (2009), kan er gesteld worden dat de meeste soorten, met uitzondering van kleine mantelmeeuw en zilvermeeuw niet boven de 70 m vliegen.

Tabel 5-74 geeft de verschillen in rotordraaihoogte (zone boven het wateroppervlak vanaf de onderste tip tot de bovenste tip van de rotor) weer voor de verschillende configuraties van het Mermaid en Northwester 2 windpark. Aangezien de meeste soorten niet hoger vliegen dan 70 m en vooral het laagste rotorpunt van belang is, kan er aangenomen worden dat de aanvaringskans van de 2 parken in dezelfde grootteorde zal liggen als dat van C-Power en Belwind. De basisconfiguratie en configuratie 2 hebben een rotorpunt dat iets lager komt dan de andere configuraties, waardoor de aanvaringskans iets hoger zal liggen.

Tabel 5-74 Overzicht van de rotordraaihoogtes van de verschillende configuraties voor het Mermaid en Northwester 2 windpark

Configuratie	Turbine	Rotordiameter	Naafhoogte	Hoogste rotorpunt	Laagste rotorpunt
Basis	Alstom Haliade (6 MW)	150 m	100 m	175 m	25 m
Configuratie 1	Vestas V112 (3,3 MW)	112 m	84 m	140 m	28 m
Configuratie 2	Vestas V164 (8 MW)	164 m	107 m	189 m	25 m
Configuratie 3	SeaTitan (10 MW)	190 m	125 m	220 m	30 m

Vanermen & Stienen (2009) en Vanermen *et al.* (2013a) bepaalden de kans op aanvaring ter hoogte van de windzone op de Thorntonbank en de Blighbank op basis van de hoogtewaarnemingen en de vogelflux voor een aantal soorten. Per soort is een procentueel aanvaringsrisico bepaald. Voor een gedetailleerde beschrijving en de achterliggende informatie voor de bepaling van dit aanvaringsrisico per soort wordt verwezen naar Vanermen & Stienen (2009) en Vanermen *et al*. (2013a). De besluiten van dit onderzoek luiden als volgt:

- Alkachtigen werden nooit waargenomen ter hoogte van de windparkzone, waardoor het aanvaringsrisico logischerwijs nul bedraagt.
- Het aanvaringsrisico van de Bijlage I soorten grote stern en visdief wordt als zeer laag (0,001% of 1/100.000) ingeschat, mede door hun kleine omvang, algemeen lage vlieghoogte en hoge vermijdingsgedrag.
- Het aanvaringsrisico van dwergmeeuw, eveneens een Bijlage I soort, wordt als veel hoger ingeschat, namelijk 1/7.000.
- De grote meeuwen zijn het meest gevoelig voor aanvaring met de windturbines. Het feit dat grote meeuwen zo gevoelig zijn hangt samen met hun groot formaat en lage wendbaarheid (Vanermen *et al.*, 2006).

Gebaseerd op het verwachte aanvaringsrisico in combinatie met de flux van de vogelsoorten die ter hoogte van de Thorntonbank voorkomen, werd tevens het verwachte aantal aanvaringsslachtoffers bepaald tijdens de lente en tijdens de herfst (Tabel 5-75). Deze cijfers tonen aan dat het aantal slachtoffers van de Bijlage I soorten eerder beperkt zal zijn, maar dat er een groot aantal slachtoffers verwacht kan worden onder de grote meeuwensoorten en de stormmeeuwen.

Tabel 5-75 Verwacht aantal aanvaringsslachtoffers in het windpark op de Thorntonbank (C-Power) (Vanermen & Stienen, 2009)

Soort	Aanvarings-Risico (%)	Lente flux (# ind/apr-mei)	Herfst flux (# ind/sept-okt)	# slachtoffers (lente)	# slachtoffers (herfst)
Alkachtigen	0,0000	0	0	0,0	0,0
Grote stern*	0,0010	23.760	0	0,2	0,0
Visdief*	0,0010	23.760	4.320	0,2	0,0
Dwergmeeuw*	0,0141	19.440	0	2,7	0,0
Drieteenmeeuw	0,0511	4.320	10.080	3,1	7,2
Jan-van-gent	0,0668	0	30.240	0,0	26,7
Grote jager	0,0717	4.320	62.640	2,2	32,0
Stormmeeuw	0,0883	12.240	136.080	8,2	90,9
Grote meeuwensoorten	0,2153	799.200	691.200	1720,5	1488,0

Voor de Blighbank blijkt op basis van de monitoring en een aanvaringsmodel eveneens dat voornamelijk de grote meeuwensoorten het slachtoffer zijn van aanvaringen (Tabel 5-76). Voor alle andere vogelsoorten in het studiegebied is het aanvaringsrisico zeer laag doordat ze onder de wieken vliegen. In totaal worden er jaarlijks in het Belwind park 134 aanvaringen met meeuwen verwacht, wat neerkomt op 2,4 per turbine.

In het OWEZ windpark in Nederland werd er berekend dat er jaarlijks 6,9 meeuwen in aanvaring komen per turbine (Poot *et al*., 2011). Dit verschil valt te verklaren door het feit dat het OWEZ park dichter bij de kust ligt dan Belwind (respectievelijk 10 en 40 km) en dat de densiteit aan vogels bijgevolg veel hoger is (Vanermen *et al.,* 2013a).

Tabel 5-76 Geschatte aantal aanvaringsslachtoffers gebaseerd op de geobserveerde densiteiten van vliegende vogels in het Belwind windpark.
Er werd een micro-ontwijking van 97,6% aangenomen (Vanermen et al., 2013a)

Soort	# slachtoffers winter	# slachtoffers lente	# slachtoffers zomer	# slachtoffers herfst	# slachtoffers /jaar	#slachtoffers /(turbine*jaar)
Stormmeeuw	3	0	0	0	3	0,05
Kleine mantelmeeuw	0	40	22	3	65	1,18
Zilvermeeuw	3	3	0	0	6	0,11
Grote mantelmeeuw	3	4	0	21	28	0,51
Drieteenmeeuw	19	10	0	3	32	0,58

In Tabel 5-77 worden de resultaten van het onderzoek in het Belwind park geëxtrapoleerd naar de Mermaid en Northwester 2 parken. Hierbij dient te worden opgemerkt dat dit slechts ‘voorlopige’ resultaten zijn, gebaseerd op een eerder beperkt onderzoek. Ook bestaan er jaarlijks en seizoenaal grote natuurlijke schommelingen binnen de vogelpopulaties. Bijkomende visuele en radarwaarnemingen zijn nodig om een meer accuraat beeld te

verkrijgen van de flux, vlieghoogte en het ontwijkgedrag van vogels. Dit zorgt voor een betere input in de aanvaringsmodellen en dus voor meer betrouwbare resultaten. Om een echt accuraat beeld te krijgen van het aantal aanvaringen moeten deze geregistreerd worden met gespecialiseerde apparatuur (DT-bird, WT-bird), i.p.v. het schatten van aantallen (BMM, 2013).

Tabel 5-77 Jaarlijks geschat aantal slachtoffers van meeuwen voor de verschillende configuraties van Mermaid en Northwester 2 op basis van gegevens van de Blighbank (2,4 slachtoffers/turbine/jaar)

Configuratie	Mermaid		NW2	
	Aantal turbines	Aantal slachtoffers	Aantal turbines	Aantal slachtoffers
Basis	38	92	35	84
1	80	192	70	168
2	38	92	37	89
3	24	58	22	53

De resultaten van het onderzoek in buitenlandse offshore windparken (Horns Rev, Yttre Stengrund, Utgrunden, Tumø Knob, Blyth Harbour) hebben geen onaanvaardbare effecten aangetoond. Daar waar vogelmortaliteit vastgesteld werd, blijven de omstandigheden en de omvang van de mortaliteit onduidelijk wegens gebrek aan lange termijn ervaring.

Verder tonen radarstudies bij Horns Rev, Nysted en OWEZ aan dat veel zeevogels die een windpark binnenvliegen, zich heroriënteren en lager gaan vliegen, onder de rotorhoogte en tussen de windturbinerijen door, wat het aanvaringsrisico doet dalen (Petersen *et al.*, 2006; Krijgsveld *et al.*, 2011).

Ondanks de veronderstelling dat een windpark resulteert in lage dodelijke aanvaringen, kan die bijkomende mortaliteit significant zijn voor langlevende soorten met een lage productiviteit en een lage maturiteitssnelheid, vooral wanneer speciale beschermingssoorten beïnvloed worden. In dergelijke gevallen kunnen windparken significante effecten hebben op populatieniveau (lokaal, regionaal of nationaal), in het bijzonder in situaties waar cumulatieve mortaliteit plaatsvindt van meerdere windparken samen (Drewitt & Langston, 2006). Dit aspect wordt verder besproken in het hoofdstuk ‘Cumulatieve effecten’.

Er kan verwacht worden dat het aantal aanvaringsslachtoffers voor een windpark in open zee recht evenredig is met het aantal windturbines. Op basis hiervan wordt voor zowel Mermaid als Northwester 2 voorkeur gegeven aan configuratie 3, waarbij respectievelijk 24 en 22 windturbines voorzien worden en het verwachte aantal aanvaringsslachtoffers het laagst zal zijn. Gezien de kleine omvang van de 2 windparken ten opzichte van het verspreidingsgebied van de vogels en het kleine percentage van dieren dat op rotorhoogte vliegt, wordt het aanvaringsrisico als gering negatief (0/-) beschouwd voor alle configuraties.

Barrière effect en habitatverlies

Vogels die hun vliegrichting veranderen om windparken te vermijden zullen hiervoor meer energie verbruiken. Dit kan potentieel een verstoring veroorzaken tussen de rust-, foerageer- en broedgebieden (Drewitt & Langston, 2006).

Jaarlijks migreren naar schatting 1-1,3 miljoen zeevogels door de zuidelijke Noordzee (Stienen *et al.,* 2007). In de zuidelijke Noordzee, en in het bijzonder ter hoogte van de Belgische

kustzone, worden alle migrerende vogels door dezelfde flessenhals gestuwd waardoor deze een belangrijke corridor vormt voor migrerende zeevogels en niet-zeevogels (Lensink *et al.,* 2002; Vanermen *et al.,* 2006). Het is bekend dat vogeltrek zowel overdag als 's nachts plaatsvindt, al is de dagritmiek sterk soortafhankelijk. Kleine insecteneters trekken vrijwel uitsluitend 's nachts, gorzen en zwaluwen doen dit voornamelijk overdag (Lensink *et al.,* 2002; Vanermen *et al.,* 2006).

Resultaten van radarstudies en visuele waarnemingen in Horns Rev, Nysted en OWEZ tonen aan dat vogels hun vliegrichting aanpassen wanneer ze in de buurt van de offshore windparken komen (Peterson *et al.*, 2006; Krijgsveld *et al.*, 2011). In Horns Rev ontweek 71 tot 86% van de vogels het park als ze op een afstand van 1,5-2 km waren, om dan tot meer dan 5 km rond de buitenkant van het park te vliegen. In Nysted was dit 78%. 's Nachts gebeurt de wijziging van de vliegrichting dichter bij het park (ca. 0,5 km) dan overdag maar de ontwijkingpercentages zijn even hoog. In het Nederlandse OWEZ windpark weken 18% (winter) tot 34% (herfst) van de vogels uit (Krijgsveld *et al.*, 2011). Dit percentage verschilde tussen soorten. Er is dus sprake van een barrière-effect van offshore windparken op migrerende vogels (Petersen *et al.,* 2006). Dit aanpassen van de vliegrichting om windparken te vermijden betekent een negatief effect op de avifauna. Het barrière-effect impliceert immers dat de migrerende vogels een langere weg moeten afleggen, wat zorgt voor een verhoogde energieconsumptie. De toegenomen vliegafstand is marginaal vergeleken met de dagelijkse vliegafstand van vogels en zal geen energetische consequenties hebben voor bijvoorbeeld trekvogels (Masden *et al.,* 2009, 2010; Poot *et al.,* 2011).

Bijkomend zorgt dit vermijdingsgedrag er ook voor dat de kans op aanvaring met turbines, tijdens de migratie daalt.

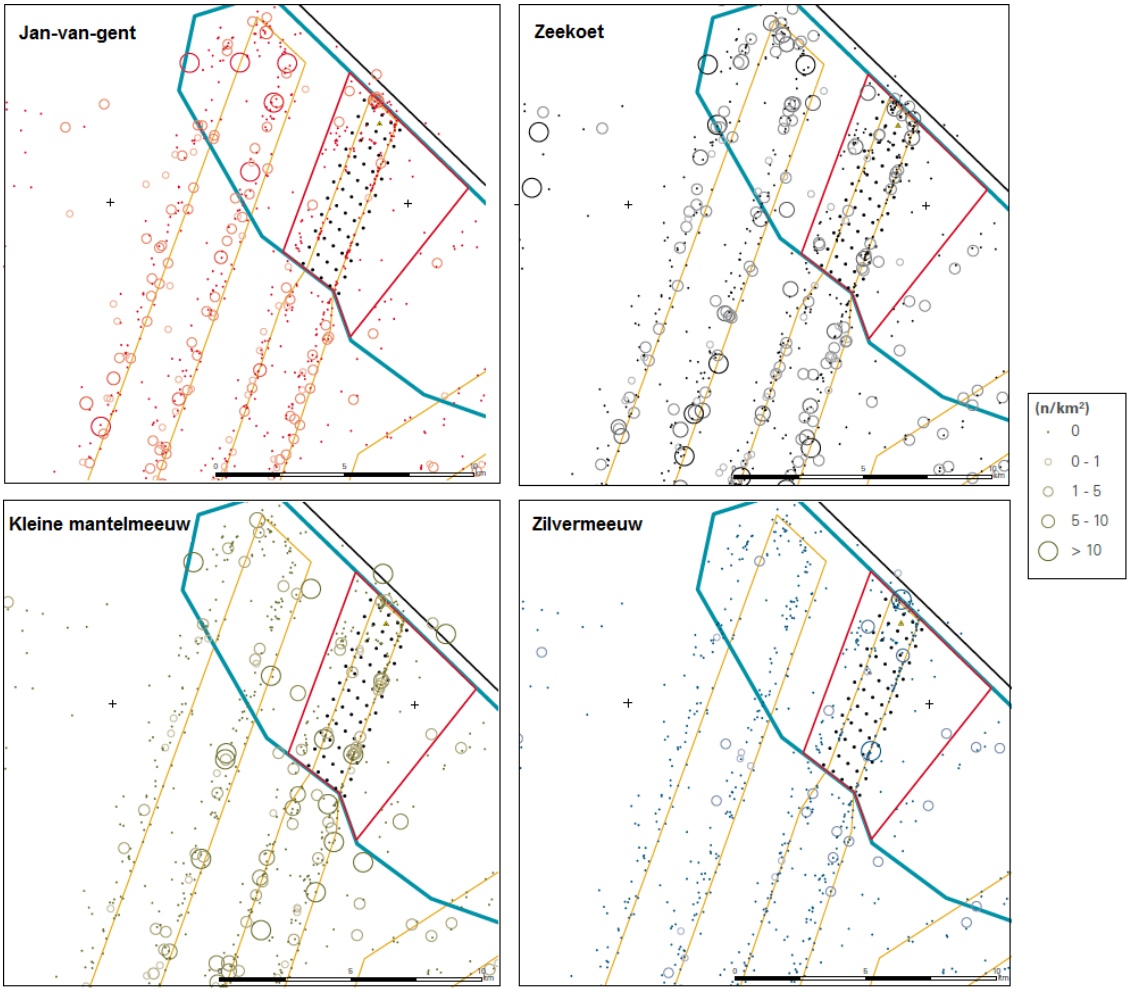
Door inplanting van windparken kan er bijgevolg een vorm van habitatverlies optreden omdat zeevogels de windparken moeten vermijden. De meest verstoringsgevoelige soorten zoals jan-van-gent, alkachtigen, zeekoet en duikers mijden windparken meestal, terwijl meeuwen (alle soorten) en aalscholvers windparken soms actief opzoeken (Petersen *et al.,* 2006; Krijgsveld *et al.*, 2011). Het monitoringsonderzoek van Leopold *et al.* (2010) ter hoogte van het OWEZ windpark in Nederland stelde vast dat duikers, alk en zeekoet toch geen 100% vermijding vertonen; sommigen zwommen tussen de windturbines en konden er in grote aantallen voorkomen. Grontmij (2006a) toonde aan dat er een vermindering was van 80% in de aantallen jan-van-gent in een straal van twee tot vier km rond het windpark te Horns Rev. In de studie van Petersen & Fox (2007) in Horns Rev werd aangetoond dat vogels, in dit geval de zwarte zee-eend, in grote aantallen werden aangetroffen tussen nieuwe turbines in zee (dit kon pas enkele jaren na de bouwfase vastgesteld worden). Er kon niet uitgesloten worden dat dit een verandering in de voedselbeschikbaarheid aantoonde (misschien via de kunstmatige riffen) eerder dan een gedragsverandering van de vogels zelf (Petersen & Fox, 2007).

Tijdens het monitoringsonderzoek op de Thorntonbank en de Blighbank werden er significante effecten gevonden als gevolg van de aanwezigheid van offshore windturbines (Tabel 5-78) (Vanermen *et al.*, 2011, 2012, 2013a). Voor de Thorntonbank werden voorlopig enkel aantrekkingseffecten vastgesteld, i.e. voor dwergmeeuw, grote mantelmeeuw, drieteenmeeuw, grote stern en visdief. Deze resultaten dienen met grote voorzichtigheid geïnterpreteerd te worden, gezien op het moment van onderzoek nog steeds slechts één rij van zes windturbines aanwezig was. Niettemin is dit een belangrijk aandachtspunt gezien de hoge beschermingsstatus en de kwetsbaarheid van de populaties van beide sternensoorten en van dwergmeeuw, gecombineerd met een verhoogde kans op aanvaringen met

windturbines. Er dient te worden opgemerkt dat bij deze soorten slechts 1 à 2% van de waargenomen individuen op rotorhoogte vloog en dat het verwachte aantal aanvaringsslachtoffers bijgevolg laag is voor deze soorten. Nadat de turbines op de Blighbank werden geplaatst, werd een significante afname van de aantallen zeekoeten en jan-van-genten in het windparkgebied vastgesteld. Stormmeeuwen en kleine mantelmeeuw waren dan weer abundanter na de bouw van de turbines en er zijn indicaties dat ook zilvermeeuwen worden aangetrokken (Figuur 5-100).

Tabel 5-78 Voorlopige effecten op zeevogels door de aanwezigheid van windparken op de Thorntonbank en de Blighbank (Vanermen et al., 2011, 2012, 2013a). Voor de observaties met een vraagteken is er een tendens, maar nog geen significant effect waargenomen

Soort	Thorntonbank	Blighbank
Noordse stormvogel	Geen effect	Geen effect
Jan-van-gent	Vermijding?	Vermijding
Grote jager		Geen effect
Dwergmeeuw	Aantrekking	Vermijding?
Stormmeeuw	Vermijding	Aantrekking?
Zilvermeeuw	Geen effect	Aantrekking
Kleine mantelmeeuw	Geen effect	Aantrekking
Grote mantelmeeuw	Aantrekking	Aantrekking?
Drieteenmeeuw	Aantrekking?	Aantrekking?
Grote stern	Aantrekking	
Visdief	Aantrekking	
Zeekoet	Geen effect	Vermijding
Alk	Geen effect	Vermijding



Figuur 5-100 Observaties van jan-van-gent, zeekoet, kleine mantelmeeuw en zilvermeeuw tijdens de vogelmonitoring na de constructie van Belwind in 2012 (naar Vanermen et al., 2013a)

Meestal wordt de verspreiding van meeuwen sterk beïnvloed door de aanwezigheid van vissers. Door het wegvallen van visserij in de windparken wordt dus verwacht dat de densiteit van meeuwen ook zal dalen. Gezien dit niet het geval blijkt te zijn, worden meeuwen allicht aangetrokken door het fysieke aspect van het windpark, waarbij het fungeert als een 'stepping stone', als rustgebied, foerageergebied of als referentiebaken binnen het open zeegebied.

De recente bevindingen onderstrepen ook het belang van degelijk radaronderzoek, om de aantallen vliegbewegingen binnen de windparken in kaart te kunnen brengen, als input voor aanvaringsmodellen.

De grootte van habitatverlies door de bouw van een windpark (met de bijkomende infrastructuur) is afhankelijk van de grootte van het project en van de soort. Voor soorten die verstoord worden door windparken, betekent de komst van het Mermaid en Northwester 2 project een extra habitatverlies van respectievelijk 0,4% en 0,3% van het BDNZ. Het is niet uitgesloten dat sommige soorten ook een bufferzone rond het park zullen vermijden. Dit werd onder meer aangetoond bij jan-van-gent in het Horns Rev park, waar een reductie van 80% in een straal van twee tot vier km rond het windpark werd vastgesteld.

De voorgaande vaststellingen doen vermoeden dat er minder vermijdingsgedrag optreedt bij zeevogels dan initieel verwacht, en dat er zelfs sprake is van aantrekking bij bepaalde soorten. Dit is, zoals eerder vermeld, enerzijds positief in het kader van habitatverlies, maar anderzijds zijn de soorten die niet verstoord worden of zelfs aangetrokken worden door windparken gevoeliger voor aanvaringen. Het barrière-effect en habitatverlies wordt bijgevolg voor alle configuratiealternatieven ingeschat als gering negatief (0/-), hoewel er waarschijnlijk voor de meeste soorten geen impact wordt verwacht.

Voedselbeschikbaarheid

Turbines kunnen als een kunstmatig rif beschouwd worden, waardoor de diversiteit aan benthosgemeenschappen en vis (prooien voor vogels) kan toenemen. Tijdens de operationele fase zal er een visverbod gelden binnen het windpark waardoor er een stijging van de voedselbeschikbaarheid kan optreden. Voor meer details wordt verwezen naar § 5.4.3.5 (Harde substraten).

In Nederland werd vastgesteld dat aalscholvers gericht vanuit de kolonie naar de windparken vliegen om daar de dag foeragerend en rustend door te brengen. Ze gaan nu dus veel verder in zee dan voorheen om te foerageren (BMM, 2009; Krijgsveld *et al.,* 2011). Volgens Leopold *et al.* (2010) gebruiken ze het windpark tevens als nieuw platform om van daaruit verder op zee te foerageren. Hoewel de windparken in het BDNZ verder uit de kust liggen dan in Nederland valt dit fenomeen niet uit te sluiten, zeker indien de Alpha-installatie van Elia gebouwd wordt, wat een rustplaats op zee zou creëren.

In de Deense windparken Nysted en Horns Rev werden er geen effecten waargenomen op visabundantie en -distributie (BMM, 2009).

Op de Blighbank werden sinds 2012 regelmatig foeragerende drieteenmeeuwen geobserveerd, in hogere percentages dan in de controlegebieden (5,9% versus 0,3%). Op de Thorntonbank werden in 2013 grote aantallen kleine mantelmeeuwen geobserveerd die rond de jacket structuren foerageerden. Dit kan er op wijzen dat het voedselaanbod reeds is toegenomen voor zeevogels en dat er in de toekomst een toename van vogels kan verwacht worden in de windparken (Vanermen *et al.,* 2013b).

Er is nog meer onderzoek vereist naar het gedrag van vogels binnen windparken. Hoewel een toename in het voedselaanbod een gering positief effect (0/+) kan opleveren voor vogels, kan een verhoogde aantrekking ook leiden tot een verhoogd aanvaringsrisico.

Vleermuizen

De laatste jaren wordt er naast onderzoek op vogels ook aandacht besteed aan het voorkomen van vleermuizen op zee. De grote toename van offshore windparken in Europa zou ook voor vleermuizen kunnen leiden tot een verhoogde mortaliteit. Recent onderzoek in Nederland toonde aan dat vleermuizen voorkomen in de twee offshore windparken op het Nederlands Continentaal Plat in de Noordzee: het Offshore Windpark Egmond aan Zee en het Prinses Amalia Windpark (Jonge Poerink *et al*., 2013). De soorten die zijn vastgesteld zijn de ruige dwergvleermuis (*Pipistrellus nathusii*) en de rosse vleermuis (*Nyctalus noctula*). Van beide vleermuissoorten is bekend dat ze gedurende de trek grote afstanden kunnen afleggen. De waarnemingen kunnen dan ook betrekking hebben op migrerende dieren. Het is niet uitgesloten dat het om lokale populaties gaat die heen en weer vliegen vanaf het vasteland om te foerageren. Er zijn immers geen aanwijzingen dat de vleermuizen een verblijfplaats hebben in de windparken. Ook Zweeds onderzoek heeft aangetoond dat vleermuizen voorkomen in een offshore windpark in de Oostzee, waarschijnlijk om te foerageren op de geaccumuleerde

insecten rond de parken (Ahlen, 2007, 2009). Vleermuizen worden soms ook aangetroffen op booreilanden en schepen, en waarnemers van vogeltrek langs de kust zien met enige regelmaat vleermuizen vanuit zee naar land vliegen (Boshamer & Bekker, 2008; Skiba, 2007; Walter, 2007).

Er is nog zeer weinig bekend over trekroutes over de Noordzee en over het gebruik van offshore windparken als foerageergebied. Omdat vleermuizen beschermde dieren zijn, is bijkomend onderzoek van zeer groot belang, zodat in de toekomst rekening gehouden kan worden met de aanwezigheid van vleermuizen op zee. Studies (onshore) hebben immers aangetoond dat windturbines een groot risico vormen voor vleermuizen. In Duitsland bijvoorbeeld, wordt het aantal dodelijke slachtoffers geschat op zo'n 200.000 per jaar (Voight, 2012). Vleermuizen sterven immers niet door directe aanvaring, maar door letsels aan hun longen en bloedvaten door de verlaagde luchtdruk die de draaiende wieken creëren. Ahlén *et al*., (2009) stelde bovendien vast dat migrerende vleermuizen op de Baltische zee meestal vrij laag vliegen (< 10 m) en enkel tijdens het foerageren hoger zullen gaan vliegen. De Baltische zee is minder zout dan de Noordzee en vertoont ook een zekere insectenactiviteit tot ver buiten de kust. In die omstandigheden is het mogelijk dat vleermuizen ofwel spontaan grote wateroppervlakten oversteken (al jagend), ofwel door desoriëntatie op vreemde plekken verzeild raken. In tegenstelling tot (water-)vogels zijn vleermuizen veel minder aangepast voor trek over volle zee. Hoe dan ook is verder onderzoek noodzakelijk om te bepalen in welke mate vleermuizen voorkomen in het BDNZ, of er insectenpopulaties voorkomen rond de windparken en wat de effecten van de turbines op vleermuizen zijn. De radarstudie voorzien in het monitoringsprogramma voor de vogels kan hierbij alvast helpen.

5.4.3.3.3 Ontmantelingsfase

Er wordt verwacht dat de effecten tijdens de ontmantelingsfase, met uitzondering van de geluidsproductie (geen heiactiviteiten meer), van dezelfde aard zullen zijn als deze tijdens de constructiefase en bijgevolg als gering negatief (0/-) beoordeeld kunnen worden.

5.4.3.3.4 WEC

Er worden enkel effecten verwacht op vogels en niet op vleermuizen aangezien er voor hen geen aanvaringsrisico bestaat door hun geavanceerd detectiesysteem. Vleermuizen sterven immers niet door directe aanvaring, maar door letsels aan hun longen en bloedvaten, veroorzaakt door verlaagde luchtdruk in de buurt van de WTG's.

Algemene verstoring

Tijdens de werkzaamheden kan er een barrièrewerking optreden ten opzichte van de vogels. Deze barrièrewerking zal voornamelijk het gevolg zijn van de geluidsproductie en de aanwezigheid van de schepen.

De WEC's zullen echter gefaseerd geplaatst worden waardoor de periode van verstoring steeds beperkt is in tijd. Hierdoor kan het effect van de constructie op de vogels als onbestaand (0) beschouwd worden.

Fysische aanwezigheid

De aanwezigheid van de WEC's tijdens de operationele fase zal waarschijnlijk geen invloed hebben op vogels (EC, 2010). Eventueel kunnen de structuren gebruikt worden als rustplaats (Figuur 5-101).



Figuur 5-101 Noordse sternen die rusten op een Pelamis WEC in Schotland (Jackson, 2014)

Hoe groot deze aantrekking zal zijn, hangt af van de grootte van de WEC's, het aantal en of de vogels al dan niet verstoord worden door het operationele geluid van de WEC's. Hoewel een rustplaats ver uit de kust, en een potentieel hoger voedselaanbod door de aanwezigheid van harde substraten, een positief effect kan hebben op vogels, verhoogt dit tevens het aanvaringsrisico met de windturbines. Bovendien kunnen verstoringsgevoelige soorten mogelijk het gebied mijden zoals het geval is bij de windturbines.

Vooral aalscholversoorten kunnen profiteren van structuren op zee aangezien ze hier hun veren kunnen laten drogen. Ook op OHVS stations en de funderingen van de windturbines werden in verschillende windparken (OWEZ, PAWP, C-Power) een toename van aalscholvers geobserveerd. Structuren op zee kunnen op deze manier voor een stepping stone zorgen, waarbij ze hun leefgebied kunnen uitbreiden.

Er wordt niet verwacht dat de WEC's zelf een reëel gevaar inhouden voor vogels, hoewel duikende vogels (jan-van-gent, sternen) mogelijk in aanvaring komen met de ankerlijnen en kabels. Er bestaan geen gegevens over dit soort aanvaringsrisico en mortaliteit. De grootte van de impact zal afhankelijk zijn van het aantal lijnen en kabels. Voornamelijk de FlanSea en de Lifesaver beschikken over een groot aantal verankeringen, en kunnen daardoor beschouwd worden als het worst case scenario. De effecten op populatieniveau zullen verwaarloosbaar zijn (Scally *et al*., 2010).

De effecten van de WEC's op de vogels tijdens de operationele fase kunnen zowel gering positief (0/+) als gering negatief (0/-) beoordeeld worden, afhankelijk van de soort.

5.4.3.3.5 Bekabeling

Voor het windpark bestaat naast de mogelijkheid van een directe verbinding met de Alpha-installatie, ook de fall-back optie voor een kabeltracé tot aan de kust waarbij SBZ-V3

Zeebrugge wordt doorkruist (Bijlage E). Het gericht marien reservaat 'Baai van Heist' wordt niet doorkruist. Voor een uitgebreide bespreking van de milieueffecten van het fall-back scenario wordt verwezen naar de MER van het BOG (IMDC, 2013d). Effecten zoals omwoeling tijdens het ingraven van de kabel zullen tijdelijk en lokaal zullen. Er worden daarom geen significante effecten (0/-) verwacht ten opzichte van de SBZ en de daaraan gebonden vogelsoorten.

De aanwezigheid van de kabels tijdens de operationele fase zal geen rechtstreekse effecten (0) hebben op de zeevogels.

5.4.3.3.6 Besluit bespreking en beoordeling van de effecten op vogels

Samenvattend worden de effecten op de vogels weergegeven in Tabel 5-79 en Tabel 5-80 voor zowel de basisconfiguraties als de diverse configuratiealternatieven voor respectievelijk Mermaid en Northwester 2. Volgende definities zijn van toepassing: significant positief (++), matig positief (+), gering positief (0/+), (vrijwel) geen effect (0), onzeker (?).

Tabel 5-79 Overzicht van de effecten op vogels voor de Mermaid windpark (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering)

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	MP	JF	GBF	MP	JF	JF	GBF	JF	GBF
Constructiefase									
Geluidsverstoring	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Verstoring door sedimentatie	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Voedselbeschikbaarheid	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Vleermuizen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operationele fase									
Aanvaringsaspect	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Barrière effect en habitatverlies	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Voedselbeschikbaarheid	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
Vleermuizen	?	?	?	?	?	?	?	?	?
Ontmantelingsfase									
Analoog constructiefase	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
WEC									
Fysische aanwezigheid	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
Algemene verstoring	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bekabeling									
Algemene verstoring (constructie fase)	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Algemene verstoring (operationele fase)	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 5-80 Overzicht van de effecten op vogels voor het Northwester 2 windpark (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering)

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	MP	JF	GBF	MP	JF	JF	GBF	JF	GBF
Constructiefase									
Geluidsverstoring	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Verstoring door sedimentatie	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Voedselbeschikbaarheid	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Vleermuizen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operationele fase									
Aanvaringsaspect	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Barrière effect en habitatverlies	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Voedselbeschikbaarheid	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
Vleermuizen	?	?	?	?	?	?	?	?	?
Ontmantelingsfase									
Analoog constructiefase	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Bekabeling									
Algemene verstoring (constructie fase)	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Algemene verstoring (operationele fase)	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.4.3.4 Zeezoogdieren

5.4.3.4.1 Constructiefase

Tijdens de bouwfase kunnen zeezoogdieren door volgende veranderingen hinder ondervinden:

- Voedselbeschikbaarheid;
- Verstoring als gevolg van de verschillende bouwactiviteiten;
- Verhoogde scheepvaart;
- Geluidsverstoring en trillingen.

Voedselbeschikbaarheid

De bouw van windparken kan de voedselbronnen beïnvloeden, waardoor de gebieden minder aantrekkelijk kunnen worden voor zeezoogdieren. Door Bach *et al.* (2000) werd verondersteld dat gedurende de constructiefase de vispopulaties van vooral kabeljauw- en haringachtigen (de voornaamste voedselbron) binnen het windpark en in de onmiddellijke omgeving ervan zullen afnemen. Zo kan geluid geproduceerd door het heien van monopiles of jacket funderingen leiden tot vermijdingsgedrag bij vissen tot op enkele kilometers van het brongeluid. Zeezoogdieren kunnen door de lage voedselbeschikbaarheid het gebied verlaten of het gebied wordt niet langer geschikt als broedgebied (Elsam Engineering & ENERGI E2, 2005). Gedwongen verplaatsingen van bruinvissen omwille van de constructie van windturbines naar gebieden die qua voedselvoorziening minder geschikt zijn, kunnen zeer schadelijk zijn, gezien ze niet lang zonder voedsel kunnen. De reductie in prooivispopulatie zal waarschijnlijk tijdelijk zijn: de voedselbronnen kunnen zich herstellen wanneer de constructie van het windpark is afgerond (Bach *et al.,* 2000).

Gezien het tijdelijke karakter van de effecten van mogelijke veranderingen in voedselbronnen, wordt het effect als gering negatief beoordeeld (0/-). Het is niet te voorspellen over welk gebied effecten zullen optreden, hoe lang bruinvissen afwezig zullen zijn, en of ze in lagere aantallen zullen terugkeren of niet. Dit geldt tevens voor andere zeezoogdieren.

Algemene verstoring

Het is onvermijdelijk dat er tijdens de constructiefase een verstoring van zeezoogdieren zal optreden. De constructiefase van elk windpark wordt voornamelijk gespreid over de lente-zomer periode (globaal april tot en met oktober). Men opteert steeds meer om door te gaan met het bouwen tijdens de wintermaanden: stil en koud weer is eveneens geschikt voor constructiewerkzaamheden. Bruinvissen worden vooral waargenomen in de periode van 1 januari tot 30 april. Het is dus aannemelijk dat zeezoogdieren verstoord kunnen worden door zowel de bouw van de windturbines als de aanleg van de kabels. Dit als gevolg van toenemende turbiditeit van het water, onderwaterbewegingen, de aanwezigheid van schepen en machines, geluid en andere activiteiten op de zeebodem. De effecten van geluiden en trillingen worden besproken in volgende paragraaf.

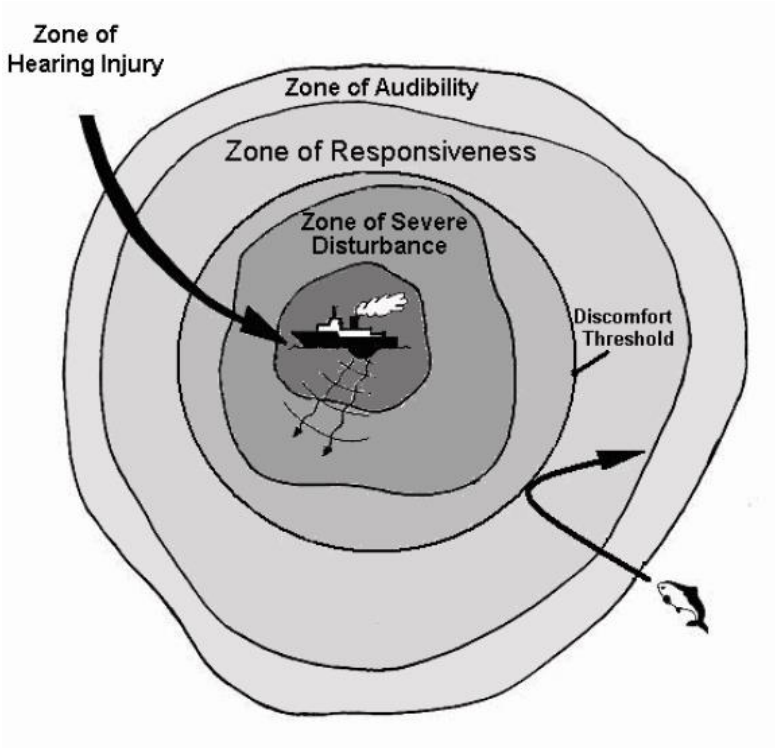
Gezien het beperkt aantal bijkomende transporten in vergelijking met het huidige aantal aanwezige scheepsbewegingen in het BDNZ (voornamelijk ter hoogte van de scheepvaartroutes) en gezien de niet permanente invloed worden er geen bijkomende negatieve effecten in de vorm van verstoring verwacht tengevolge van de algemene constructiewerkzaamheden van de windparken (Stienen *et al.*, 2002; BMM, 2009).

Er wordt verondersteld dat zeezoogdieren de site waar de constructieactiviteiten plaatsvinden en de onmiddellijke omgeving ervan zullen verlaten, de site tijdelijk zullen mijden en na het beëindigen van de constructiefase terug zullen keren naar de windparken (o.a. Bach *et al.*, 2000; Elsam Engineering & ENERGI E2, 2005). Gedragswijzigingen ten gevolge van verstoring kunnen eveneens leiden tot scheiding van moeder en kalf (OSPAR, 2008a). Het is opnieuw niet te voorspellen over welk gebied effecten zullen optreden, hoe lang bruinvissen afwezig zullen zijn en of ze in lagere aantallen zullen terugkeren of niet.

Verstoring tengevolge van de algemene constructiewerkzaamheden wordt als gering negatief beoordeeld (0/-).

Geluidsverstoring en trillingen

De effecten op zeezoogdieren variëren van gedragverandering op grote afstand tot de bron, tot maskering van het eigen geluid, tijdelijke gehoorshift (temporary threshold shift, een tijdelijke verhoging van de gehoordrempel), permanente gehoorshift (permanent threshold shift, een permanente verhoging van de gehoordrempel), fysische schade en zelfs de dood dicht bij de bron (OSPAR, 2009b). Figuur 5-102 geeft een schematische weergave van de invloedszones rond een geluidsbron. Een ander aspect van de impact van het geluid op organismen is de duur van het geluid: blootstelling van een kortere duur veroorzaakt minder schade dan een langere blootstelling aan hetzelfde geluidsniveau (BMM, 2007; Tasker *et al.,* 2010).



Figuur 5-102 Invloedszones rond een geluidsbron voor zeezoogdieren (Verboom & Kastelein, 2005). Zone of audibility: zone waarbinnen het geluid hoorbaar is voor zeezoogdieren; Zone of responsiveness: zone waarbinnen zeezoogdieren gedragsveranderingen vertonen; Discomfort threshold: overschrijding van deze geluidsdrempel veroorzaakt vermijdings- en afschrikreacties; Zone of severe disturbance: zone waarbinnen ernstige verstoring (sterke vermijdingsreacties) van zeezoogdieren optreedt; Zone of hearing injury: zone waarbinnen gehoorschade optreedt.

Bruinvissen en gewone zeehonden zijn vermoedelijk in staat om het heien van palen te horen tot op 80 km, of zelfs honderden kilometers van de bron (Thomson *et al.*, 2006). Zeehonden zijn volgens de meeste onderzoekers minder gevoelig voor geluid dan bruinvissen (Gordon *et al.*, 2007).

In verscheidene studies werden drempelwaarden van geluidsniveaus geschat waarbij gedragsverandering, maskering, tijdelijke gehoorshift, permanente gehoorschade, etc. bij zeezoogdieren verwacht wordt. Aan de hand van de geschatte drempelwaarden en uitgevoerde geluidsmetingen werden vervolgens diverse invloedszones bepaald (Figuur 5-102). Tabel 5-81 geeft een overzicht van de bevindingen van enkele studies van deze invloedzones voor bruinvissen.

Tabel 5-81 Invloedszones voor bruinvissen, bepaald aan de hand van de geschatte drempelwaarden en uitgevoerde geluidsmetingen bij diverse heiwerkzaamheden

Studie	Site	Type fundering	Water diepte	Zone rond bron waarbinnen effect optreedt	Effect
Nedwell *et al.*, 2003	North Hoyle, UK	monopiles, Ø 4 m, lengte 50 m	± 10 m diep	zone van 7,4 km	sterke vermijdingsreactie, ernstige verstoring
				zone van 100 m	permanente gehoorschade
Thomsen *et al.*, 2006	FINO-1 onderzoeks-platform, Duitsland	jacket fundering, Ø 1,5 m per paal	± 30 m diep	zone van > 20 km	gedragsverandering
				zone van 1,8 km	permanente gehoorschade
De Jong & Ainslie, 2008	Q7 windpark, Nederland	monopiles, Ø 4 m	± 20 m diep	zone van > 5,6 km	lichte vermijdingsreactie
				zone van 1,5 km	sterke vermijdingsreactie, ernstige verstoring
				zone van 500 m	tijdelijke shift in gehoordrempel
Norro *et al.*, 2010	Belwind, België	monopiles, Ø 5 m	15 - 37 m diep	zone van > 25 km	gedragsverandering
Bailey *et al.*, 2010	Moray Firth, Schotland	jacket fundering, Ø 1,8 m per paal	> 40 m diep	zone van 70 km	hoorbaar, mogelijk ook gedragsverandering
				zone van 20 km	sterke vermijdingsreactie, ernstige verstoring
				zone van 100 m	tijdelijke shift in gehoordrempel en permanente gehoorschade
Lucke *et al.*, 2011	Alpha Ventus, Duitsland	jacket fundering, Ø 1,8 m per paal	28 m diep	zone van 25 km	ernstige verstoring, gehoorschade

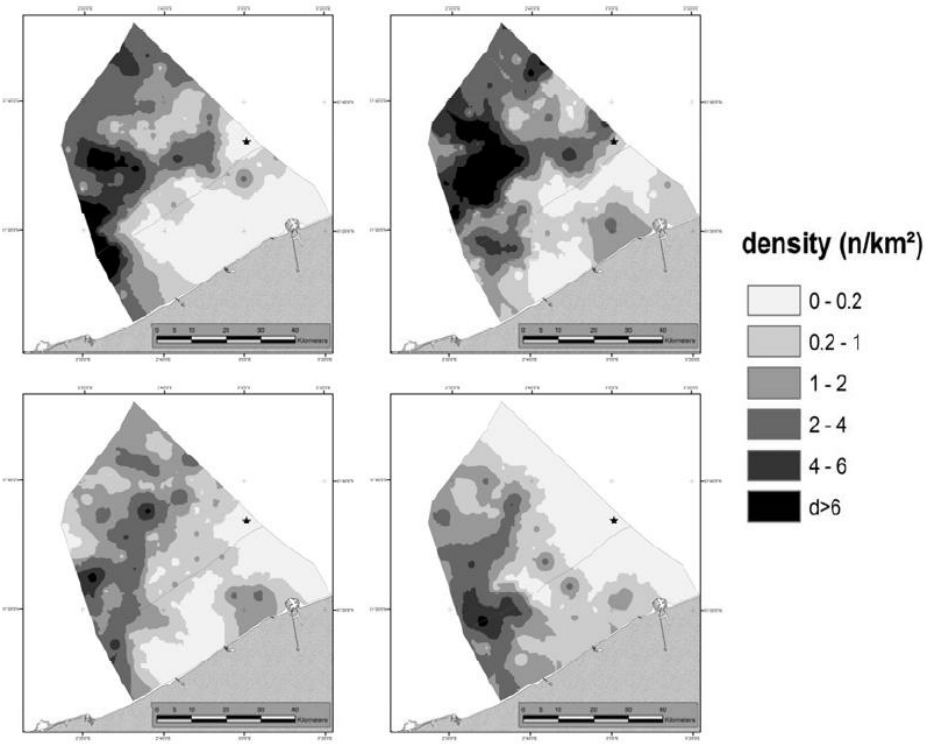
Studie	Site	Type fundering	Water diepte	Zone rond bron waarbinnen effect optreedt	Effect
Haelters *et al*., 2012a	C-Power, België	jacket fundering, ø 1,83 m per paal	12 – 27 m diep	zone van 22 km	gedragsverandering
Norro *et al*., 2013	Belwind, België	monopiles, ø 5 m	15 - 37 m diep	zone van 16 km	ernstige verstoring
Norro *et al*., 2013	C-Power, België	jacket fundering, ø 1,83 m per paal	12 – 27 m diep	zone van 8 km	ernstige verstoring

Gedurende de constructiefase van verscheidene windparken werd het gedrag en de verspreiding van zeezoogdieren gemonitord, bij uitvoering van zowel algemene constructie-werkzaamheden, als bij heiactiviteiten. In volgende paragrafen worden de resultaten van enkele van deze monitoringscampagnes besproken:

- Horns Rev I – Denemarken (Tougaard *et al.*, 2003, 2006a, 2006b; Vattenfall A/S, 2006, Brandt *et al.*, 2011):
  - Monopiles.
  - Zeehonden vertonen geen gedragswijziging tijdens algemene constructiewerken, Bruinvissen vertonen een lichte terugval.
  - Zeehonden (tot enkele km) en bruinvissen (tot 25 km) vertonen wel vermijdingsgedrag tijdens het heien. Normale akoestische activiteit werd 3 à 4 u na het heien opnieuw vastgesteld bij bruinvissen.
  - Tijdens het heien van de palen werd over een afstand van 15 km van de bron een wijziging vastgesteld: op dagen zonder heien was niet-gericht zwemmen het dominant gedrag (voeding) en op dagen met heien was de dominante activiteit gericht op zwemmen (reizen). Dit heeft als gevolg dat de kans dat een bruinvis gedetecteerd wordt door een passief akoestisch monitoringstoestel wordt verkleind, gezien de echolocatie-geluidsgolf van de bruinvis zeer gericht is.
  - ‘Pingers’ en ‘seal scares’ werden gebruikt als afweermiddelen (Elsam Engineering & ENERGI E2, 2005). Het zijn toestellen die geluiden produceren die bruinvissen en zeehonden afschrikken.
- Nysted – Denemarken (Tougaard *et al.*, 2006c; Teilmann *et al.*, 2005, 2006c; Edrén *et al.*, 2005):
  - Gravitaire funderingen + ingeheide damwanden.
  - Zeehonden vertonen geen gedragswijziging tijdens algemene werken. Voor bruinvissen werd een duidelijke afname in de echolocatieactiviteit vastgesteld. Zowel in de werkzone als in een zone van 10 km rond het gebied werden bruinvissen minder waargenomen en vertoonden aanwezige dieren een afwijkend akoestisch gedrag.

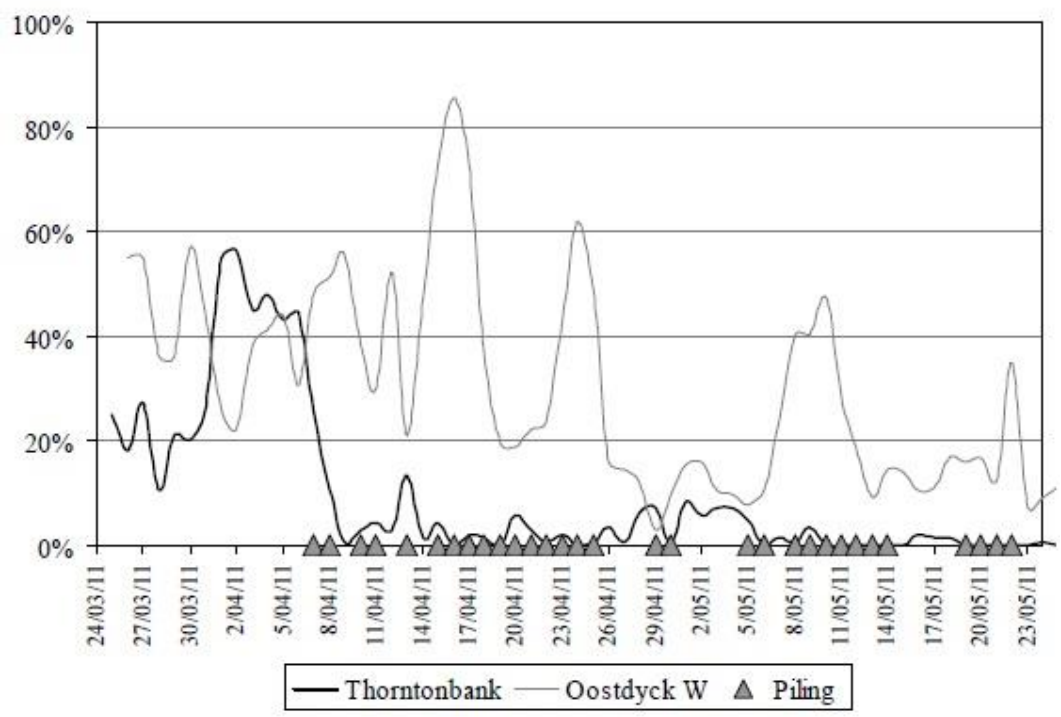
  - Na werken volledige terugkeer van echolocatieactiviteit.
  - Groot effect op bruinvissen tijdens heiactiviteiten (tot 25 km), maar impact is van korte duur.
  - 'Pingers' en 'seal scares' werden gebruikt als afweermiddelen.
- OWEZ – Nederland (Leopold & Camphuysen, 2008):
  - 36 monopiles.
  - Gebruik van een pinger en een ramp-up procedure (waarbij het geluidsniveau geleidelijk opgedreven wordt).
  - Geen gehoorschade of verhoogde mortaliteit vastgesteld bij bruinvissen veroorzaakt door de heiactiviteiten.
- Horns Rev II – Denemarken (Brandt *et al.*, 2009):
  - 92 monopiles.
  - Tijdens het heien werd er een duidelijke afname van akoestische activiteit van bruinvissen waargenomen dicht bij de constructiesite, terwijl er helemaal geen wijziging in activiteit of zelfs meer activiteit waargenomen werd op grotere afstand.
  - De zone in de nabijheid van de heiactiviteiten werd vermoedelijk volledig verlaten door bruinvissen gedurende een gemiddelde periode van 16,6 u, en een maximale periode van 74,2 u na het heien. Deze relatief lange hersteltijd was bijna even lang als de tijd tussen twee heiactiviteiten in, zodat de activiteit en mogelijk ook de densiteit van bruinvissen in de nabijheid van de constructiesite gereduceerd werd gedurende de gehele periode waarin heiactiviteiten plaatsvonden (5 maand). De hersteltijd is veel langer dan diegene waargenomen bij heiactiviteiten bij de bouw van Horns Rev I, terwijl de ruimtelijke schaal waarover het vermijdingseffect werd waargenomen aanzienlijk kleiner was. Deze verschillen zijn mogelijk het gevolg van afwijkende topografie en daardoor afwijkende geluidstransmissie, en mogelijk eveneens afwijkende habitatgeschiktheid tussen beide gebieden. Er wordt verondersteld dat de gebruikte afschrikmechanismen hun doel bereikt hebben, gezien het ontstaan van fysische schade binnen een zone van 2 km van de heilocaties verwacht werd, en er op een afstand van minder dan 3 km geen dieren waargenomen werden.
- Murray Firth – Schotland (Thompson *et al.*, 2010):
  - 2 jacket funderingen.
  - Bruinvissen bleven het gebied tijdens de constructiewerkzaamheden gebruiken, hoewel in mindere mate.
  - Chronische verstoring tengevolge van o.a. scheepvaart geassocieerd met de constructiewerkzaamheden zou even belangrijk kunnen zijn als de tijdelijke verstoring van heiwerkzaamheden, althans in de zone dicht bij de turbinelocaties (1-2 km).
  - Geluid voortgebracht door het heien heeft zich vermoedelijk wel over een veel grotere afstand voortgeplant dan geluid van algemene werkzaamheden.
  - Bruinvissen binnen een zone van 1-2 km van de site kunnen korte termijn reacties vertonen, maar er worden geen ingrijpende lange termijn veranderingen vastgesteld.

- Thorntonbank C-Power fase 2 – België (Haelters *et al.*, 2012a; BMM, 2011b):
  - 49 jacket funderingen
  - Verspreidingskaarten voor en tijdens de heiactiviteiten (Figuur 5-103) tonen aan dat na de start van het heien er geen bruinvissen voorkwamen in een straal van meer dan 20 km van de activiteiten. Na het stoppen van het heien duurde het uren tot dagen voor nieuwe detecties plaatsvonden. Na 1 dag zonder heiactiviteiten nam de impactzone af tot een straal van 13 km.



Figuur 5-103 Luchtwaarnemingen van bruinvisdensiteiten tijdens surveys op 24-25 maart (links boven), 29 maart (rechts boven), 14 april (links benenden) en 16 april 2011 (rechts beneden). De ster duidt de locatie van de heiactiviteiten aan die aanvingen op 7 april (Haelters et al., 2012a).

  - Een passief akoestisch monitoringstoestel detecteerde vrijwel geen bruinvissen meer vanaf de start van het heien, mogelijk door een lokale verstoring door het gebruik van een akoestisch afschrikmiddel (Figuur 5-104).



Figuur 5-104 Voorlopige (niet geverifieerde) resultaten van passieve akoestische monitoring met C-PoDs op de Thorntonbank en de Oostdyck W (detecties uitgedrukt als % detectie positieve blokken van 10 minuten per dag). De heiactiviteiten worden weergegeven met driehoeken op de x-as (BMM, 2011b)

- Het geluidsniveau gemeten tijdens het heien van de palen met een diameter van 1,7 m was 180 dB re 1 µPa op 250 m afstand en 173 dB re 1 µPa op 1,6 km afstand.

Het heien van monopiles wordt verondersteld een matig negatief effect (-) te hebben op zeezoogdieren in de nabijheid van de heilocaties. Het heien van jacket funderingen wordt eveneens als matig negatief (-) beoordeeld door het hoger aantal palen ten opzichte van monopiles, ondanks dat het geluidsdrukniveau onder water lager zal zijn (dunnere palen). Gezien de seizoenaal hoge dichtheid aan bruinvissen in Belgische wateren, en de afstanden waarop verstoring kan optreden, kunnen gedragsveranderingen verwacht worden voor honderden tot enkele duizenden dieren. Er wordt niet verwacht dat heiactiviteiten fysische schade of verstoring zullen veroorzaken bij zeehonden die deel uitmaken van de dichtst bijzijnde kolonies in het Natura 2000 gebied 'Voordelta' in de Nederlandse Delta, gezien de afstand van beide windparken tot dit beschermd gebied (ca. 33 km), en gezien zeehonden overwegend dicht bij de kust verblijven, waar zich rustplaatsen en kolonies bevinden. Het is te verwachten dat het geluid veroorzaakt door het heien voor zeehonden in een zeer ruim gebied rond de bouwwerf hoorbaar zal zijn (BMM, 2007). Om de impact van de effecten te verkleinen, kunnen enkele milderende maatregelen genomen worden (zie § 5.4.5.4).

Voor de installatie van gravitaire funderingen zullen wel grote volumes sediment gebaggerd moeten worden. Hoewel het niveau van het onderwatergeluid veroorzaakt door baggerschepen tamelijk hoog is, kan het niet beschouwd worden als een 'impulsieve' of acute bron, eerder als een 'continue', 'coherente' bron.

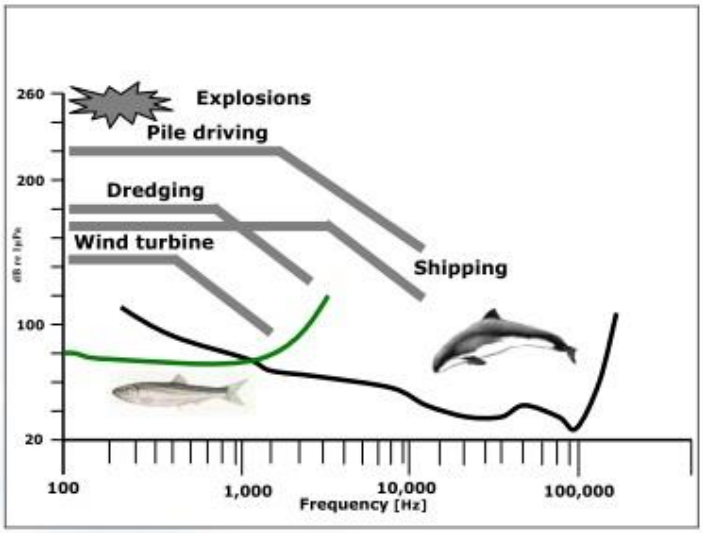
Gezien de karakteristieken van de geluidsbron, het zeer plaatselijke karakter van de werken en de grote mobiliteit van de zeezoogdieren, valt niet te verwachten dat belangrijke en langdurige negatieve effecten (onder de vorm van verstoring) te verwachten zijn (gering negatief, 0/-), of dat de effecten belangrijker zijn dan bij het gebruik van monopiles.

5.4.3.4.2 Operationele fase

Tijdens de operationele fase kunnen er zich effecten op zeezoogdieren voordoen ten gevolge van trillingen en geluiden van de windturbines, habitatverlies als gevolg van de fysische aanwezigheid van een windpark, verstoring door onderhoudswerken en veranderingen in beschikbare voedselbronnen.

Geluidsverstoring en trillingen

Zeezoogdieren (dolfijnen, bruinvissen) bezitten een geavanceerd sonarsysteem dat hen toelaat te navigeren en te jagen zonder gebruik te maken van andere zintuigen (echolocatie). In troebel water is dit absoluut noodzakelijk voor de overleving. Deze echolocatie zou verstoord kunnen worden door het geluid afkomstig van de operationele windturbines (Bach *et al.*, 2000) (Figuur 5-105). Gedurende de operationele fase zullen de windturbines namelijk geluid produceren in de lucht en via de windturbine en de fundering ook in het water.



Figuur 5-105 Vergelijking van de gevoeligheid van haringen (groene lijn) en bruinvissen (zwarte lijn) ten opzichte van antropogene geluiden (Thomsen et al., 2009)

Het geluid van operationele windturbines kan hoorbaar zijn voor bruinvissen tot op een afstand van ongeveer 50 m (Henriksen *et al.*, 2003), voor zeehonden tot een afstand van 1 km (Dolman *et al.*, 2003). De chronische blootstelling aan bijkomend lawaai kan het habitat van zeezoogdieren op die manier aantasten en verkleinen (BMM, 2009; Tasker *et al.*, 2010).

In het hoofdstuk ‘Geluid en trillingen’ wordt besloten dat het geluid van de operationele windturbines onder water in het slechtste geval zal leiden tot een verhoging van het geluidsniveau in een zone die beperkt blijft tot het gebied tussen de windturbines en de 500 m veiligheidsgrens. In de samenvattende literatuurstudie van Nedwell *et al.* (2007) werd besloten dat het geluidsniveau onder water afkomstig van de windturbines zeer laag is. Slechts enkele onderwatermetingen waren hoger dan het achtergrondgeluid onder water.

Geluiden in de operationele fase kunnen een impact hebben, maar de effecten zullen waarschijnlijk gering zijn (Bach *et al.*, 2000, Dolman *et al.*, 2003; Diederichs *et al.*, 2008). Uit studies met het (gesimuleerde) geluid van een 2 MW turbine leidde men af dat bruinvissen het geluid hoorden, maar dat ze geen gedrag gerelateerd aan een vluchtreactie, angst of paniek vertoonden. Ze waren voorzichtig, maar benaderden en exploreerden zelfs de geluidsbron (Koschinski *et al.,* 2003). Uit monitoringsstudies van het windpark Horns Rev in Denemarken (Tougaard *et al.*, 2006a, 2006b; Vattenfall A/S, 2006) bleek dat het onderwatergeluid geproduceerd door 80 windturbines van elk 1,8 MW geen impact had op bruinvissen tijdens de operationele fase. Over de impact van grotere windturbines tijdens de exploitatie bestaat vooralsnog geen data.

Het effect van geluid en trillingen geproduceerd door de geplande windturbines van minimum 3,3 MW tot maximum 10 MW in de projectgebieden van Mermaid en Northwester 2 kan momenteel nog niet ingeschat worden en het is zeer moeilijk dit te voorspellen. Grotere turbines zullen vermoedelijk geluid met hogere geluidsniveaus en lagere frequenties produceren (OSPAR, 2009a). Bovendien is dit geluid afhankelijk van de locatie (type ondergrond, waterdiepte, etc.), het type fundering en de windsnelheid. Het valt niet te verwachten dat de effecten merkbaar zullen zijn over een grote afstand en dat ze, gezien hun continu niveau, een verstorend effect zullen hebben voor zeezoogdieren in de onmiddellijke omgeving van het park (Tougaard *et al.*, 2008). Meer acute effecten, zoals trauma's of sterfte, worden niet verwacht. Eventueel kan gewenning optreden. Secundaire effecten kunnen ontstaan door het verstoren van de prooien van zeezoogdieren in en om de parken.

Er wordt verondersteld dat het effect van geluid en trillingen tijdens de operationele fase gering negatief is (0/-).

Fysische aanwezigheid van het windpark

De windturbines zijn grote constructies die de fysische karakteristieken van de omgeving opmerkelijk veranderen. Dit kan een impact hebben op bepaalde dieren: vermindering in gebruik van het gebied of het verlaten van het gebied. De fysische aanwezigheid van de windturbines kan ook dieren aantrekken, die het als rustplaats of als verdediging tegen predatoren kunnen gebruiken (Elsam Engineering & ENERGI E2, 2005).

De visuele impact van de roterende windturbinebladen en reflectie van licht zijn mogelijke oorzaken voor een verminderd gebruik van een windpark (Bach *et al.*, 2000). Andere mogelijke oorzaken zijn directe verstoring tijdens de exploitatie (zoals geluid of verstoringen door onderhoudsschepen) of indirect via een beïnvloeding van hun prooien. Deze mogelijke oorzaken worden in volgende paragrafen verder besproken.

Observaties in het offshore windpark bij Vindeby en Tunø Knob (Denemarken) tonen aan dat bruinvissen niet verstoord werden door de fysische aanwezigheid van de windturbines wanneer deze niet actief zijn. Bij het windpark Nysted werd twee jaar na de start van de exploitatie een verminderd gebruik van het windpark waargenomen, maar ondertussen neemt de densiteit van bruinvissen langzaam toe (Tougaard *et al.*, 2006c, Teilmann & Carstensen, 2012). Uit monitoringsstudies van het windpark Horns Rev werd er gedurende 2 jaar exploitatie zelfs helemaal geen effect vastgesteld op de abundantie van bruinvissen (Tougaard *et al.*, 2005, 2006b; Vattenfall A/S, 2006). Recente informatie, verkregen via passieve akoestische monitoring, over de aanwezigheid van bruinvissen in en om het Nederlandse OWEZ park duidt op een verhoogde aanwezigheid van bruinvissen binnen het park in vergelijking met daarbuiten (Scheidat *et al.*, 2011).

De achtergrond voor die verhoogde aanwezigheid was niet duidelijk; de auteurs bespreken twee verschillende oorzaken: een hogere voedselbeschikbaarheid binnen het park ('reef-effect' en afwezigheid van visserij) en/of het vermijden van verstoring buiten het park (de afwezigheid van vaartuigen binnen het park in dit overwegend druk bevaren zeegebied).

Dietz *et al.* (2000) geven aan dat de fysische aanwezigheid van windturbines vooral van belang is voor zeehonden. Reflectie van windturbines in de zon en de schaduwen van de roterende wieken kunnen afschrikken, hoewel zij op termijn vermoedelijk gewenning zullen vertonen voor deze vorm van verstoring. Ter hoogte van de windparken Horns Rev I en Nysted werden bij de exploitatie geen veranderingen waargenomen in het gedrag van zeehonden (Edrén *et al.*, 2005; Teilmann *et al.*, 2005, 2006c; Tougaard *et al.*, 2006a; Vattenfall A/S, 2006). Bij monitoring ter hoogte van het OWEZ windpark werd bovendien vastgesteld dat het gebied zeer zelden door zeehonden doorkruist en gebruikt werd, zowel voor als na de bouw van het windpark. Voorts bleken zeehonden bij voorkeur dicht bij hun uithaalplaatsen te blijven (kustzones) en diepere zones te vermijden (Brasseur *et al.,* 2008).

Voor C-Power en Belwind kunnen voorlopig nog geen conclusies worden getrokken of zeezoogdieren de windparken vermijden of opzoeken (Haelters *et al.,* 2013a). De fysische aanwezigheid van een windpark heeft waarschijnlijk geen effect (0) op zeezoogdieren. Er zal vermoedelijk gewenning optreden. Verder wordt er niet verwacht dat de fysische aanwezigheid van de kabels, ingegraven in de zeebodem, enige veranderingen zullen veroorzaken in de abundantie van zeezoogdieren.

Verstoring door onderhoudswerken

Tijdens het onderhoud van de windparken kan een verstoring van de zeezoogdieren optreden. Mensen die een windpark binnenkomen om onderhoudswerken uit te voeren, vliegtuigen en helikopters die op lage hoogte vliegen, een toename in het scheepsverkeer, etc. kunnen de aanwezige dieren verstoren. Een toename in scheepvaart ten behoeve van onderhoud zal met kleine, snelle boten meer verstoring teweegbrengen dan met zwaar, regelmatig bootverkeer (Dietz *et al.*, 2000; Elsam Engineering & ENERGI E2, 2005).

Er wordt verwacht dat onderhoudsactiviteiten een verstorend effect zullen hebben. Dit effect wordt als gering negatief beoordeeld (0/-) omwille van zijn tijdelijke aard en omwille van de beperkte invloedszone. Bovendien kan er verwacht worden dat zeezoogdieren enige gewenning zullen vertonen ten opzichte van de onderhoudsactiviteiten binnen de windparken.

Voedselbeschikbaarheid

Tijdens de constructie van een windpark kan een afname van de vispopulatie verwacht worden (zie deel "Vissen"). Er wordt geen permanente afname in de voedselbronnen verwacht.

Tijdens de operationele fase kan er eventueel een toename optreden van zeezoogdieren in het park of in de omgeving van het park, door het wegvallen van visserij in het gebied, door het beschikbaar zijn van meer voedsel, en door het beschikbaar komen van andere voedselbronnen. Door het plaatsen van de funderingen en erosiebescherming wordt immers een nieuw, kunstmatig, hard substraat gecreëerd (zie deel "Harde substraten"). Dit kan dan gekoloniseerd worden door epifauna en -flora, waardoor de voedselbeschikbaarheid voor prooivissen toeneemt. Op zijn beurt kan dit leiden tot een toename van de voedselbeschikbaarheid voor zeezoogdieren (Elsam Engineering & ENERGI E2, 2005, Haelters *et al*., 2013b).

Er werd bijvoorbeeld aangetoond dat zich rond de artificiële substraten, gevormd door de funderingen en de erosiebescherming, zeer hoge densiteiten steenbolk bevinden (Reubens *et al.*, 2010). Mogelijk vormen die een nieuwe voedselbron voor zeezoogdieren, hoewel in een initieel onderzoek van maaginhouden van in België gestrande bruinvissen de steenbolk niet als belangrijke prooisoort naar voor kwam (Haelters *et al.*, 2011). In studies in het buitenland werd een verhoging van de densiteit binnen een windpark waargenomen van tong, mul en wijting (ter Hofstede, 2008). Van deze soorten lijkt enkel de wijting een belangrijke prooisoort voor bruinvissen. Op de Blighbank werd na de constructie van Belwind een reductie van het aantal demersale vissen waargenomen, hoewel er van enkele soorten (tarbot, tong) wel hogere densiteiten werden geobserveerd (Vandendriessche *et al*., 2013c). In het windpark op de Thorntonbank werden dan weer hogere densiteiten horsmakreel gevonden in de herfst van 2009 en lagere densiteiten van tong tijdens de lente van 2009 in vergelijking met de referentiegebieden. Deze observaties werden niet bevestigd door de data van 2010 (Vandendriessche *et al.,* 2011). Verder onderzoek is dan ook aangewezen.

Het effect op de voedselbeschikbaarheid door de aanwezigheid van het windpark wordt beoordeeld als gering positief (0/+) voor alle configuratiealternatieven.

5.4.3.4.3 Ontmantelingsfase

Er wordt verwacht dat de effecten tijdens de ontmantelingsfase in een worst case scenario van dezelfde aard zullen zijn als deze tijdens de constructiefase en dat er bijgevolg een verstoring van zeezoogdieren zal optreden. Doordat er tijdens de ontmantelingsfase niet geheid en gebaggerd zal worden, en de harde substraten normaliter worden achtergelaten, zal die verstoring een minder negatief effect hebben dan in de constructiefase.

Tijdens de ontmantelingsfase wordt het effect op zeezoogdieren daarom als gering negatief (0/-) ingeschat.

5.4.3.4.4 WEC

Algemene Verstoring

Tijdens de constructie van de WEC's zal een deel van het Mermaid park verstoord worden door een toename van schepen en bouwactiviteiten. Zeezoogdieren zullen waarschijnlijk het gebied tijdelijk verlaten. Het effect zal minder groot zijn dan voor de installatie van de windturbines. Bovendien gebeurt de constructie in fases waardoor de verstoring zich telkens slechts in een klein gebied en over een korte periode voordoet. De verstoring zal waarschijnlijk het grootst zijn bij de Seabased WEC's aangezien hiervoor het grootste aantal units moet geplaatst worden. Het effect wordt beschouwd als gering negatief (0/-).

Geluidsverstoring en trillingen

Voornamelijk bruinvissen zijn gevoelig voor akoestische verstoring zoals hierboven besproken. Het heien van palen (enkel bij Wavestar) zorgt voor een verstoring, hoewel het geluidsdrukniveau een stuk lager zal liggen dan voor het heien van de windturbines. De diameter van de palen zal immers een stuk kleiner zijn. Naast heien zullen ook een toename in de scheepvaart en eventuele baggerwerken (bij Seabased) zorgen voor een verhoogd geluidsniveau.

Geluidsmonitoring in een WEC-park in Schotland (Oyster 1) toonde aan dat dolfijnachtigen een gebied van 740 m rond de heiactiviteit mijden. Bruinvissen bleven 30 m verwijderd en zeehonden tot 140 m (Aquamarine Power Ltd., 2010).

Er kan dus verwacht worden dat de geluidsverstoring tijdens de constructiefase beperkt blijft en een gering negatief effect (0/-) heeft op zeezoogdieren. Zoals eerder aangehaald worden de WEC's bovendien geïnstalleerd in verschillende fases waardoor telkens slechts een klein deel van de Mermaid concessiezone verstoord wordt.

Tijdens de operationele fase zal er geluid geproduceerd worden door de bewegende onderdelen, de turbines, de verankering en de onderhoudsschepen. Hoewel dat geluid voor een verstoring van zeezoogdieren kan zorgen, voorkomt het ook aanvaringen met de structuren bij een slechte zichtbaarheid. Er kan verwacht worden dat er tevens gewenning optreedt van het operationele geluid. Tijdens de operationele fase worden er dan ook geen effecten (0) verwacht op zeezoogdieren.

Uitgebreide verdere monitoring naar de geluidseffecten van WEC's is noodzakelijk.

Fysische aanwezigheid

Gezien de WEC's gelegen zijn tussen de windturbines, is het moeilijk in te schatten of WEC's op zich zeezoogdieren weghouden. Waarschijnlijk is er sprake van een cumulatief effect. Voor de windturbines wordt het effect van de fysische aanwezigheid op zeezoogdieren als onbestaand ingeschat. Daarom kan aangenomen worden dat een beperkt aantal WEC's deze situatie niet verandert (0). Door het wegvallen van de visserij en scheepvaart en een mogelijke toename aan prooidieren rond de harde substraten kan het gebied ook in waarde toenemen voor zeezoogdieren.

Zeezoogdieren kunnen ook aanvaringen hebben met de ankerlijnen, kabels of bewegende delen, maar verstrikking is zeer onwaarschijnlijk. Verdere monitoring naar de effecten tijdens de operationele fase is noodzakelijk.

5.4.3.4.5 Bekabeling

De bespreking van de effecten van de bekabeling omvat zowel de parkkabels, de verbindingskabels en de exportkabels, als de parkkabels van de WEC's.

Algemene verstoring

Het aanleggen van de kabels kan een tijdelijk effect hebben op zeezoogdieren. Potentiële effecten op zeezoogdieren kunnen zijn (BERR, 2008):

- Aanvaring van de zeezoogdieren met de vaartuigen die de kabels leggen;
- Geluid en visuele verstoring van de vaartuigen en de graafwerken (ploegen, jetten, trenchen);
- Verstrengeld raken in de kabels;
- Aanraking met accidentele lozingen van brandstoffen en chemicaliën.

Deze effecten zijn tijdelijk en beperkt in omvang waarrdoor ze als gering negatief (0/-) beschouwd worden. Na het leggen van de kabel zal de omgeving zich herstellen.

Elektromagnetische velden

Tijdens de operationele fase zullen de kabels een artificieel EM-veld genereren, dat zou kunnen interfereren met de oriëntatiemechanismen van de zeezoogdieren. De kennis over de impact van EM-velden op zeezoogdieren is beperkt (Vattenfall, 2010; Gill *et al.,* 2014). De weinige studies die voor handen zijn, suggereren dat dolfijn- en walvissoorten geen effecten ondervinden van B-velden (Gill *et al*., 2014).

Ook de migratie van bruinvissen in de Baltische Zee werd niet gehinderd door de aanwezigheid van operationele HVDC kabels (Gill *et al.,* 2014).

Gezien de kabels bovendien op een diepte van minstens 1 m worden ingegraven en gezien zeezoogdieren niet de gewoonte hebben om dicht bij het bodemoppervlak te zwemmen, is de kans gering dat zeezoogdieren blootgesteld zullen worden aan de EM-velden gegenereerd door de kabels (0).

Bij enkele typevoorbeelden van de WEC's (Poseidon, Weptos, FlanSea en Lifesaver) hangen de parkkabels gedeeltelijk vrij in de waterkolom. Hiervan wordt de FlanSea beschouwd als het worst case scenario door het grote aantal units. Over dit type kabel zijn echter nog geen studies uitgevoerd. Gezien dat zeezoogdieren waarschijnlijk weinig effecten ondervinden van EM-velden, wordt de impact van de vrijhangende WEC-kabels ook als onbestaande (0) beschouwd. Verder onderzoek is echter aangewezen.

5.4.3.4.6 Besluit bespreking en beoordeling van de effecten op zeezoogdieren

Samenvattend worden de effecten op de zeezoogdieren weergegeven in Tabel 5-82 en Tabel 5-83 voor zowel de basisconfiguraties als de diverse configuratiealternatieven van respectievelijk Mermaid en Northwester 2. Aangezien het gebruik van de suction bucket techniek bij monopile en jacket funderingen een ander effect heeft dan het heien van palen, wordt hier apart rekening mee gehouden. Volgende definities zijn van toepassing: significant positief (++), matig positief (+), gering positief (0/+), (vrijwel) geen effect (0); gering negatief (0/-), matig negatief (-), significant negatief (--), onzeker (?).

Tabel 5-82 Overzicht van de effecten op zeezoogdieren voor het Mermaid windpark (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering, SB: suction bucket)

Configuratie	**Basis**				**1**			**2**			**3**		
Funderingstype	MP	JF	GBF	SB	MP	JF	SB	JF	GBF	SB	JF	GBF	SB
Constructiefase													
Voedselbeschikbaarheid	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Algemene verstoring	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Geluidsverstoring en trillingen	-	-	0/-	0/-	-	-	0/-	-	0/-	0/-	-	0/-	0/-
Operationele fase													
Geluidsverstoring en trillingen	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Fysische aanwezigheid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Verstoring door onderhoudswerken	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Voedselbeschikbaarheid	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
Ontmantelingsfase													
Analoog constructiefase	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
WEC													
Algemene verstoring	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Geluidsverstoring en	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-

Configuratie	Basis				1			2			3		
trillingen (constructie)													
Geluidsverstroing en trillingen (operationeel)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fysische aanwezigheid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bekabeling													
Algemene verstoring	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
EM-velden (windturbines)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EM-velden (WEC's)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)	0 (?)

Tabel 5-83 Overzicht van de effecten op zeezoogdieren voor het Northwester 2 windpark (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering, SB: suction bucket)

Configuratie	Basis				1			2			3		
Funderingstype	MP	JF	GBF	SB	MP	JF	SB	JF	GBF	SB	JF	GBF	SB
Constructiefase													
Voedselbeschikbaarheid	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Algemene verstoring	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Geluidsverstoring en trillingen	-	-	0/-	0/-	-	-	0/-	-	0/-	0/-	-	0/-	0/-
Operationele fase													
Geluidsverstoring en trillingen	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Fysische aanwezigheid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Verstoring door onderhoudswerken	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Voedselbeschikbaarheid	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
Ontmantelingsfase													
Analoog constructiefase	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Bekabeling													
Algemene verstoring	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
EM-velden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.4.3.5 Harde substraten

De aanwezigheid van turbines, funderingen, WEC's en erosiebescherming als kunstmatige harde bedekking zal leiden tot het ontstaan van een nieuw biotoop in het projectgebied ten koste van het oorspronkelijke zandige substraat. De introductie van hard substraat, het zogenaamde reef-effect, in zeegebieden die bijna uitsluitend bestaan uit zandige sedimenten kan beschouwd worden als het belangrijkste effect van de bouw van het windpark (Dong energy *et al.*, 2006). Het zal leiden tot een verhoging van de habitat heterogeniteit, en het ontstaan van een nieuwe gemeenschap typisch voor harde substraten. Het zal bovendien de densiteit en de biomassa van bepaalde soorten doen toenemen.

5.4.3.5.1 Constructiefase

Nieuw habitat

De procentuele toename van het oppervlak hard substraat is vele malen groter dan de procentuele afname van het oppervlak zandig substraat. Het totale oppervlak hard substraat dat potentieel beschikbaar wordt voor kolonisatie is afhankelijk van het aantal funderingen (turbines), het funderingstype, de dimensies van de fundering (diameter, subtidaal en intertidaal gedeelte) en de karakteristieken van de erosiebescherming (dimensies, ligging ten opzichte van de zeebodem).

Voor de monopile wordt de cilindervormige turbine als basisstructuur genomen, terwijl de jacket structuur bestaat uit 4 aparte palen die onderling verstevigd zijn met een 24-tal vakwerkstaven. Voor de berekening van de oppervlakte van de gravitaire funderingen wordt eveneens uitgegaan van een kegel en een cilindervormige structuur. Het eventueel gebruik van de suction bucket techniek (ter vervanging van het heien van palen) verandert niets aan het uiteindelijk oppervlak aan hard substraat.

Het schatten van de toename aan nieuw habitat ten gevolge van de erosiebescherming is minder eenvoudig. Het storten van de steenblokken zorgt voor een drie-dimensioneel karakter van de erosiebescherming. Niet enkel de bovenzijde van de blokken maar ook de onderzijde of ontstane nissen kunnen gekoloniseerd worden. We kunnen aannemen dat gezien de beperkte laagdikte (ca. 1 à 2 m) en het zeer dynamische milieu een groot deel van deze holtes zich zullen vullen met zand, zodat voor de verdere berekeningen de oppervlakte ingenomen door de erosiebescherming bepalend zal zijn. In realiteit zal deze oppervlakte een onderschatting zijn[7]. Een erosiebescherming wordt voorzien voor alle type funderingen.

De oppervlakte hard substraat voorzien per turbine wordt weergegeven in Tabel 5-84 volgens de beschouwde funderingsalternatieven. Er wordt uitgegaan van een gemiddelde diepte van 34 m TAW voor beide windparken.

[7] In Rumes *et al*. (2013) werd berekend dat de oppervlakte van de erosiebescherming van een GBF op de Thorntonbank 65.032 m² bedraagt. Dit is een overschatting aangezien de berekening is gebaseerd op kleine rotsblokken die een veel groter oppervlakte-volume ratio hebben in vergelijking met grote blokken. In realiteit zal de oppervlakte hard substraat tussen deze 2 uitersten liggen.

Tabel 5-84 Oppervlakte hard substraat (HS) per funderingstype

Funderingstype	Type turbine	Opp. HS fundering/ turbine (m²)	Opp. HS erosiebescherming/ turbine (m²)	Totale opp. HS/ turbine (m²)
Monopile	Alstom Haliade (basis)	770	1.060	1.830
	Vestas V112 (conf. 1)	640	680	1.320
Jacket	Alstom Haliade (basis)	2.470	1.580	4.050
	Vestas V112 (conf. 1)	2.150	890	3.040
	Vestas V164 (conf. 2)	2.470	2.480	4.950
	SeaTitan (conf. 3)	2.580	3.580	6.160
Gravitair	Alstom Haliade (basis), Vestas V164 (conf. 2), SeaTitan (conf. 3)	1.740	3.930	5.670

Voor de verschillende configuratiealternatieven zal het totale oppervlakte hard substraat variëren tussen ca. 71.300 m² (basisconf., MP) en 246.000 m² (conf. 1, JF) voor het Mermaid windpark, en tussen ca. 65.900 m² (basisconf., MP) en 215.600 m² (conf. 1, JF) voor het Northwester 2 park (Tabel 5-85 en Tabel 5-86). De keuze voor gravitaire of jacket funderingen zorgt voor een toename aan potentieel nieuw te koloniseren gebied, te wijten aan de grotere dimensies voor erosiebescherming. Onafhankelijk van het funderingstype bedraagt de oppervlakte inname < 0,01% van het BDNZ voor zowel de configuraties van het Mermaid als het Northwester 2 windpark.

Tabel 5-85 Beschikbaar hard substraat (HS) voor kolonisatie voor het Mermaid windpark

Configuratie	Funderingstype	Opp. HS fundering (m²)	Opp. HS erosiebescherming (m²)	Totaal (m²)
Basisconfiguratie (38 turbines + 1 OHVS)	MP	30.000	41.300	71.300
	JF	96.300	61.800	158.100
	GBF	67.900	153.100	221.000
Configuratie 1 (80 turbines + 1 OHVS)	MP	51.800	54.900	106.700
	JF	173.900	72.100	246.000
Configuratie 2 (38 turbines + 1 OHVS)	JF	96.300	96.900	193.200
	GBF	67.860	153.100	221.000
Configuratie 3 (24 turbines + 1 OHVS)	JF	64.400	89.500	153.900
	GBF	43.500	98.100	141.600

Tabel 5-86 Beschikbaar hard substraat (HS) voor kolonisatie voor het Northwester 2 windpark

Configuratie	Funderingstype	Opp. HS fundering (m²)	Opp. HS erosiebescherming (m²)	Totaal (m²)
Basisconfiguratie (35 turbines + 1 OHVS)	MP	27.700	38.200	65.900
	JF	88.800	57.000	145.800
	GBF	62.600	141.300	203.900
Configuratie 1 (70 turbines + 1 OHVS)	MP	45.400	48.200	93.600
	JF	152.400	63.200	215.600
Configuratie 2 (37 turbines + 1 OHVS)	JF	93.800	94.400	188.200
	GBF	66.100	149.200	215.300
Configuratie 3 (22 turbines + 1 OHVS)	JF	59.200	82.400	141.600
	GBF	40.000	90.300	130.300

De introductie van hard substraat heeft zowel voor- als nadelen en wordt bijgevolg als gering positief (0/+) of gering negatief (0/-) beoordeeld. De voor- en nadelen worden in de volgende paragraaf besproken.

5.4.3.5.2 Operationele fase

De effecten die kunnen optreden als gevolg van de introductie van harde substraten zijn:

- Verandering in gemeenschapsstructuur;
- Aantrekking van visgemeenschappen;
- Aantrekking van niet inheemse soorten.

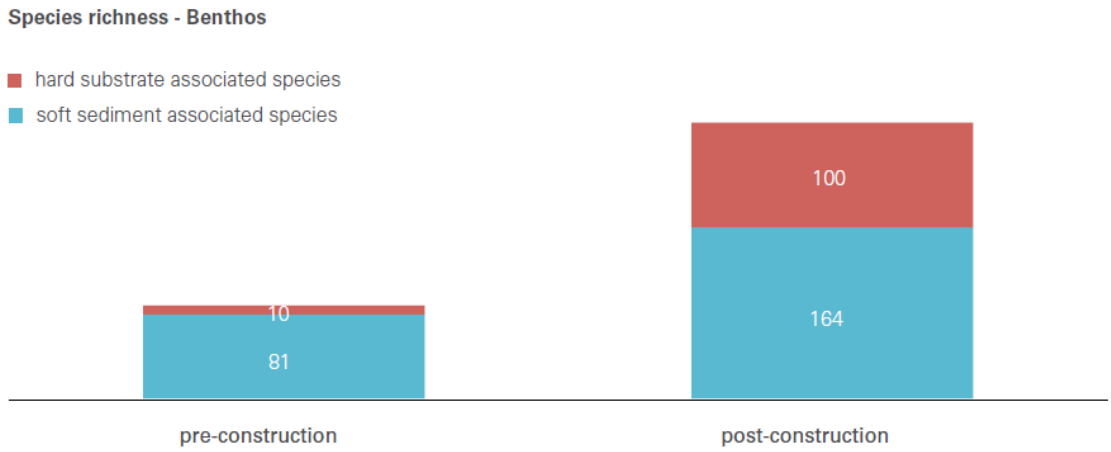
Verandering in gemeenschapsstructuur

Het ontstane artificiële biotoop zal gekoloniseerd worden door epifauna waardoor er een verandering in gemeenschapsstructuur zal plaatsvinden. Uit de monitoringsresultaten van C-Power en Belwind blijkt dat dit kolonisatieproces snel en intens verloopt (Kerckhof *et al.*, 2009, 2010, 2011, 2012; De Mesel *et al*., 2013). Reeds na ongeveer 3,5 maand bleek zowel het intertidale als het subtidale deel van de fundering al volledig bedekt met een dichte begroeiing van epibionten en was er een duidelijke dieptezonering waar te nemen. De typische soorten van een eerste fase van een ecologische successie op harde substraten worden er teruggevonden. Bovendien wordt een hoge diversiteit vastgesteld in vergelijking met andere kunstmatige substraten in de omgeving. Voor meer details wordt verwezen naar § 5.4.2.6.

Er wordt verwacht dat deze initiële gemeenschap snel overgroeid zal worden en aanleiding zal geven tot veranderingen in het zonatiepatroon en nieuwe gemeenschappen. Hoogstwaarschijnlijk zal een mosselzone ontstaan en zullen ook kokerwormen (e.g. *S. spinulosa*) en oesters (e.g. *Crassostrea gigas*) zich vestigen. Langetermijnstudies tonen aan dat het zeker 5-6 jaar kan duren vooraleer een stabiele gemeenschap gevestigd is die gedomineerd wordt door filtervoeders (o.a. mossels) en permanente bruin- en roodwieren (Jensen *et al.*, 2000; Leonhard & Pedersen, 2005). Hevige stormen en strenge winters kunnen dit proces zelfs nog verlengen, alsook het schurende effect van zand.

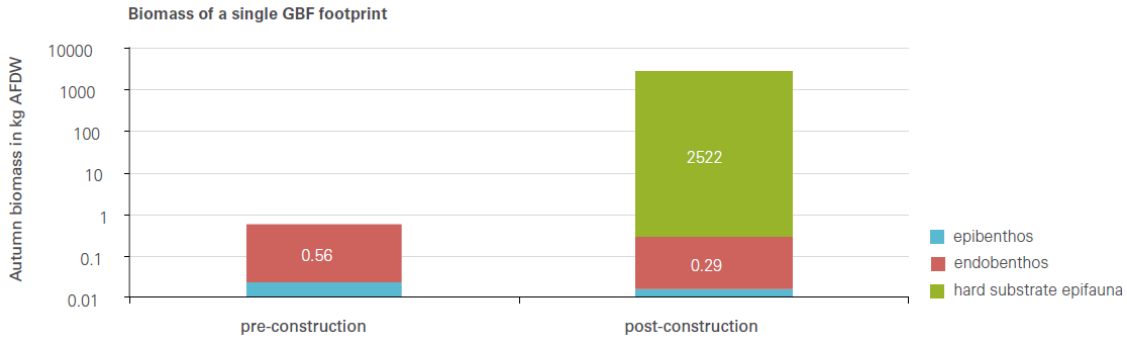
Algemeen kan gesteld worden dat hoe complexer de onderwaterstructuren, hoe meer organismen er zich rond die structuren bevinden (Hoffmann *et al.*, 2000; Vella *et al.*, 2001; Zalmon *et al.*, 2002; Volckaert *et al.*, 2004; Petersen & Malm, 2006). Waarschijnlijk werd om deze reden op de erosiebescherming rond de turbines van C-Power en Belwind een hogere biodiversiteit vastgesteld dan op de funderingen (De Mesel *et al*., 2013). Sommige soorten bleken ook een voorkeur te hebben voor de erosiebescherming, terwijl andere de funderingen verkiezen. Binnen de harde substraten bestaan er bijgevolg verschillende habitats.

De Mesel *et al.* (2013) merkten een graduele toename in soortendiversiteit tijdens opeenvolgende jaren op de C-Power en Belwind site. Voor de installatie van de turbines op de Thorntonbank en Blighbank werden 91 benthische soorten aangetroffen, waarvan 10 soorten geassocieerd met harde substraten (ca. 11%) (Rumes *et al.,* 2013). Na de installatie stegen zowel de soorten geassocieerd met harde substraten als soorten van zandige sedimenten (Figuur 5-106). 83 soorten werden slechts 1 keer geobserveerd, waarvan 21 enkel voor de constructie en 62 enkel erna. Veel van de soorten die voor de eerste keer gevonden werden, waren al eerder op andere plaatsen in het BDNZ gevonden, bvb. op scheepswrakken. De verdubbeling van soorten die voorkomen op zandige sedimenten na de constructie kan te wijten zijn aan het wegvallen van de destructieve visserij, maar ook aan de toename van het aantal staalnames.



Figuur 5-106 Benthische soortenrijkdom voor en na de constructie van de windparken. Blauw: soorten geassocieerd met zandige sedimenten, Rood: soorten geassocieerd met harde substraten (Rumes et al., 2013)

Ook de benthische biomassa stijgt significant bij de introductie van harde substraten: voor de footprint van 1 GBF nam de biomassa toe van 0,6 kg AFDW (voor de constructie) tot 2.500 kg (na de constructie) (Figuur 5-107). Het merendeel van de biomassa bevond zich op de erosiebescherming van de GBF (89%), gevolgd door de intertidale mosselzone (10%). Slechts 1% van de biomassa bevond zich op de rest van de fundering (Rumes *et al.,* 2013). In Denemarken werd de biomassa 50 tot 150 keer hoger (vooral tengevolge van mosselen), waarbij het meeste beschikbaar was als voedsel voor vissen en vogels (Dong Energy *et al.*, 2006). Tijdens hevige stormen zullen delen van de epifauna weggerukt en vernield worden waardoor plaatsen vrijkomen voor pioniersoorten. Daarnaast zal ook het voorkomen van predatoren, zoals de zeester voor de mossel, belangrijk zijn om de dominantie van bepaalde soorten onder controle te houden.



Figuur 5-107 Biomassa voor 1 GBF footprint in de herfst voor (2005) en na (2012) de constructie van C-Power (Rumes et al., 2013)

Een hoge biodiversiteit en biomassa wordt algemeen gezien als een positief aspect voor een bepaald biotoop. Het zorgt voor een hogere voedselbeschikbaarheid en bijgevolg aantrekking voor vissen zoals steenbolk en kabeljauw, en vogelsoorten, waaronder beschermde soorten zoals de dwergmeeuw, visdief en grote stern (Rumes *et al.,* 2013; Reubens *et al*., 2013; Vanermen *et al*., 2013b). Een toename in zeezoogdieren werd voorlopig nog niet vastgesteld, waarschijnlijk door de continue werkzaamheden in de Belgische concessiezone (Haelters *et al*., 2013a). Toch zorgt de toename in biodiversiteit niet voor een oplossing op lange termijn voor het behoud en herstel van de bedreigde natuurlijke grindbedden en oesterbanken (Kerckhof *et al*., 2012). De artificiële structuren herbergen een andere epifaunische gemeenschap en hebben een relatief korte levensduur (20-30 jaar).

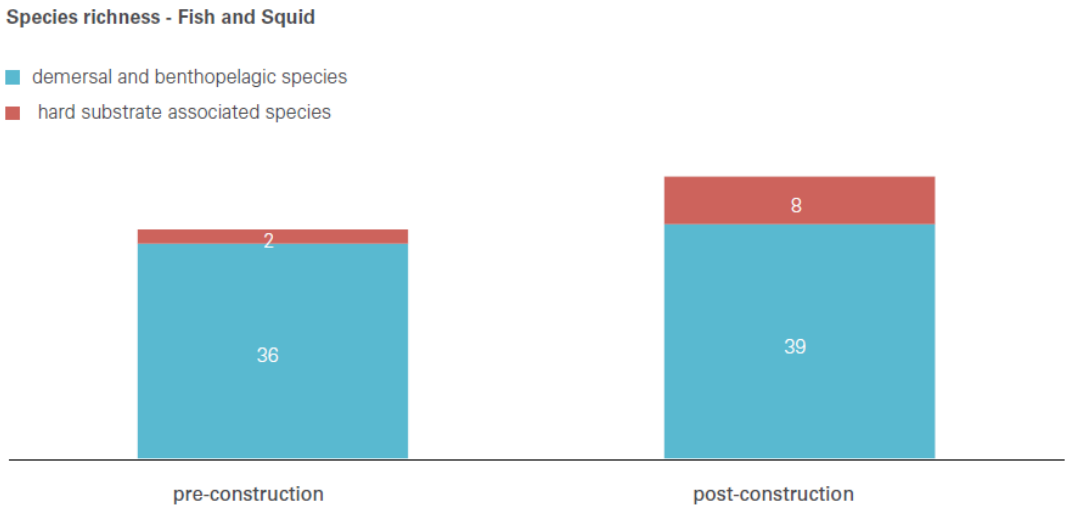
De beoordeling van de effecten van de verandering in gemeenschapsstructuur hangt af van het objectief dat bereikt moet worden: het behoud van de karakteristieke fauna van zandige bodems (0/-) of het combineren van hernieuwbare energie met het ontwikkelen van harde substraat habitats van commerciële soorten zoals de kabeljauw, kreeft en noordzeekrab (0/+) (Rumes *et al*., 2013). In het eerste geval kan er best gekozen worden voor monopiles of jacket funderingen aangezien de oppervlakte van de erosiebescherming hiervoor een stuk kleiner is dan voor GBF's. In 2013 werden reeds 33 "reef balls" geplaatst in de bestaande windparken in kader van het Actieplan Zeehond (2012) met als doel de biodiversiteit te verhogen door de introductie van artificiële riffen. De aanwezigheid van de windparken Mermaid en Northwester 2 zullen op deze manier ook bijdragen tot het behalen van de doelstellingen van Actieplan Zeehond.

Aantrekking van visgemeenschappen

De complexe structuren en de kolonisatie door sessiele invertebraten en algen zullen ook bepaalde benthische organismen en vissen aantrekken die er niet alleen voedsel, maar ook beschutting en bescherming zoeken (Hoffmann *et al.*, 2000; Volckaert *et al.*, 2004; Leonhard & Pedersen, 2005; Reubens *et al.*, 2010, 2011). De aantrekkelijkheid als voedselgebied is afhankelijk van de soorten die er voorkomen. De eerste studies ter hoogte van het OWEZ park (Lambers & Hofstede, 2009) en Horns Rev (Christian *et al.*, 2005) tonen geen sterke verhoging van de visgemeenschap in het windpark in vergelijking met andere gebieden na constructie. Op de Blighbank werd algemeen een reductie van de demersale visfauna geobserveerd 1 jaar na de bouw van Belwind (Vandendriessche *et al.,* 2012). Op soortniveau echter, worden wel enkele effecten van het windpark waargenomen.

Een significante toename in vangstefficiëntie (catch per unit effort (CPUE)) werd waargenomen in OWEZ voor tong, wijting en mul tijdens de zomer en een significante daling voor kleine pieterman zowel in de zomer als in de winter (Lambers & Hofstede, 2009). In Horns Rev werd een toename in vissen wel geassocieerd met harde substraten (Leonhard *et al*., 2013).

In het Belwind park werd een hogere densiteit aan tarbot en tong geobserveerd (Vandendriessche *et al*., 2012). Het is nog niet duidelijk of deze patronen te verklaren zijn door de constructiewerken zelf of door de aanwezigheid van de windturbines. De monitoringsresultaten van C-Power lijken daarentegen wel de aantrekkingskracht van harde substraten voor vissen te bevestigen. Visuele observaties toonden bijvoorbeeld een populatie van minimum 29.000 steenbolken rond één windturbine en ook kabeljauw is in grote aantallen aanwezig (Reubens *et al.*, 2010, 2011) (zie ook § 5.4.2.6.2). Figuur 5-108 toont aan dat er voor de constructie (2005) van de turbines 38 soorten vis en pijlinktvis voorkwamen in de parken, terwijl er in 2012 47 soorten gevonden werden, waarvan de toename voornamelijk te wijten is aan vissen die geassocieerd zijn met harde substraten. Alle demersale en benthopelagische vissen die reeds aanwezig waren voor de komst van de turbines zijn nog steeds aanwezig, met als uitzondering de kleine grondel (*Pomatoschistus pictus*) (Rumes *et al*., 2013).



Figuur 5-108 De soortenrijkdom van vissen en pijlinktvissen voor (links) en na (rechts) de constructie van de windparken (Rumes et al., 2013)

Derweduwen *et al.* (2012) onderzochten de dieetsamenstelling aan de hand van maaganalyses van zes demersale en semi-pelagische vissoorten (schar, dwergtong, pitvis, kleine pieterman, wijting en horsmakreel) afkomstig uit het Thorntonbank windpark en de omringende gebieden. De fullness-index toonde aan dat vissen een vollere maag hadden dicht bij de windturbines en aan de rand van het concessiegebied. Dit kan wijzen op de beschikbaarheid van meer voedsel in de buurt van de windturbines. In de maag van schar werden meer amfipoden en vooral hardsubstraatsoorten (bvb. *Phtisica marina*) gevonden in het impactgebied dan in het referentiegebied. Toch waren de meest abundante hardsubstraatsoorten op de turbines (*Jassa herdmani* en *Pisidia longicornis*) niet terug te vinden in de magen van schar. Dit kan te wijten zijn aan de staalnameafstand (500-1500 m) of

aan de prooivoorkeur bij de schar. Algemeen werden verschillen in voedingspatronen tussen de stations waargenomen.

Of deze verschillen veroorzaakt zijn door de aanwezigheid van windturbines of door een verschuiving van visserijactiviteiten, kan enkel bekrachtigd worden door replicatie binnen en tussen het(/de) windpark(en) en door een optimalisering van de staalnamestrategie.

Onderzoek van Reubens *et al.* (2011) naar het gedrag en habitatgebruik van kabeljauw in de buurt van windturbines suggereerde dat ze enerzijds aangetrokken worden, afgaand op de tijd die bepaalde gemerkte individuen doorbrengen in de buurt van offshore windturbines en hun erosiebescherming, en anderzijds dat de kleinschalige ruimtelijke verspreiding (i.e. habitat keuze) van individuele kabeljauwen wordt beïnvloed door de diurnale cyclus. In Vandendriessche *et al.* (2013b) besluit men dat op lokale schaal een netto toename van de populatie heeft plaatsgevonden. Op regionale schaal zijn er nog geen significante effecten op de populaties van kabeljauw en steenbolk zichtbaar.

De studie van Leonhard & Pedersen (2005) vormt het bewijs dat de harde substraten ook dienst kunnen doen als kraamkamer voor grotere en meer mobiele organismen zoals de noordzeekrab (*Cancer pagurus*). Deze bevindingen worden ook waargenomen bij diepzee wrakken die een rijk habitat vormen en worden bevestigd door de eerste monitoringsrapporten van de Horns Rev & Nysted windparken (Leonhard & Pedersen, 2005; Dong energy *et al.*, 2006).

In tegenstelling tot de mogelijke positieve effecten, vormt deze antropogene diversiteit een inbreuk op de natuurlijk aanwezige diversiteit. Zeker in gebieden met weinig of geen harde substraten kan de constructie van een windpark de karakteristieken van de plaatselijke gemeenschappen veranderen (Petersen & Malm, 2006). De introductie van harde substraten kan schade berokkenen aan de visfauna door een herverdeling van stocks. Ook hier kan het effect van de aantrekking van visgemeenschappen beoordeeld worden als zowel gering positief (0/+) als gering negatief (0/-) voor beide windparken.

Aantrekking niet-inheemse soorten

Nieuwe substraten kunnen ook leiden tot een versnelde introductie van invasieve soorten en ziekteverwekkende kiemen (pathogenen) die het bestaande ecosysteem negatief kunnen beïnvloeden (Petersen & Malm, 2006; Kerckhof *et al.*, 2011). Uit een analyse van het VLIZ blijkt dat zich in de Belgische kustwateren niet minder dan 68 niet-inheemse dieren of planten hebben gevestigd (VLIZ Alien Species Consortium, 2012). Hoewel dit naar schatting slechts 3-4% is van het totale aantal waargenomen soorten aan onze kust, is hun invloed niet gering (Copejans & Smits, 2011). Vooral de snelheid waarmee exotische soorten de inheemse fauna en flora vervoegen, lijkt te zijn toegenomen. Sinds 1990 is het tempo waaraan nieuwe soorten zich vestigen verdrievoudigd t.o.v. de periode 1970-1990, vooral door de gestage groei in wereldscheepvaart (ballastwater, aangroei) en aquacultuur, in combinatie met klimatologische veranderingen (gunstige omstandigheden voor vestiging). Japanse oesters en Amerikaanse zwaardschedes zijn voorbeelden van schelpen die ten koste van andere organismen op enkele decennia tijd zijn uitgegroeid tot de meest dominante weekdieren van onze kust.

De eerste monitoringsresultaten van het C-Power en Belwind windpark (Kerckhof *et al.*, 2009, 2010, 2011; De Mesel et al., 2013)) bevestigen de druk van niet-inheemse soorten. In de intertidale zone vertegenwoordigen ze zelfs de helft van alle aanwezige soorten (Tabel 5-87) (Degraer *et al*., 2013b). In de subtidale zone is voorlopig enkel het muiltje (*Crepidula fornicata*) gevonden als niet-inheemse soort (Kerckhof *et al.*, 2011, 2012).

Tabel 5-87 Overzicht van de bemonsterde intertidale soorten in het C-Power en Belwind projectgebied volgens de SACFOR schaal. S: superabundant, A: abundant, C: algemeen, F: frequent, O: occasioneel, R: zeldzaam. Niet-inheemse soorten zijn vet gedrukt (Degraer et al., 2013b)

Soort	C-Power (GBF)						Belwind (monopile)			
	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3	Jaar 4	Jaar 5	Jaar 6	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3	Jaar 4
Megabalanus coccopoma	C						F			
Balanus perforatus	S	A	A	C	C	C		C	F	F
Telmatogeton japonicus	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Elminius modestus	A	A	A	A	A	A	C	C	C	C
Jassa marmorata	C	C	C	C	C	C	C	S	C	C
Mytilus edulis	F	S	S	S	S	S	C	C	A	A
Semibalanus balanoides		S	S	S	S	S	C	C	C	C
Balanus crenatus		F					C	R		
Patella vulgata			F	F	F	F				
Hemigrapsus sanguineus			F	F	F	F				
Crassostrea gigas			O	O	O	O				
Littorina littorea			F	F	F					
Balanus improvisus			O				O	R		
Emplectonema gracile			O							
Emplectonema neesii			O			O				
Pleioplana atomata			O							
Eulalia viridis				O						

Alle niet-inheemse soorten zijn gekende opportunisten en vroege kolonisatoren, die gebruik maken van artificiële structuren en verstoorde omstandigheden om zich te vestigen (Kerckhof *et al.*, 2007). Bovendien werd vastgesteld dat het gebied onder invloed staat van het Engels kanaal, gekenmerkt door hogere minimum en lagere maximum temperaturen, een nagenoeg constante saliniteit en een lagere turbiditeit, waardoor meer zuidelijke soorten worden aangevoerd. De aanwezigheid van de zeepok en van de grote roze zeepok zijn ook een indicatie voor de opwarming van het water. De klimaatverandering zal mee bijdragen tot de noordelijke verspreiding van warmwater en niet-inheemse soorten (Kerckhof *et al.*, 2009).

Sommige niet-inheemse soorten kunnen in zo'n grote aantallen voorkomen dat ze inheemse soorten in gelijkaardige habitats onder druk zetten. De oester *Crassostrea gigas* concurreert in bepaalde regio's (bvb. de Waddenzee) met de inheemse mossel (*Mytilus edulis*) waardoor lokale mosselbanken vervangen zijn door *C. gigas* riffen. Wanneer deze oester zijn positie in de zuidelijke Noordzee verder verstevigd door de toenemende introductie van harde substraten, heeft dit commerciële gevolgen voor de waardevolle mosselbanken die reeds onder druk staan.

Andere niet-inheemse soorten, zoals zeepokken concurreren ook voor plaats en voedsel, maar slagen er niet in om inheemse soorten hierbij weg te drijven. *Telmatogeton japonicus* ten slotte, neemt een lege niche in waardoor competitie met inheemse soorten niet voorkomt.

De grootte van de impact is op het huidig ogenblik moeilijk in te schatten voor de offshore windparken op de Noordzee. Hoe meer hard substraat er wordt geïntroduceerd in de Noordzee, hoe meer opportuniteit niet-inheemse soorten krijgen om zich te verspreiden. Niet elke soort heeft dezelfde invasieve capaciteiten. Het effect van niet-inheemse soorten wordt beschouwd als gering negatief (0/-) voor alle configuraties. Het oppervlakte geïntroduceerd hard substraat zal veel omvangrijker zijn in geval van een gravitaire fundering dan bij een monopile of jacket fundering, én in het geval gekozen wordt voor de configuratie met het grootste aantal turbines (conf. 1). Er kan dus verwacht worden dat ondanks de wijziging ten opzichte van de oorspronkelijke situatie, het effect als aanvaardbaar kan worden beschouwd gezien het beschikbare oppervlak voor de ontwikkeling van een nieuwe gemeenschap relatief gering is ten opzichte van het BDNZ (≤ 0,01%).

5.4.3.5.3 Ontmantelingsfase

Zowel Mermaid als Northwester 2 engageren zich om hun site in voldoende mate in haar oorspronkelijke staat te herstellen indien dit om redenen van bestemming, gebruik of ecologische criteria noodzakelijk is. Daarbij kan gekozen worden voor de volledige ontmanteling en verwijdering van de projectvoorzieningen (windturbines, funderingen, WEC's, onderzeese kabels en aansluitingsvoorzieningen aan land) of voor een gedeeltelijke ontmanteling. Deze gedeeltelijke ontmanteling slaat op de verwijdering van de palen tot op een diepte van enkele meters (ca. 2 m) onder de zeebodem bij monopile of jacket fundering en op het al dan niet verwijderen van erosiebescherming en kabels. In geval van de gravitaire funderingen zullen deze in hun geheel afgevoerd worden naar land voor afbraak met recuperatie van beton en wapeningsijzer.

Het ontmantelen van het windpark zou er dus toe leiden dat de harde substraten nagenoeg volledig verdwijnen. Opnieuw kan hier de vraag gesteld worden of dit als positief of negatief moet geëvalueerd worden daar enerzijds wel de oorspronkelijke staat van zandige substraten verkregen wordt, maar dit anderzijds wel leidt tot een verlies aan biodiversiteit en andere mogelijke functies die het artificieel rif tijdens de exploitatie heeft uitgevoerd (bvb. kraamkamer, stepping-stone, aantrekking voor bepaalde organismen). Het effect kan nog niet worden ingeschat daar momenteel slechts initiële resultaten beschikbaar zijn over het effect van de introductie van harde substraten in een overwegend zandig milieu.

5.4.3.5.4 WEC

Constructiefase

Bij de keuze voor de Seabased zal het grootste aantal units worden geplaatst en bijgevolg ook de grootste oppervlakte aan hard substraat (worst case scenario). De juiste dimensies van de Seabased fundering is op dit moment nog niet gekend. Voor de inschatting van de toename aan hard substraat in dit MER gaan we uit van cilindervormige funderingen met een doorsnede van 1,5 m en een hoogte van 6 m (Tabel 5-88).

Tabel 5-88 Overzicht van de oppervlaktes aan hard substraat van de Seabased WEC in verschillende fases

Aantal	Oppervlakte
1 unit	28 m²
1 basisveld (160 units)	4.500 m²
4 basisvelden (640 units)	18.000 m²
12 basisvelden (1.920 units)	54.000 m²

De bewegende onderdelen van de WEC's worden mogelijk behandeld met anti-fouling verf om de optimale werking te kunnen garanderen en zullen dus niet gekoloniseerd worden.

Het effect van de introductie van harde substraten is gelijkaardig aan de effecten besproken onder § 5.4.3.5.2 en kunnen zowel als gering negatief (0/-) als gering positief (0/+) beoordeeld worden.

Operationele fase

Onrechtstreeks zullen de drijvende WEC's dienst doen als FAD's (fish aggregating devices of visconcentratievoorzieningen) (Scally *et al*., 2010). Er zijn vele soorten FAD's maar voornamelijk bestaan ze uit drijvende objecten. FAD's worden in de visserij gebruikt aangezien een groot aantal pelagische vissoorten zich concentreren rond deze objecten (Dagorn *et al*., 2013). In de Mermaid concessiezone mag er niet gevist worden dus de WEC's kunnen er de populaties pelagische vis lokaal doen toenemen. Net als voor de windturbines rijst hier de vraag of de objecten enkel de concentratie aan vis verhogen of dat er werkelijk een toename van de populatie kan plaatsvinden (Scally *et al.,* 2010). Verder onderzoek is dan ook aangewezen.

5.4.3.5.5 Bekabeling

Ook het leggen van de kabels zal zorgen voor een toename in de oppervlakte hard substraat. Ter hoogte van kruisingen met andere kabels en pijpleidingen wordt er immers een erosiebescherming aangebracht. Voor de technische details van de kruisingen wordt verwezen naar § 2.7.3.5.6 en het aanvraagdossier.

Voor de kruising met de Interconnector en Franpipe zullen op de pijpleiding beschermingsmatten en stortstenen worden aangebracht over een lengte van 250 m (Optie A - 5 kabels) en 15 m breed. Op de verbindingskabels, die op een afstand van 50 m uit elkaar liggen, zal de erosiebeschermingslaag van 1 m dik langs beide zijde van de Mermaid/Northwester 2 kabels 10 à 15 m breed zijn over een lengte van 45 à 50 m van de kabels.

In een worst case scenario (5 kabels) zal de totale oppervlakte aan hard substraat ca. 15.000 m² bedragen per kruising.

Voor de kruising met de telecomkabels (Tat 14(I), Rioja 3, SeaMeWe3 S10.4) zijn er in de milieuaanvraag 2 mogelijke ontwerptypes uitgewerkt. Het eerste ontwerp komt overeen met het ontwerp van de kruising van de pijpleiding (ca. 15.000 m²). Een andere mogelijkheid bestaat erin om de verbindingskabels ter hoogte van de kruising dichter bijeen te leggen (op 25 m afstand) en 1 grote erosiebeschermingslaag aan te brengen van ca. 11.300 m² indien er 5 kabels worden gelegd.

Hoewel de exacte afmetingen nog aangepast zullen worden in het finaal ontwerp, kan verwacht worden dat in een worst case scenario (Optie A - 5 kabels) het oppervlakte aan hard substraat bij Mermaid maximaal 75.000 m² zal bedragen (kruising met de 2 gasleidingen en 3 telecomkabels). Voor Northwester 2 zullen de verbindingskabels de TAT 14(I) telecomkabel niet kruisen, waardoor de maximale oppervlakte van de erosiebescherming 60.000 m² zal bedragen in een worst case scenario. In vergelijking, de toename van de oppervlakte hard substraat voor het Mermaid park zelf (turbines + WEC's + erosiebescherming) wordt in het MER ingeschat tussen minimum 68.100 m² (MP, basisconfiguratie) tot maximum 275.000 m² (GBF, configuratie 2 + Seabased). Het storten van de steenblokken zorgt voor een drie-dimensioneel karakter van de erosiebescherming. Niet enkel de bovenzijde van de blokken, maar ook de onderzijde of ontstane nissen kunnen gekoloniseerd worden. We kunnen aannemen dat gezien de beperkte laagdikte (ca. 1 m) en het zeer dynamische milieu de meeste van deze holtes zich zullen vullen met zand.

De effecten van de introductie van de erosiebescherming bij de kruisingen zijn besproken in de voorgaande paragrafen en kunnen beoordeeld worden als gering positief (0/+) of gering negatief (0/-).

5.4.3.5.6 Besluit bespreking en beoordeling van de effecten van harde substraten

Samenvattend worden in **Tabel 5-89** en Tabel 5-90 de effecten op de fauna van de harde substraten weergegeven voor de diverse funderingstypes (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering) voor respectievelijk Mermaid en Northwester 2. Volgende definities zijn van toepassing: significant positief (++), matig positief (+), gering positief (0/+), (vrijwel) geen effect (0); gering negatief (0/-), matig negatief (-), significant negatief (--).

Tabel 5-89 Overzicht van de effecten op de fauna van harde substraten voor het Mermaid windpark (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering)

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	MP	JF	GBF	MP	JF	JF	GBF	JF	GBF
Constructiefase									
Introductie hard substraat	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
Operationele fase									
Verandering in gemeenschaps-structuur	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
Aantrekking van visgemeenschappen	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
Aantrekking van niet-inheemse soorten	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Ontmantelingsfase									
Analoog constructiefase	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
WEC									
Introductie hard substraat	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
Verandering in gemeenschaps-structuur	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+

Configuratie	Basis			1		2		3	
Funderingstype	MP	JF	GBF	MP	JF	JF	GBF	JF	GBF
Aantrekking van visgemeenschappen	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
Aantrekking van niet-inheemse soorten	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Bekabeling									
Introductie hard substraat	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+

Tabel 5-90 Overzicht van de effecten op de fauna van harde substraten voor het Northwester 2 windpark (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering)

Configuratie	Basis			1		2		3	
Funderingstype	MP	JF	GBF	MP	JF	JF	GBF	JF	GBF
Constructiefase									
Introductie hard substraat	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
Operationele fase									
Verandering in gemeenschaps-structuur	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
Aantrekking van visgemeenschappen	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
Aantrekking van niet-inheemse soorten	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Ontmantelingsfase									
Analoog constructiefase	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
Bekabeling									
Introductie hard substraat	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+

5.4.4 Leemten in de kennis

5.4.4.1 Benthos

Tijdens de beschrijving van de referentiesituatie en de bespreking van de effecten werden een aantal leemten in de kennis vastgesteld.

Op basis van beschikbare literatuur (o.a. recente monitoringsrapporten C-Power en Belwind) is een zo goed mogelijke beschrijving gegeven van de huidige toestand van deze twee operationele projectgebieden. Een specifieke en gedetailleerde omschrijving van de referentiesituaties van de beschouwde, meest noordelijk gelegen concessiegebieden, is noodzakelijk om mogelijke milieueffecten wetenschappelijk te kunnen achterhalen. Een grondige inventarisatie van het macro- en epibenthos in de concessiegebieden maakt hier deel van uit.

De significante verschillen in de theoretische en in situ metingen van de volumes zand die gebaggerd en al dan niet gestockeerd moeten worden bij de bouw van een windpark (voornamelijk bij de keuze voor gravitaire funderingen), tonen aan dat een betrouwbare inschatting van de zandbalans niet altijd evident is. Er zijn namelijk een aantal externe factoren zoals natuurlijke erosie/sedimentatie, sedimentverplaatsing en verlies door overflow of storten die van belang zijn voor de theoretische berekeningen, die tot op heden niet in rekening werden gebracht of onnauwkeurig ingeschat werden in het MER. Het opvolgen van de zandbalans en deze externe factoren (zeker bij gebruik van gravitaire funderingen waar de behandelde sedimentvolumes significant groter zijn) is daarom vanaf de start van de bouw van een windpark van belang. Dit zal verder worden aangehaald onder het luik ‘monitoring’.

Uit verschillende waarnemingen is vandaag vastgesteld dat verschillende soorten benthos gevoelig zijn voor een wijziging van de omgevingstemperatuur (o.a. door aanwezigheid van elektrische kabels). Momenteel zijn er te weinig gegevens om het effect van een (kleine) temperatuurswijziging op het benthos te evalueren. Door een gebrek aan eenduidige resultaten en aan relevante studies wordt het effect van opwarming van het sediment op het benthos momenteel beschouwd als een leemte in de kennis (OSPAR, 2012).

5.4.4.2 Vissen

Analoog als aangehaald voor het benthos, is een grondige inventarisatie van de demersale vissen van de zachte substraten in de concessiegebieden aangewezen. Bovendien ontbreekt algemene kennis over het relatief belang van specifieke gebieden op zee voor vissen (incl. paai- en kraamkamerfunctie). Onderzoek van de effecten op pelagische vissen ontbreekt grotendeels.

Ondanks een inhaalbeweging op het vlak van geluidsstudies, blijft de impact van geluid en trillingen op het onderwaterleven een onzekerheid, vooral bij larvale stadia. De eerste monitoringsresultaten van recente offshore parken zijn momenteel voorhanden, maar moeten verder gezet worden om mogelijke effecten al dan niet te bevestigen. Verder onderzoek is wenselijk rond de gedragsveranderingen tijdens kritische periodes (bvb. broedseizoen), en de mogelijke gewenning. De lopende studie van het ILVO omtrent de effecten op vislarven tijdens het heien kan hopelijk meer duidelijkheid brengen.

De laatste jaren wordt ook meer en meer onderzoek gedaan naar de impact van EM-velden afkomstig van exportkabels van windparken (wisselspanning) op mariene organismen. Ondanks deze recente inhaalbeweging concludeert de Europese werkgroep ‘Onderwatergeluid en andere vormen van energie’ in het licht van de Kaderrichtlijn Mariene Strategie dat de impact van elektromagnetische straling op mariene biota nog een leemte in de kennis betreft in combinatie met het feit dat de input van energie afkomstig van EM-velden in het mariene milieu moeilijk te kwantificeren is (Tasker *et al.*, 2010). Bovendien zijn impactstudies op vissen telkens gebaseerd op een enkele kabel waardoor de cumulatieve effecten van meerdere kabels nog niet gekend zijn.

5.4.4.3 Vogels en vleermuizen

Momenteel zijn er nog een groot aantal onbekende factoren betreffende de effecten op vogels:

- Effect van de mogelijke verhoging van de turbiditeit op de foerageer-efficiëntie van visetende vogels;
- Het belang van de projectgebieden als migratieroute;

- Het belang van de projectgebieden als foerageergebied voor vogels uit broedkolonies aan de Belgische en Nederlandse kust;
- Het vermijdingsgedrag van lokale vogels ten gevolge van de windparken;
- Het barrière-effect en de impact op de bereikbaarheid van broed- en overwinteringsgebieden in België en Nederland.;
- Het effect van aanvaringen van vogels met de turbines op populatieniveau;
- Het mogelijke optreden van 'falls' en de gevolgen op populatieniveau;
- De wijziging van het voedselaanbod in een windpark;
- De potentiële aanwezigheid van de Alpha-installatie in de directe nabijheid van de windparken;
- De cumulatieve effecten van meerdere windparken in hetzelfde gebied.

Wat het ontwijkgedrag, barrière-effect, het effect van aanvaringen en het optreden van mogelijke 'falls' betreft, kan er verwacht worden dat het radaronderzoek en het visuele monitoringsonderzoek, dat momenteel reeds lopende is in het kader van het gemeenschappelijke monitoringsprogramma rond de offshore windparken op het BDNZ een duidelijker beeld zal scheppen. Bij de verdere uitbouw van dit monitoringsprogramma dient maximaal rekening gehouden te worden met de bepaling van de effecten van aanvaring op populatieniveau, de wijziging van het voedselaanbod in een windpark en de cumulatieve effecten van meerdere windparken.

Over het voorkomen van vleermuizen in het BDNZ is zo goed als niets geweten. Gezien vleermuizen werden waargenomen in enkele andere windparken en op boorplatformen in de Noordzee, is onderzoek eveneens noodzakelijk om te bepalen in welke mate vleermuizen voorkomen rond de Belgische parken, of er insectenpopulaties voorkomen en wat de effecten van de turbines op vleermuizen zijn. De radarstudie voorzien voor de vogels kan hierbij alvast helpen.

5.4.4.4 Zeezoogdieren

Hoewel er ondertussen meer kennis is over de effecten van heiactiviteiten op bruinvissen, blijven er nog leemten in de kennis. De fysische gevolgen van onderwatergeluid en trillingen op mariene zoogdiersoorten zijn nog niet gekend. Zelfs indien de impact - op basis van 1 heislag - beschreven wordt als een verstoring, zonder tijdelijke of permanente gehoorschade, kan gehoorschade zowel ontstaan door blootstelling aan een bepaald niveau van geluid, als door een blootstelling aan een geluidsbron gedurende een langere periode.

De impact van de aanwezigheid van de windparken op zeezoogdieren is nog onduidelijk. Voorlopig kan er geen aantrekking vastgesteld worden in de bestaande windparken. Monitoring op lange termijn zal hier meer duidelijkheid over geven. Ook over de effecten van de WEC's op zeezoogdieren is weinig gekend.

Tenslotte is de kennis over de impact van EM-velden op zeezoogdieren beperkt.

5.4.4.5 Harde substraten

De eerste resultaten van de monitoring van het C-Power en Belwind windpark zijn beschikbaar, maar verder onderzoek naar de effecten op grote schaal en lange termijn is wenselijk.

5.4.5 Milderende maatregelen

5.4.5.1 Benthos

Voor de plaatsing van de funderingen en de aanleg van de kabels dient de best beschikbare technologie gebruikt te worden zodat de zeebodem zo minimaal mogelijk verstoord wordt. Er dient over gewaakt te worden bij elk funderingstype dat de oppervlakte van de erosiebescherming en de (tijdelijke) stockage van zand niet groter is dan nodig (bij voorkeur een stockage dikte van maximaal 5 m).

Een minimaal verstoord oppervlak zal er toe bijdragen dat de kans op schade aan eventueel aanwezige grindbedden tot een minimum wordt beperkt. Voorafgaand aan de werkzaamheden wordt een detailonderzoek naar de verspreiding van dagzomend grind in het gebied uitgevoerd, zodat een verstoring van deze plaatsen – indien aanwezig – maximaal vermeden kan worden. Uit het verkennend geofysisch en geotechnisch onderzoek van de site blijkt dat er geen grindbedden in de respectievelijke zones zijn geïdentificeerd.

Na uitvoering van de constructiewerken is een herstel van de site gewenst. Indien tijdens de werken Tertiaire kleilagen werden blootgelegd, kunnen die opnieuw worden afgedekt. Op deze manier wordt het milieu tussen de funderingen in een zo natuurlijk mogelijke conditie teruggebracht, waardoor het herstel van de oorspronkelijke bodemgemeenschappen optimaal wordt gefaciliteerd.

Er bestaat een groot verschil in footprint op de bodem tussen de verschillende typevoorbeelden van de WEC's. Door de installatie in fases te laten gebeuren, kunnen mogelijke negatieve effecten op het benthos gemonitord worden en kan de set-up indien nodig aangepast worden door de configuratie of het type WEC te veranderen in een latere fase.

Om de effecten van bekabeling zo klein mogelijk te houden is het van belang dat een voorstudie gebeurt van de kabeltracés om de optimale routes en de gebruikte kabelmethodiek te selecteren. Om het effect op de zeebodem en het aanwezige benthos minimaal te houden, moet bij het leggen van de kabels gestreefd worden naar bundeling van de kabeltracés (in kabelcorridors) van de verschillende windparken. De voorkeur gaat hierbij uit naar een (gezamenlijke) aansluiting op een offshore transformatorplatform, zoals de voorziene Alpha-installatie van Elia op de Lodewijkbank. Indien toch individuele exportkabels van de windparken naar land worden getrokken, hebben Mermaid en Northwester 2 de intentie om het actueel ingetekende en reeds bestudeerde kabeltracé van Elia maximaal over te nemen; indien dit geen specifieke technische problemen of gevolgen geeft op vlak van operationele voorzieningen, veiligheid (bvb. plaatsgebrek) en/of risico.

Bij het uitbaggeren van de sleuf voor de exportkabels ter hoogte van de vaargeul dient geopteerd te worden voor het maximaal terugstorten van het oorspronkelijke materiaal (bvb. zand) van dezelfde kwaliteit als het oorspronkelijk materiaal.

5.4.5.2 Vissen

De milderende maatregelen besproken voor het benthos blijven ook hier geldig.

5.4.5.3 Vogels en vleermuizen

In de beoordeling van de effecten werden de volgende belangrijke effecten op vogels beschreven: het barrière effect, het aanvaringaspect en het habitatverlies. Deze effecten kunnen een belangrijke invloed hebben op vogels. Voor deze effecten worden hieronder

milderende maatregelen voorgesteld die ook in de vorige MER's (MER SeaStar, MER Rentel, MER Norther, MER Northwind, MER Belwind en MER C-Power) reeds opgenomen werden.

De vermijding van het windpark door vogels is afhankelijk van de vogelsoort, de grootte van het windpark en de afstand tussen de turbines, het belang van de extra energiekosten veroorzaakt door een verandering van route en hun capaciteit om deze energie te compenseren (Fox *et al.,* 2006). Een juiste positionering van de windparken (parallel aan de heersende vliegrichting) en het voorbehouden van corridors voor migrerende vogels kan de kans op aanvaringen gevoelig reduceren (Everaert *et al.*, 2002). Voor een juiste configuratie is voldoende voorkennis nodig van de trek- en vliegbewegingen ter plaatse. Het is daarom aan te raden om reeds voor de bouw van de beschouwde windparken metingen te verrichten van de lokale vliegbewegingen (Stienen *et al.,* 2002). Uit onderzoek in de 2 Horns Rev parken bleek het aanvaringsrisico groter bij turbines waarvan de wieken lager bij het wateroppervlak draaiden (Skov *et al*., 2012). Bij de keuze van de turbines en hun opstelling (verbinding met funderingen) kan bijgevolg best rekening gehouden worden met de rotordiameter en de naafhoogte.

Tot op heden zijn er geen studies die eventuele milderende effecten van waarschuwende signalen aantonen. Er wordt vaak gesuggereerd dat geluidssignalen of visuele signalen de aanvaringskansen kunnen verkleinen. Aan de andere kant is bekend dat vogels gewenning vertonen ten opzichte van dergelijke prikkels. Voor migrerende vogels zal het gewenningseffect minimaal zijn, omdat individuele vogels slechts af en toe (twee keer per jaar in het geval van trekvogels) het windpark zullen passeren. Het verlichten van het gehele windpark is niet aan te raden, omdat dit zeker tijdens slechte zichtomstandigheden juist vogels zal aantrekken.

Zelfs zwakke verlichting kan leiden tot een verhoogde aanvaringskans (Buurma & van Gasteren, 1989). Wel kan als onderdeel van de monitoring van de aanvaringsslachtoffers onderzocht worden of puntverlichting (bijvoorbeeld rode lichten op de uiteinden van de rotorbladen), fluorescerende delen van de rotorbladen of geluidssignalen (ultrasoon) een reductie van het aantal slachtoffers kan betekenen (Stienen *et al.*, 2002). De waarschuwingssignalen zullen in overleg met de relevante autoriteiten moeten uitgewerkt worden.

Teneinde geschikte milderende maatregelen te definiëren omtrent een afstemming tussen operationele werking van het energiepark en een verhoogd aantal vliegbewegingen (bijvoorbeeld trekperiode) is een grondige kennis over deze geconcentreerde vliegbewegingen rond de turbines nodig. Dergelijke gedetailleerde informatie omtrent de vogeltrek ontbreekt vandaag vooralsnog binnen het windparkengebied op het BDNZ. Op basis van de resultaten uit het monitoringsprogramma kunnen in onderling overleg geschikte operationele maatregelen worden afgesproken. Hierbij wordt gesugereerd dat werkzaamheden best buiten de periodes met hoge concentraties van vogels of verhoogde kansen op de aanwezigheid van zeezoogdieren worden uitgevoerd (Stienen *et al.*, 2002). Dit laatste geldt ook voor de installatie en het onderhoud van de WEC's.

Van vleermuizen is gekend dat ze (op land) veel vaker in aanvaring komen met windturbines dan vogels (Ledec, 2012). Hoewel de redenen hiervoor nog niet gekend zijn, worden ze aangetrokken tot windturbines, terwijl vogels eerder toevallig in aanvaring komen. Bovendien kan louter in de buurt komen van een turbine reeds fatale gevolgen hebben voor vleermuizen, doordat hun longen de grote luchtdrukverschillen niet aankunnen. Momenteel is nog niet geweten of er vleermuizen voorkomen in de buurt van de Belgische windparken.

Indien dit toch geval blijkt te zijn, is de meest effectieve milderende maatregel om tijdens de migratieperiode (april-mid mei; augustus-mid oktober) de turbines 's nachts pas te laten draaien vanaf een bepaalde windsnelheid (Arnett *et al*., 2013). Bij hogere windsnelheden zijn vleermuizen immers niet actief en het economisch verlies zou minimaal zijn. Meer onderzoek is echter nodig naar het gedrag van vleermuizen op zee en in welke periode(s) ze voorkomen.

5.4.5.4 Zeezoogdieren

Gezien er een significante verstoring van zeezoogdieren kan optreden tijdens de constructiefase, meer bepaald tijdens het heien van palen (monopile, jacket fundering, WEC), kunnen bij uitvoering van deze activiteiten een aantal maatregelen genomen worden (BMM, 2013; Boon *et al.*, 2010):

- Maatregelen zonder een vermindering van het geluidsniveau:
  - Zoveel mogelijk periodes vermijden waarin zeezoogdieren in hoge aantallen voorkomen in het BDNZ. Andere activiteiten (leggen van kabels, baggeren, etc.) zouden wel mogen plaatsvinden.
  - Het niet aanvangen of verder zetten van de werken indien zich zeezoogdieren bevinden in de buurt van de werf;
  - Het preventief verjagen van zeezoogdieren uit het gebied rond de werf door het toepassen van akoestische toestellen waaronder pingers en seal scares (Huddleston, 2010). Een opzettelijke verstoring van zeezoogdieren is verboden in alle wateren van EU staten (Habitatrichtlijn, KB van 21 december 2001), maar kan toegepast worden in het belang van de dieren zelf.
  - Het gebruik van luchtbelgordijnen kan de maximale geluidsemissie tijdens het heien verminderen met 10 tot 15 dB re 1 µPa (Rustemeier *et al*., 2011) of 20 dB re 1 µPa (Nehls *et al*., 2007). De sterke getijstroom in de zone waar de windparken geïnstalleerd zouden worden, vormt een extra moeilijkheid voor het gebruik van dergelijke technieken, maar een aangepast ontwerp van het luchtbellengordijn is mogelijk (Lucke *et al*., 2011). Zie ook § 5.3.7 voor meer details.
  - Het starten van het heien d.m.v. een ramp-up procedure, waarbij het maximale geluidsniveau pas na een half uur of een uur bereikt wordt. Von Benda-Beckmann *et al*., (2011) modelleerden een 'ramp-up' procedure (of 'soft-start' procedure, waarbij de gebruikte energie langzaam toeneemt), in casu voor SONAR geluid en effecten op orka's. Men schatte dat het risico voor gehoorschade met een factor 5 tot 10 gereduceerd werd door de 'ramp-up' procedure. De resultaten van de modellering toonden aan dat lange' ramp-up' procedures niet noodzakelijk de beste waren.
- Maatregelen die het niveau van het geluid verminderen:
  - Gebruik maken van de suction bucket techniek;
  - Het aanpassen van het heisysteem: aanpassen van het heiblok, langer contact tussen heiblok en paal, gebruik van minder energie tijdens het heien;
  - Boren in plaats van heien. Het is niet duidelijk of dit technisch mogelijk is voor de aanwezige ondergrond en anderzijds de grotere paaldiameters;
  - Het intrillen van de paal (vibro-piling) (Saleem, 2011);
  - Het aanbrengen van een absorberende laag (bijvoorbeeld polyethyleenschuim) rond de paal.

Zelfs een relatief beperkte verlaging van het brongeluidsniveau tijdens heien, kan de mogelijke effecten en het gebied waarover ze kunnen voorkomen sterk verminderen.

Er wordt bovendien aanbevolen om de periode waarin de palen geheid worden zo kort mogelijk te houden, en niet intermitterend over een lange periode te spreiden, aangezien deze laatste periode tot gevolg kan hebben dat zeezoogdieren een aantal malen verdreven worden uit een gebied.

Indien zou blijken dat bij bepaalde stappen in de constructiefase geluiden zouden ontstaan die vergelijkbaar zijn met deze die ontstaan bij het heien van monopiles of die potentieel gevaarlijk zijn voor zeezoogdieren, worden ook hiervoor de bovenbeschreven maatregelen voorgesteld.

5.4.5.5 Harde substraten

Analoog als voor de milderende maatregelen voor het benthos wordt de klemtoon gelegd op degelijke monitoringsstrategieën en bijkomend wetenschappelijk onderzoek.

Aangezien als gevolg van de toegenomen aanwezigheid van artificiële harde substraten een merkelijke toename van niet-inheemse soorten wordt verwacht dient de introductie van harde substraten tot het minimum te worden beperkt.

De bouwmaterialen en steenbestortingen dienen zoveel mogelijk uit natuurlijke materialen vervaardigd te zijn en zullen geen afvalstoffen of secundaire grondstoffen bevatten. Het opvullen van de funderingsputten moet zoveel mogelijk gebeuren met zand van dezelfde kwaliteit als het oorspronkelijke zand.

5.4.6 Monitoring

Monitoring moet het mogelijk maken om eventuele veranderingen in het ecosysteem als gevolg van de inplanting van de windturbines en de WEC's te kunnen detecteren. Gezien momenteel verschillende windparken (mogelijk) actief worden binnen de afgebakende windconcessiezone (KB 17/05/2004; gewijzigd bij KB 03/02/2011), is een afstemming tussen de verschillende monitoringsprogramma's aangewezen. BMM past reeds een hoge mate van afstemming van de monitoringsprogramma's van de verschillende windparken toe. Opdat eventuele permanente veranderingen zouden kunnen vastgesteld worden, is een zeer grondige en langdurige monitoring van de diverse gemeenschappen vastgelegd in het monitoringsprogramma van het C-Power project (BMM, 2004), het Belwind project (BMM, 2007), het Northwind project (BMM, 2009), het Norther project (BMM, 2011b), het Rentel project (BMM, 2012a) en het SeaStar project (BMM, 2013). Voor de Mermaid en Northwester 2 projecten wordt voor de monitoring aangesloten bij het geïntegreerd programma van de reeds vergunde parken.

Voor meer details wordt verwezen naar de bovenvermelde monitoringsprogramma's en naar de aanbevelingen geformuleerd in de resultatenoverzichten van monitoring voor offshore windparken in de Belgische mariene wateren (Degraer & Brabant, 2009; Degraer *et al.*, 2010a, 2011, 2012, 2013a).

WEC's zijn nog niet eerder geïnstalleerd binnen de Belgische concessiezone, waardoor de milieueffecten uiteraard minder goed gekend zijn dan voor de windparken. Ook applicaties in andere kustgebieden zijn – meestal als recent pilootproject - nog onvoldoende bemeten om relevante besluiten en/of aanbevelingen te suggereren. Daarom ook lijkt een gefaseerde invulling van de WEC-installatie in de Mermaid-zone een logische aanpak in deze. In een eerste fase kunnen dan enkele (eventueel verschillende types) units worden geplaatst die in een opvolgingsperiode uitgebreid getest en bemeten kunnen worden, o.a. op mogelijke

milieueffecten. Op basis van analyse en evaluatie van deze terreinresultaten kan dan op een gepaste manier invulling worden gegeven aan het vervolg van de WEC-implementatie binnen Mermaid. Bovenstaand traject ontleent zijn inspiratie aan het analoge ontwikkelingsspoor bij de realisatie en installatie van de eerste 6 (GBF) windturbines in het C-Power park.

5.4.6.1 Benthos

De te bestuderen aspecten zijn:

- De bepaling van de referentietoestand (T0 situatie) en van de natuurlijk optredende fluctuaties in de macrobenthosgemeenschappen van zandige substraten in beide projectgebieden;
- Onderzoek naar welke soorten op de sites aanwezig zijn gedurende welke perioden van het jaar;
- Seizoenswaarnemingen van de biodiversiteit binnen de projectgebieden;
- Wijzigingen in productiviteit;
- Distributiepatronen per soort en per cohorte.

5.4.6.2 Vissen

Samengevat wordt er gekeken naar de bepaling van de referentietoestanden (T0 situatie) en van de natuurlijk optredende fluctuaties in de visgemeenschappen van zandige substraten in de projectgebieden, waarbij een onderscheid gemaakt wordt tussen de demersale visfauna rond de turbines en in het ruimere studiegebied. Ook de temporele (seizoensgebonden) waarnemingen worden bekeken en de impact van het heien van de palen op vis(larven). Voor meer details wordt verwezen naar de BMM.

5.4.6.3 Vogels en vleermuizen

Transecten in de windparken worden sinds 2008 al maandelijks geteld in kader van de monitoringsprogramma's van de BMM. Mogelijk zullen de transecten licht gewijzigd worden in functie van de inrichting van de Mermaid en Northwester 2 concessies. Eveneens worden radaronderzoek en gezenderde vogels (broedende individuen van kleine mantelmeeuw en zilvermeeuw in de kolonies van Zeebrugge en Oostende) ingepland (BMM, 2013). Een teststudie van radaronderzoek in de haven van Zeebrugge toont aan dat het radarsysteem een geschikt model is om vliegbewegingen te onderzoeken en significante patronen aan te tonen (Brabant *et al*., 2012)

Tijdens het monitoringsonderzoek zijn de belangrijkste aspecten:

- Vliegen adulte, broedende zilvermeeuwen en kleine mantelmeeuwen vanuit de broedkolonies in Zeebrugge en Oostende tot aan de windparken om te foerageren?
- Hoe gedragen die soorten zich in een windpark (is er sprake van een 'meeting point' op zee?) en in de buurt van individuele turbines? Gebruiken vogels de turbines of de WEC's als rustplaats?
- Wat is de vlieghoogte van die soorten binnen een windpark? Verschilt dit van de vlieghoogtes erbuiten? Hier kan ook een link gemaakt worden met data van de verticale radar over groundtruth grote meeuwen.
- Grote meeuwen hebben het grootste risico om in aanvaring te komen met een turbine doordat ze regelmatig op rotorhoogte vliegen en doordat ze groot en weinig wendbaar zijn. Wat is de kans om in aanvaring te komen met een turbine?
- Hebben de windparken een effect op populatieniveau bij deze soorten?

Op basis van een langdurige monitoring moet het op termijn mogelijk zijn om de cumulatieve effecten van de windparken op de zeevogelpopulaties in te schatten. Gedetailleerde monitoring en onderzoek naar de barrièrewerking op migrerende vogelsoorten zijn van cruciaal belang. Gezien vogeltrek zowel overdag als 's nachts plaatsvindt, is monitoring ook zowel overdag als 's nachts noodzakelijk.

De inzichten dat mogelijks ook vleermuizen aanwezig zijn in windparken op zee en dus ook mogelijks in aanvaring kunnen komen met turbines zijn relatief nieuw. Daarom kan er, in het kader van het monitoringsprogramma, onderzocht worden welke soorten en in welke aantallen vleermuizen voorkomen in de Belgische windparkzone. Dit kan met behulp van gerichte tellingen op zee, radaronderzoek en vleermuisdetectoren en zal voornamelijk plaatsvinden tijdens de migratie periodes (april-mid mei; augustus-mid october).

5.4.6.4 Zeezoogdieren

Het is van belang dat de monitoring van het (onderwater)geluid van de windturbines en de WEC's, en de monitoring van zeezoogdieren gezamenlijk geïnterpreteerd worden bij de rapportage. Er moet nagegaan worden of er correlaties zijn tussen het geluid en de effecten op de zeezoogdieren. Zo kunnen eventuele oorzaak-effect relaties worden aangetoond.

5.4.6.5 Harde substraten

De belangrijkste aspecten bij de monitoring van harde substraten zijn:

- Vestiging (kolonisatie), ontwikkeling en aard (inheems, niet-inheems) van organismen op de nieuwe structuren (zowel intertidaal als subtidaal);
- De ontwikkelingstijd nodig voor het bereiken van een climaxgemeenschap.

5.4.7 Passende beoordeling

Het beleid van de Europese Commissie is erop gericht om de biologische diversiteit in stand te houden. Belangrijke peilers waarop deze bescherming steunt, zijn de Europese Vogel (79/409/EEG)- en Habitatrichtlijn (92/43/EEG). Om de doelstellingen binnen deze richtlijnen te realiseren worden de Europese lidstaten verplicht om naast algemene beschermingsmaatregelen, ook speciale beschermingszones af te bakenen en er een gepast beheer te voeren. Deze vormen samen een ecologisch netwerk van beschermde gebieden in een Europees verband: het Natura 2000 netwerk.

Deze Europese richtlijnen werden nationaal bekrachtigd door de Wet Mariene Milieu. In art. 7 wordt gespecificeerd dat de Koning speciale beschermingszones onder de Vogelrichtlijn (SBZ-V) of Habitatrichtlijn (SBZ-H) bestemd heeft voor de instandhouding van zekere mariene habitats of bijzondere soorten. Een verdere vertaling van de Europese richtlijnen en de Wet Mariene Milieu vond plaats in volgende Koninklijke Besluiten:

- Het KB van 21 december 2001 betreffende de bescherming van de soorten in de zeegebieden onder de rechtsbevoegdheid van België.
- Het KB van 14 oktober 2005 betreffende de instelling van speciale beschermingszones en speciale zones voor natuurbehoud in de zeegebieden onder de rechtsbevoegdheid van België.
- Het KB van 5 maart 2006 tot instelling van een gericht marien reservaat, de 'Baai van Heist'.

Voor een gedetailleerde bespreking van het juridische kader wordt verwezen naar hoofdstuk ‘Juridische en beleidsmatige randvoorwaarden’.

De concessiegebieden van de Mermaid en Northwester 2 windparken vallen niet binnen één van de afgebakende beschermde gebieden. De voorgestelde fall-back scenario voor het kabeltracé (aanlanding te Zeebrugge) gaat wel doorheen een speciale beschermingszone, namelijk SBZ-V3 ‘Zeebrugge’ (Bijlage E).

Op basis van het KB 14/10/05 (art. 6) en KB 05/03/06 (art. 6) dient voor dit specifieke scenario een passende beoordeling opgemaakt te worden voor de aanleg van dit fall-back exportkabeltracé daar zij mogelijks significante gevolgen kunnen hebben voor het gebied. Deze passende beoordeling werd echter al gemaakt in kader van het MER voor het Belgian Offhsore Grid (IMDC, 2013d). Voor de bespreking van de effecten van het fall-back scenario op het SBZ-V3 ‘Zeebrugge’ wordt dan ook verwezen naar dit rapport.

5.5 ZEEZICHT EN CULTUREEL ERFGOED

5.5.1 Methodologie

Onder zeezicht wordt verstaan “het kustlandschap en de aangrenzende open wateren, inclusief zicht op zee en zicht op de kustlijn vanaf de zee”. Bij het zicht op de kustlijn worden de kenmerken van het kustlandschap beschreven en de belangen hiervan voor de toeristen, horeca-uitbaters en bewoners geëvalueerd.

Bij de introductie van de eerste aanvragen voor de bouw van offshore windparken, bleek al snel de grote bezorgdheid over de potentiële landschapsvisuele effecten ervan. In het geval van de recentere plannen voor de bouw van offshore windparken op 30 km en meer van de kust werden geen klachten met betrekking tot de effecten op het zeezicht meer ontvangen.

In het voorliggende MER wordt voor de referentiesituatie uitgegaan van 54 gebouwde windturbines van het C-Power windpark (Thorntonbank), 55 windturbines van het Belwind windpark (Blighbank) en 72 windturbines van het Northwind windpark (Lodewijkbank).

Wat het cultureel erfgoed betreft, gaat de aandacht vooral naar de wrakken die op de zeebodem aanwezig zijn en de aanwezigheid van verdronken paleolandschappen. Er zijn verschillende databanken beschikbaar met een overzicht van de wrakken: dit onderzoek baseert zich op de data die bij het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Kust bekend zijn, op de inventarisatie van de wrakken in het kader van het GAUFRE-project (Maes *et al.*, 2005), en van drie databanken (http://www.vlaamsehydrografie.be/wrakkendatabank.htm, www.maritieme-archeologie.be en http://www.wrecksite.eu/). Het onderzoek naar paleolandschappen is relatief nieuw en een databank met gekende paleolandschappen ontbreekt op dit moment nog. Gegevens hieromtrent werden bekomen uit navraag bij het VIOE (Vlaamse Instituut voor Onroerend Erfgoed, pers. comm. Inge Zeebroek, maart 2012). Op land bestaat het cultureel erfgoed uit landschappen en relicten van traditionele landschappen.

Bij de effectbeschrijving en -beoordeling worden de effecten van de bouw, exploitatie en ontmanteling van de windturbines en de bekabeling op het cultureel erfgoed (zijnde de wrakken en paleolandschappen) en op het zeezicht beschreven. Bij de bespreking en beoordeling van de impact op het zeezicht wordt gebruik gemaakt van bestaande fotosimulaties en van de resultaten van het enquêteonderzoek dat in de zomer van 2009 uitgevoerd werd door Grontmij (2010) in het kader van de milieueffectenrapportering voor concessiegebied Norther (Arcadis, 2011). Het Norther concessiegebied is het dichtst bij de kust gelegen en zal het meeste effect hebben op het kustlandschap. De Mermaid en Northwester 2 parken liggen het verst van de kust (ca. 50 km uit de kust), ten noordwesten van de 6 andere parken en zullen bijgevolg niet zichtbaar zijn vanaf de kust, enkel vanop zee.

5.5.2 Referentiesituatie en autonome ontwikkeling

5.5.2.1 Zee- en kustlandschap

De Noordzee lijkt een tot aan de horizon uitgestrekt uniform wateroppervlak en is één van de weinige gave landschappen die in België aan te treffen zijn, met een groot ecologisch belang. De vrije horizon, als uniek landschap, is een belangrijke natuurlijke waarde van de Noordzee.

Het zicht over zee is op de meeste plaatsen vanaf de Belgische kustlijn ongestoord. Het zeezicht is zonder twijfel een belangrijk aantrekkingselement voor het toerisme aan de Belgische kust.

Bij goede zichtbaarheid kan tot ver in zee de scheepvaart gevolgd worden. Vooral bij mooi en helder weer wordt beweging in het landschap door vrachtschepen, vissers, recreatievaart en surfers, waargenomen. In de nabijheid van havens is er meestal meer activiteit door o.a. in- en uitvarende containerschepen, baggerschepen, vissersschepen en recreatievaart.

Bij waarneming vanaf de kustzone landinwaarts is het dominante beeld van de Belgische kust dat van een smalle, strakke opeenvolging van hoogbouw in een strook van 67 km lang, die zee en polders hard scheidt. Aan de oostkust is er enkel ter hoogte van het Zwin nog een open verbinding tussen de zee en het binnenland en komt er een uitgebreid en waardevol slikken- en schorrengebied voor. Ten westen zijn de duinengordel ter hoogte van De Panne, Bredene en de kustlijn ter hoogte van De Haan, waar hoogbouw vermeden wordt, nog enkele visueel waardevolle kuststrookgebieden. De zeehaven van Zeebrugge vormt een sterk dominerend visueel punt langsheen de Belgische kustzone. Het landschap wordt beïnvloed door de aanwezigheid van de windturbines op de oostelijke strekdam, (bouw-)kranen, de LNG- terminal en andere havengebonden activiteiten.

5.5.2.2 Beleving en appreciatie van de kust en het zeelandschap

Bij een enquêteonderzoek in 2009 bij 1.000 personen werd in het kader van monitoring van de effecten van offshore windparken op het landschap ondermeer gepolst naar de beleving en de appreciatie van de kust (Grontmij, 2010). Op dertien mogelijkheden zijn volgende aspecten van de kust de meest gewaardeerde:

1. Het strand, de zon, de zee (zonnen en zwemmen);
2. Wandelingen langs de zee, in de duinen of op de dijk, uitwaaien in de frisse lucht;
3. De gezelligheid en de vakantiesfeer;
4. De natuur, de zuivere en gezonde lucht (duinen, zeevogels en natuurreservaten);
5. De rust en de stilte;
6. Het weidse landschap met vergezichten, het zicht op zee.

‘Het weidse landschap met vergezichten, het zicht op zee’ werd door iets meer dan een kwart van de bevraagden aangegeven. Gezien aangenomen kan worden dat de factor landschap ook zeer belangrijk is bij ‘wandelingen langs de zee, in de duinen of op de dijk, uitwaaien in de frisse lucht’, kan besloten worden dat het zeezicht een zeer belangrijke rol speelt in de beleving en appreciatie van de kust.

Het zeelandschap werd door de bevraagden voornamelijk beschreven als rustig en stil, natuurlijk, oneindig, weids en open, en werd duidelijk positief beoordeeld, als mooi, aantrekkelijk, ‘vrijheid’, etc.

Op de vraag of hen iets stoorde aan het zeelandschap, antwoordde 12% van de ondervraagden positief. De vervuiling van de zee werd in dit verband het meest aangehaald, alsook de drukte van het toerisme (auto’s, mensen,…). De haven en de industrie van Zeebrugge/Oostende en bebouwing op het land (bijvoorbeeld appartementsblokken) zijn storende elementen die door telkens ca. één op de tien mensen die aangaven dat hen iets stoorde aan het zeelandschap, werden vermeld. De windturbines aan de haven van

Zeebrugge werden door 6 mensen aangehaald (5%) en de windturbines op zee door 3 mensen (2,5%).

5.5.2.3 Natuurwaarde

Op zee kan algemeen gesteld worden dat de belangrijkste natuurwaarde zich in de zone bevindt die het dichtst bij de kust gelegen is; namelijk in de eerste zes nautische mijl van de territoriale wateren. In deze zone bevinden zich de Speciale Beschermingszones in het kader van de Europese Vogelrichtlijn en Habitatrichtlijn (KB van 14 oktober 2005), en het gericht marien reservaat 'Baai van Heist' (KB van 05 maart 2006). Het nieuw Habitatrichtlijngebied 'Vlaamse Banken' dat in september 2011 door de Europese Commissie werd opgenomen in de lijst van de 'Gebieden van Communautair Belang', strekt zich vanaf de kust veel dieper in zee uit en beslaat een oppervlakte van ca. 1.000 km² (ca. 1/3 van het BDNZ) (Kaart zie Bijlage E).

Vanuit een meer algemeen natuurstandpunt kan gesteld worden dat de natuurwaarde steeds het hoogste is dichtbij de kust (o.a. de Vlaamse banken) en afneemt naarmate men verder offshore gaat. Daarnaast is een westoostelijke gradiënt waarneembaar met een concentratie van natuurgebieden aan de westkant. Op land zijn er waardevolle kuststrookgebieden ter hoogte van het Zwin, de Baai van Heist, de kustlijn van de gemeente De Haan, de duinengordel ter hoogte van Bredene, de IJzermonding en het Westhoekreservaat.

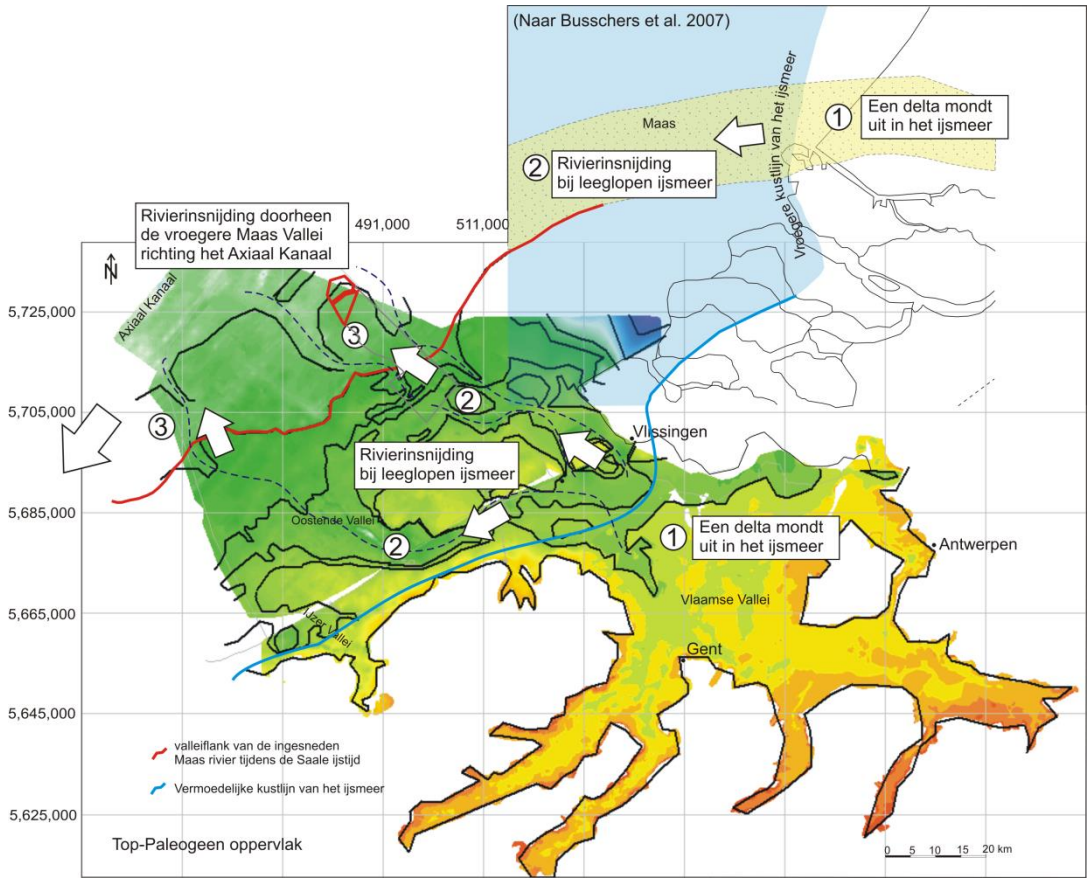
5.5.2.4 Cultureel erfgoed

Op land bestaat het cultureel erfgoed uit landschappen en relicten van traditionele landschappen. Het betreft o.a. duin- en poldergebieden, de IJzermonding en het Zwin met zijn uitzonderlijke landschapsecologische waarde als slikke- en schorregebied. De landschapsatlas (Hofkens en Roosens, 2001) geeft aan waar de historisch gegroeide landschapstructuur tot op vandaag herkenbaar gebleven is en duidt deze aan als relicten van de traditionele landschappen. De relicten worden geclassificeerd naar de ruimtelijke dimensie die ze in het landschap bezitten. Ze kunnen onderverdeeld worden in punt-, lijn- en vlakvormige relicten. Sommige relicten vormen complexen van erfgoedelementen die één geheel vormen, ze worden samengevoegd tot een ankerplaats. Een voorbeeld van zo een ankerplaats is "de Fonteintjes", een serie van deels kunstmatige, deels natuurlijke duinplassen, duinrietlanden en duinstruwelen gelegen langs een 4 km lange strook tussen de duinengordel en de kustweg van Zeebrugge tot Blankenberge.

Op zee bestaat het cultureel erfgoed voornamelijk uit scheepswrakken. Sinds het verschijnen van de Wet betreffende bescherming van het cultureel erfgoed onder water (04/04/2014) kunnen evenwel ook alle andere sporen van menselijke aanwezigheid met en cultureel, historisch of archeoloisch karakter en hun natuurlijke context als cultureel erfgoed beschouwd worden en beschermd worden. Sinds het verschijnen van bovenstaande wet verviel de Wet van 9 april 2007 betreffende de vondst en de bescherming van wrakken.

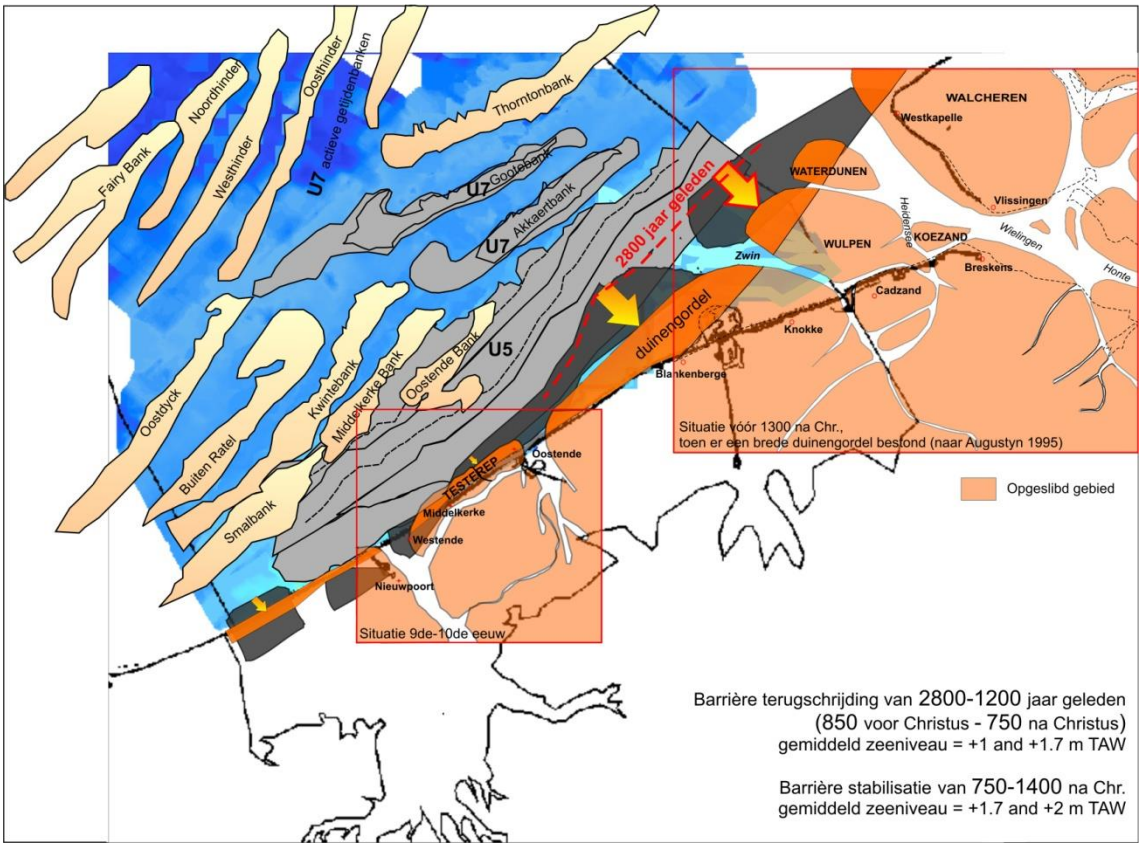
Er kan worden aangenomen dat er buiten gelokaliseerde-, ook een groot aantal niet-geregistreerde wrakken aanwezig zijn op de zeebodem.

Naast scheepswrakken groeit er een interesse naar verdronken paleolandschappen als nieuw onderdeel van cultureel erfgoed. De Mermaid en Northwester 2 windparken bevinden zich ter hoogte van een paleovalleiensysteem dat zich insneed bij het leeglopen van een ijsmeer tijdens de Saale ijstijd (Figuur 5-109).



Figuur 5-109 Situering van Mermaid en Northwester 2 (rood frame) ten opzichte van een paleovalleiensysteem (naar Mathys, 2010)

Meer kustnabij zouden er (herwerkte) resten van de middeleeuwse eilanden Wulpen, Koezand en Waterdunen liggen ter hoogte van het huidige Vlakte van de Raan (Pieters *et al.*, 2010, Mathys, 2009) (Figuur 5-110). Rondom de Thorntonbank en in het Deep Water Channel (gelegen aan de noordrand van het BDNZ, ter hoogte van het 'Axiaal kanaal' in Figuur 5-109) zijn fossiele zoogdierresten teruggevonden (pers. comm. Inge Zeebroek, maart 2012). Ook kustnabije zones bevatten vaak archeologische resten, bvb. de kust voor Oostende-Bredene en Raversijde (Pieters *et al.*, 2010).

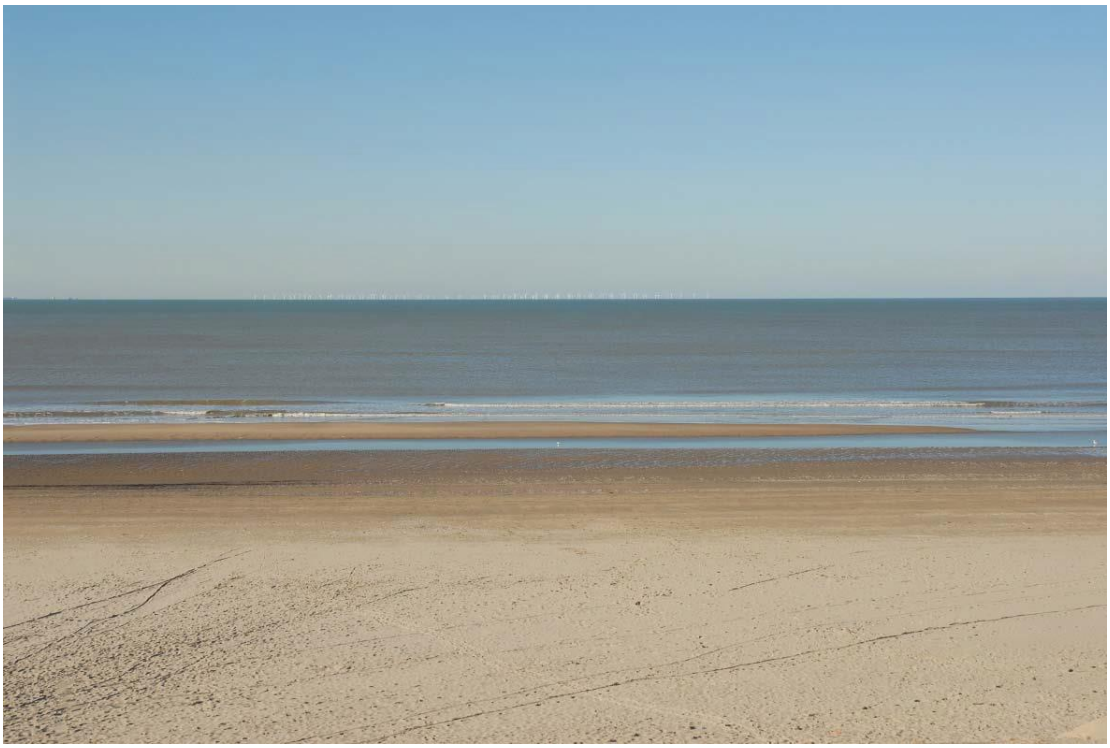


Figuur 5-110 Situering van middeleeuwse eilanden Wulpen, Koezand en Waterdunen (naar Mathys, 2010)

5.5.2.5 Autonome ontwikkeling

Een ontwikkeling die een wijziging in het zeelandschap zal aanbrengen, is de (verdere) bouw van de momenteel vergunde windparken (Belwind, Northwind, Norther, Rentel en SeaStar). Daarnaast heeft Elia een milieuaanvraag ingediend voor de bouw van de Alpha-installatie op ca. 35 km van de kust. De impact van de windparken op het zeezicht vanaf de kust is voornamelijk afhankelijk van de afstand van het windpark tot de kustlijn. Momenteel is het C-Power project het dichtstbijzijnde operationeel windpark, op een afstand van 27 km uit de kust van Zeebrugge. In de toekomst zal het Norther windpark nog voor (ten zuidoosten van) dat van C-Power komen te liggen, op ca. 20 km uit de kust.

Figuur 5-111 geeft een simulatie van het zeezicht weer vanaf de dijk van Blankenberge wanneer de windparken van C-Power, Belwind en Northwind volledig gebouwd zijn. Bij het enquêteonderzoek uitgevoerd in de zomer van 2009, beoordeelde bijna 78% van de respondenten dit zicht als (zeer) aanvaardbaar (Grontmij, 2010).



Figuur 5-111 Simulatie van de drie gekende vergunde windturbineprojecten (C-Power, Northwind en Belwind), standpunt op de zeedijk in Blankenberge (Grontmij, 2010) (uitvergroot in Bijlage G)

Naast de bouw van de windparken en mogelijk het BOG project van Elia, zou het zeezicht mogelijks gewijzigd kunnen worden door de ontwikkelingen in de scheepvaartsector. De groei van de havens en de vraag naar grotere schepen zou het bestaande beeld kunnen wijzigen. Ook de aangepaste vaarroutes (dichter onder de kust) kunnen hier een rol in spelen.

Wat betreft de autonome ontwikkeling van het cultureel erfgoed kan gesteld worden dat er momenteel op land geen ontwikkelingen gepland zijn die het cultureel erfgoed zouden kunnen wijzigen. Op zee is het IWT project SEARCH ‘Archeologisch erfgoed in de Noordzee’ gestart, met als doel een efficiënte evaluatiemethodologie te ontwikkelen en voorstellen te formuleren tot een duurzaam beheer van archeologisch erfgoed in het BDNZ. Daardoor zullen in de toekomst mogelijk nieuwe gebieden als paleolandschap of cultureel erfgoed gedefinieerd worden. Daarenboven is door ondertekening van de UNESCO conventie en implementatie in een nieuwe wet (Wet betreffende bescherming van het cultureel erfgoed onder water, 04/04/2014), de definitie van maritiem cultureel erfgoed veranderd en is de melding van vondsten verplicht geworden.

5.5.3 Effecten

5.5.3.1 Effecten op zeezicht

5.5.3.1.1 Constructiefase

De bouw en installatie van de Mermaid en Northwester 2 parken wordt voorzien op een totale doorlooptijd van 2 tot 3 jaar, waarbij een (deels) simultane uitvoering van de offshore werkzaamheden in beide zones is voorzien.

De bouw van de installaties op zee zal, in functie van enerzijds de weersomstandigheden en de daaraan verbonden werkbaarheden en anderzijds de opgelegde milieucondities, optimaal worden ingepland over het volledige jaar. Een absolute beperking in uitvoeringsperiode (in een vaste periode van het jaar) wordt als technisch-economisch beperkend ervaren bij de operationele uitvoering van offshore installatiewerken van de windparken.

Mogelijk valt de periode van de installatiewerkzaamheden voor een deel samen met het toeristische seizoen van de Belgische kust, waardoor de aanleg van de windparken aanleiding kan geven tot een tijdelijke en lokale verstoring van het zeezicht.

De schepen die gebruikt zullen worden tijdens de bouw zijn erg beperkt in aantal, vergeleken bij de grote aantallen van gewone vaarbewegingen die zichtbaar zijn vanaf de kust (Haven Zeebrugge ca. 11.000 zeeschepen per jaar). Het effect van deze schepen en scheepsbewegingen wordt als zeer gering tot verwaarloosbaar negatief (0/-) beschouwd.

Gezien het windpark op een grote afstand in zee wordt gebouwd, zullen de constructieactiviteiten niet zichtbaar zijn. Daarnaast dient gesteld te worden dat op het ogenblik van de realisatie van de 2 parken er andere windturbines op zones dichter bij de kust zullen gerealiseerd en operationeel zijn, die de visuele impact van de turbines in de verder gelegen zones nog meer beperken.

De voorbereidende activiteiten op het land (zoals onder andere de premontage van turbines en andere onderdelen van het windpark) in een nabijgelegen haven, hebben lokaal wel een tijdelijke visuele impact maar vormen onderdeel van een normale havenactiviteit. De aanwezigheid van het materieel en de werken op zich kunnen ook tijdelijk als een toeristische activiteit worden beschouwd. De negatieve beleving van de rustverstoring voor bewoners staat naast de positieve beleving voor toeristen. In zijn geheel is deze activiteit visueel als neutraal te beschouwen vanwege het tijdelijke karakter en de potentiële positieve effecten.

Bij het fall-back kabelscenario optie C (de aanlanding van de kabels op het strand i.p.v. op de Alpha-installatie), zullen er ook op het strand tijdelijk werkzaamheden plaatsvinden. Zoals beschreven in MER BOG (IMDC, 2013d) zal er met een ploeg of met klassieke graafmachines een sleuf gegraven worden voor het aanleggen van ondergrondse kabels en buizen (Figuur 5-112). Deze activiteiten grijpen principieel steeds plaats buiten het drukke toeristische seizoen. Bewoners en toeristen worden tijdig en afdoende geïnformeerd van de geplande werkzaamheden. Het effect van deze activiteiten op de beleving van het zeezicht is zeer tijdelijk (enkele dagen werkzaamheden op de strandzone) en wordt als uiterst gering negatief beschouwd (0/-) (IMDC, 2013d).



Figuur 5-112 Illustraties van de aanleg van een exportkabel op het strand (bron: IMDC i.o.v. C-Power, april 2012)

5.5.3.1.2 Operationele fase

Zeezicht vanaf de kust

De zichtbaarheid van een windpark wordt bepaald door een combinatie van parameters: de afstand van het windpark tot de waarnemer, de schaal en configuratie van het windpark (aantal turbines, onderlinge afstand tussen de turbines, inplantingspatroon…), de lay-out van de turbines (kleur, grootte…), weersomstandigheden en contrast, etc. De afstand tot de kust in combinatie met de natuurlijke kromming van de aardbol resulteert bovendien in een gedeeltelijk 'verdwijnen' van de windturbines achter de horizon.

De Mermaid en Northwester 2 projecten situeren zich ten noordoosten van de Belwind, SeaStar, Northwind, Rentel, C-Power en Norther windparken die dichter bij de kust gelegen zijn. Mermaid en Northwester 2 liggen dus achter het gezichtsveld van deze meer kustnabije parken. Er zijn slechts weinig dagen per jaar waarop zeezicht mogelijk is tot 20 à 30 km, terwijl de Mermaid en Northwester 2 parken zich op ca. 50 km bevinden. Jaarlijks is het zicht maar in 10% van de tijd meer dan 20 km en slechts in 1% van de tijd meer dan 30 km (Grontmij, 2008).. Vanaf de kust zal het zicht met of zonder de Mermaid en Northwester 2 turbines bijgevolg niet veranderen. Er worden dus geen effecten verwacht van de windparken op het zeezicht (0)

Zeezicht op zee

Bij het enquêteonderzoek van 2009 in het kader van de monitoring van de effecten van offshore windparken op het landschap, werd aan de respondenten eveneens een simulatie voorgelegd met een zicht op de windparken van op de zee (Grontmij, 2010). Hiervoor werd de situatie met volledige inname van de juridisch afgebakende zone voor windparken op zee gebruikt (Figuur 5-113).



Figuur 5-113 Simulatie van de volledige inname van de juridisch afgebakende zone voor windturbines op zee ('worst case'), zicht van op zee, standpunt op ca 2 km van dichtste windturbine, kijkrichting noordwesten (Grontmij, 2010) (uitvergroot in Bijlage G-2).

Volgens bovenstaand onderzoek is voor 55% van de bevraagden dit zicht van op zee (zeer) aanvaardbaar. Bijna één op de drie vindt dit zicht onaanvaardbaar, nog eens 10,7% zeer onaanvaardbaar. Ook hier spelen de afstand tot de turbines en de procentuele inname van de horizon een grote rol in de aanvaardbaarheid, hoewel eveneens de zichtbare bebakening van belang kan zijn in deze negatievere beleving.

Bebakening en verlichting

Zoals besproken in § 2.6.1.2.10 'Bebakening', worden de windturbines met een hoogte van meer dan 150 m boven de zeespiegel uitgerust met dubbele "W-roodlichten" of "obstakellichten" (rood flitslicht) ofwel "verlichting aan de uiteinden van de wieken" (rood vast licht met lage intensiteit) en obstakellichten op 40 m hoogte van de mast, voor signalisatie 's nachts t.b.v. de veiligheid voor scheeps- en luchtvaart.

Een licht, geplaatst op de gondel van de windturbines (100 m hoogte), kan door een waarnemer op 10 m hoogte, waargenomen worden tot meer dan 54 km afstand bij heldere omstandigheden (ARCADIS, 2008). De lichten zullen dus binnen de grenzen van het zichtbare vallen. De impact van de bebakening Mermaid en Northwester 2 kan echter gezien de zeer grote afstand tot de kust en de aanwezigheid van de andere windparken dichter bij de kust ook dan als onbestaande worden beschouwd (0).

5.5.3.1.3 Ontmantelingsfase

De effecten op het zeezicht zullen tijdens de ontmantelingsfase gelijkaardig zijn aan diegene tijdens de bouwfase. Deze zijn verwaarloosbaar (0/-).

5.5.3.1.4 WEC's

Vanaf de kust zijn de WEC's, gelet op hun beperktere afmetingen in relatie tot de windturbines en hun funderingen, niet zichtbaar en kan het effect op zeezicht als onbestaande worden beschouwd (0).

Ook vanop zee kan men er vanuit gaan dat de WEC's enkel op korte afstand zichtbaar zijn door hun geringe hoogte. Bovendien moeten schepen minstens 500 m afstand houden van de parken. Van de WEC-types beschouwd in dit MER, heeft de Wavestar de grootste dimensies (6,5 m boven het wateroppervlak). In vergelijking met de windturbines zijn de WEC's veel minder zichtbaar, waardoor het effect op het zeezicht op zee als nagenoeg onbestaande (0) kan worden beschouwd.

Voor de aanleg en ontmanteling zal een minimale verhoging van scheepsbewegingen plaatsvinden (0).

5.5.3.1.5 Bekabeling

De aanleg van de parkkabels tussen de turbines en de aanleg van de verbindingskabels naar Alpha of de exportkabel(s) naar de kust betekent een minimale verhoging van de scheepsbewegingen op zee. Daarom wordt de impact van de installatie van de kabels op het zeezicht als nagenoeg onbestaande (0) beoordeeld.

5.5.3.1.6 Besluit bespreking en beoordeling van de effecten op het zeezicht

Tabel 5-91 en Tabel 5-92 geven de samenvatting weer van de effecten op het zeezicht tijdens de volledige levenscyclus van de diverse alternatieven en de basisconfiguratie voor respectievelijk Mermaid en Northwester 2. Volgende definities zijn van toepassing: significant positief (++), matig positief (+), gering positief (0/+), (vrijwel) geen effect (0); gering negatief (0/-), matig negatief (-), significant negatief (--).

Tabel 5-91 Overzicht van de effecten van het Mermaid windpark op het zeezicht (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering)

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	MP	JF	GBF	MP	JF	JF	GBF	JF	GBF
Constructiefase									
Stijging scheepvaartverkeer	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Bouwactiviteiten	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Operationele fase									
Zeezicht vanaf de kust	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zeezicht op zee	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Bebakening	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ontmantelingsfase									
Analoog met constructiefase	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
WEC's									
Stijging scheepvaartverkeer	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zeezicht vanaf de kust en op zee	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bekabeling									
Stijging scheepvaartverkeer	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 5-92 Overzicht van de effecten van het Northwester 2 windpark op het zeezicht (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering)

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	MP	JF	GBF	MP	JF	JF	GBF	JF	GBF
Constructiefase									
Stijging scheepvaartverkeer	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Bouwactiviteiten	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Operationele fase									
Zeezicht vanaf de kust	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zeezicht op zee	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Bebakening	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ontmantelingsfase									
Analoog met constructiefase	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Bekabeling									
Stijging scheepvaartverkeer	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.5.3.2 Effecten op cultureel erfgoed

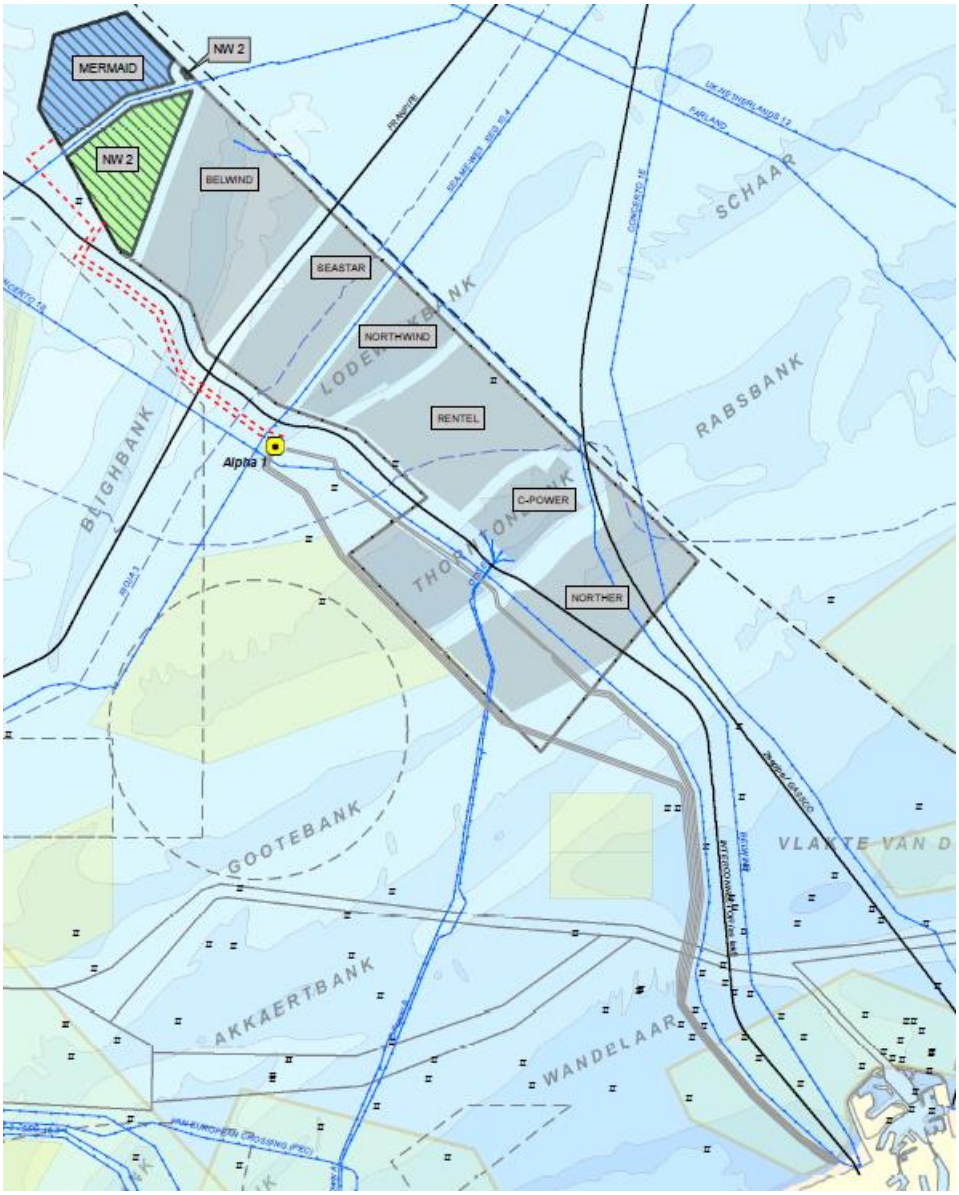
5.5.3.2.1 Constructiefase

De bouw van de windparken zal geen direct of indirect effect (0) hebben op het cultureel erfgoed langsheen de kustlijn. De landschappelijke waarde van de relictzones, ankerplaatsen en puntrelicten zal niet worden aangetast.

Op basis van de bestaande databanken rond scheepswrakken en de inventarisatie van de scheepswrakken die uitgevoerd werd in het kader van het project GAUFRE (Maes *et al.*, 2005) kan er afgeleid worden dat er ter hoogte van de concessiegebieden van Mermaid en Northwester 2 geen geregistreerde wrakken gelegen zijn (Figuur 5-114). Evenmin werden tijdens de verkennende geofysische metingen wrakken waargenomen.

Mogelijke rivierinsnijdingen van Saale ouderdom en Eemian invullingen kunnen mogelijk ondiep onder de zeebodem voorkomen wegens de beperkte dikte van het Quartair in dat gebied (zie hoofdstuk 5.1). Meer gedetailleerd geotechnisch onderzoek dient hier verder uitsluitsel over te geven: de aanwezigheid van een dergelijke palleo-vallei heeft directe consequenties naar funderingstabiliteit en installatiecondities. Er bevinden zich geen tot op heden erkende paleolandschappen of tot nu toe gekende archeologisch interessante gebieden.

Fossiele zoogdierresten komen voor aan de noordrand van het BCP. De precieze locatie ervan vormt een leemte in de kennis. In de buurt van de Mermaid en Northwester 2 windparken zijn momenteel geen vindplaatsen van fossielen bekend. Bijgevolg is het effect van de bouw van de windparken op archeologische resten niet-significant. Een protocol voor melding van archeologische toevalsvondsten op zee dat momenteel wordt uitgewerkt in IWT project SEARCH (www.sea-arc.be) en de recente wet betreffende bescherming van het cultureel erfgoed onder water (Wat 04/04/2014, publicatie BS 18/04/2014) beschrijft de afhandeling van toekomstige en eerdere ontdekkingen.



Figuur 5-114 Ligging wrakken t.o.v. Mermaid en Northwester 2 en het kabeltracé tot aan de kust (zie grote kaart in Bijlage C)

Tijdens de operationele fase van de windparken wordt geen impact (0) verwacht op het marien cultureel erfgoed aangezien dit niet aanwezig is.

5.5.3.2.2 Ontmantelingsfase

Tijdens de ontmantelingsfase van de windparken wordt geen impact (0) verwacht op het aanwezige marien cultureel erfgoed aangezien dit niet aanwezig is.

5.5.3.2.3 WEC's

Analoog met de windturbines worden er tijdens de constructie, operatienele fase en ontmanteling van de WEC's geen impacten (0) verwacht op het cultureel erfgoed.

5.5.3.2.4 Bekabeling

Zoals besproken in MER BOG (IMDC, 2013d) zal de aanleg van de exportkabel geen direct of indirect effect (0) hebben op het cultureel erfgoed langsheen de kustlijn. In geval van een exportkabel naar de kust (fall-back scenario optie C), zal deze aansluiten op het nieuw te bouwen hoogspanningsstation Stevin, dat in het actueel voorliggende ontwerp gepland is op het militair domein ten oosten en westen van de N31 en in het noorden begrensd door de kustweg. De exportkabel zal op het strand in een sleuf verbonden worden met de landkabel die met een gestuurde boring onder de duinen door gelegd wordt. De landschappelijke waarde van de ankerplaats “de Fonteintjes” zal dus geen invloed ondervinden van de onshore aanleg van de exportkabel.

De aanleg van de verbindingskabels van de respectievelijke OHVS’en naar de Alpha-installatie op de Lodewijkbank of de exportkabels van de windparken naar de kust kan echter wel impact hebben op het maritiem cultureel erfgoed, gezien er langsheen deze kabeltracés (zie § 4.2) meerdere (gekende) scheepswrakken aanwezig zijn (Figuur 5-114).

Net ten zuiden van het concessiegebied van Northwester 2 is een wrak van een onbekend schip gelegen (51°40,371’ N, 2°43,699’ O, WGS84). Het wrak ligt echter op een voldoende grote afstand van de kabelcorridors van Mermaid en Northwester 2, waardoor er geen effecten worden verwacht op het cultureel erfgoed bij de inplanting van de bekabeling. Langsheen de route van het voorziene fall-back tracé naar land (optie C) liggen vier wrakken ter hoogte van de ‘Wandelaar’. Voor een gedetailleerde bespreking van deze wrakken wordt verwezen naar het MER BOG (IMDC, 2013d). Bij de definitieve inplanting van de kabeltracés en de verdere technische detaillering van deze kabels worden deze scheepswrakken maximaal vermeden en wordt het effect op het maritiem cultureel erfgoed tot een minimum beperkt (0).

Vanuit het standpunt van het maritiem archeologisch erfgoed gaat de voorkeur uit naar een tracé naar Alpha aangezien dit het kortste is en er in de kabelcorridor voor de verbindingskabels enerzijds en in het voorbehouden gebied waarin Alpha zich zal situeren anderzijds geen gekende wrakken liggen.

De voorgestelde exportkabeltracés tussen de Mermaid en Northwester 2 windparken en Zeebrugge doorsnijden geen tot op heden erkende paleolandschappen of tot nu toe gekende archeologisch interessante kustnabije gebieden.

Fossiele zoogdierresten komen voor rondom de Thorntonbank. De precieze locatie ervan vormt echter een leemte in de kennis. Bijgevolg is het effect van het kabelleggen (fall-back scenario optie C) op archeologische resten niet-significant. Doch mogelijke latere ontdekkingen zullen afgehandeld worden volgens een protocol voor melding van archeologische toevalsvondsten op zee dat momenteel wordt uitgewerkt in IWT project SEARCH en in de wet betreffende onder water cultureel erfgoed van 04/04/2014 (zie § 5.5.3.2.1).

5.5.3.2.5 Besluit bespreking en beoordeling van de effecten op het cultureel erfgoed

Tabel 5-93 en Tabel 5-94 geven een samenvatting weer van de effecten op het cultureel erfgoed tijdens de volledige levenscyclus van de diverse alternatieven en de basisconfiguratie voor respectievelijk Mermaid en Northwester 2. Volgende definities zijn van toepassing: significant positief (++), matig positief (+), gering positief (0/+), (vrijwel) geen effect (0); gering negatief (0/-), matig negatief (-), significant negatief (--).

Tabel 5-93 Overzicht van de effecten van het Mermaid windpark op het cultureel erfgoed (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering)

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	MP	JF	GBF	MP	JF	JF	GBF	JF	GBF
Constructiefase									
Effect op cultureel erfgoed langsheen de kust	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effect op scheepswrakken en paleolandschappen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operationele fase									
Effect op cultureel erfgoed langsheen de kust	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effect op scheepswrakken en paleolandschappen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ontmantelingsfase									
Analoog met constructiefase	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WEC's									
Effecten op scheepswrakken en paleolandschappen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bekabeling									
Stijging scheepvaartverkeer	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 5-94 Overzicht van de effecten van het Northwester 2 windpark op het cultureel erfgoed (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering)

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	MP	JF	GBF	MP	JF	JF	GBF	JF	GBF
Constructiefase									
Effect op cultureel erfgoed langsheen de kust	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effect op scheepswrakken en paleolandschappen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operationele fase									
Effect op cultureel erfgoed langsheen de kust	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effect op scheepswrakken en paleolandschappen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ontmantelingsfase									
Analoog met constructiefase	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Configuratie	Basis			1		2		3	
Funderingstype	MP	JF	GBF	MP	JF	JF	GBF	JF	GBF
Bekabeling									
Effect op cultureel erfgoed langsheen de kust	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effect op scheepswrakken en paleolandschappen	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.5.4 Leemten in de kennis

5.5.4.1 Zeezicht

Onderzoek naar de zichtbaarheid en appreciatie van WEC's is nog niet gebeurd. Bovendien is er nog geen duidelijkheid over de uiteindelijke afmetingen van de WEC's aangezien deze technologie volop in ontwikkeling is. Toch kan hier – op basis van de hier beschouwde systeemalternatieven – a priori gesteld worden dat de dimensies van WEC-systemen significant kleiner zijn dan bij de windturbines.

5.5.4.2 Cultureel erfgoed

Niet alle wrakken en andere grote objecten die voor technische moeilijkheden kunnen zorgen bij de installatie van de windturbines of voor de aanleg van de kabels zijn momenteel reeds gekend. Daarom is het aangewezen om vóór de werken een screening van de funderingslocatie en het tracé waar de kabels zullen gelegd worden, uit te voeren.

Ook de exacte locatie van fossiele zoogdierresten in de buurt van de Thorntonbank is nog niet gekend en evenmin bestaat er een officiële aanduiding van erkende paleolandschappen of archeologisch interessante kustnabije gebieden.

5.5.5 Milderende maatregelen

5.5.5.1 Zeezicht

Gezien de verwaarloosbare impact van de turbines en de WEC's op het zeezicht (ruim voldoende ver uit de kust gelegen) worden geen milderende maatregelen voorgesteld. De windturbines in deze meest noordelijke concessiezones vallen volledige buiten het zichtbare bereik vanaf de kustlijn. Vanuit het oogpunt van een minimale visuele hinder gaat de voorkeur uit naar een kleurgebruik voor de windturbines van mat grijs. Aangezien kleurverschillen vanaf de kust, gezien de afstand niet meer relevant onderscheidbaar zijn, is dit aspect vooral van belang voor waarnemingen van op boten op kortere afstand. Obstakellichten op het vaste generatorgedeelte genieten de voorkeur boven lichten op de draaiende rotorbladen.

5.5.5.2 Cultureel erfgoed

Als algemene maatregel geldt dat bij het aanleggen van het windpark en het kabeltracé de wrakken best vermeden worden en indien nodig de locaties van turbines of zeekabels aangepast worden om hieraan te voldoen.

Voor de alternatieve tracés naar land zal een grondige screening van de bodem nodig zijn langsheen het vooropgestelde kabeltracé. In ieder geval moeten de aanvragers voor de eigenlijke bouw een multibeam of side-scan sonar survey (of minstens gelijkwaardige techniek) over de concessiegebieden en over de kabeltracés uitvoeren. Anomalieën met archeologisch potentieel moeten door minstens twee side-scan lijnen in beeld gebracht worden, overlangs en dwars door de centrale as van de anomalie. Meer gedetailleerde technische richtlijnen naar uitvoering van geofysische metingen worden uitgewerkt in het IWT project SEARCH (www.se-arc.be - pers. comm. Tine Missiaen, januari 2014). De BMM en het VIOE (maritieme archeologie) moeten uitgenodigd worden om aanwezig te kunnen zijn tijdens deze survey. In afspraak kunnen eventueel ook aanvullend, andere observatietechnieken worden aangewend, bvb. magnetometrie en sub-bottom metingen aangevuld met sedimentstaalnames. Alle obstakels die op de zeebodem gevonden worden, moeten geplot worden. Op basis van de survey worden locaties met een mogelijk potentieel aan onroerende erfgoedwaarden bepaald. Deze kunnen op basis van een duikonderzoek verder worden onderzocht en zo mogelijk “vrijgegeven”. Op deze manier kan het onnodig omleggen van de kabeltracés worden vermeden.

Indien ter hoogte van de concessiegebieden van Mermaid of Northwester 2, of langsheen de gekozen kabeltracés een wrak of andere archeologische vondst wordt ‘ontdekt’, dienen de bevoegde autoriteiten (Agentschap Onroerend Erfgoed) te worden ingelicht alvorens over te gaan tot eventuele verwijdering (indien vermijding niet mogelijk blijkt). Een protocol voor melding van archeologische toevalsvondsten wordt uitgewerkt in het IWT project SEARCH en is vastgelegd in de wet betreffende bescherming van het cultureel erfgoed onder water (Wet van 04/04/2014) (zie § 5.5.3.2.1).

5.5.6 Monitoring

In Bijlage E van de recent gepubliceerde milieuvergunning voor het SeaStar-windpark wordt – als onderdeel van het vooropgestelde monitoringprogramma – een opvolgstudie door middel van een belevingsonderzoek op basis van in situ waarnemingen vooropgesteld als expliciet onderdeel van het meetprogramma. Deze opvolgstudie is vandaag gepland in de zomer volgend op de constructie van de eerste windturbines in Norther. Dit zou een realistischer beeld van de belevingswaarde geven dan de eerdere fotosimulaties. Daarenboven zal de aanvaardbaarheid van de situatie waarbij de volledige windturbinezone volgebouwd zal zijn verder onderzoct worden met behulp van nieuwe simulaties. Met deze opvolgstudie kan bovendien nagegaan worden of de beleving van offshore windparken in exploitatie in de tijd wijzigt door gewenningsverschijnselen of door wijzigende referentiekaders bij respondenten.

Gelet op het feit dat Mermaid en Northwester 2 niet zichtbaar zijn vanaf de kust is een verdere monitoring onder de vorm van een enquêtering, dan deze hierboven beschreven voor SeaStar, niet nodig in het kader van deze projecten.

5.6 INTERACTIE MET ANDERE MENSELIJKE ACTIVITEITEN

In de Belgische mariene gebieden omvatten de menselijke activiteiten vooral economische activiteiten. Verschillende van deze activiteiten maken gebruik van speciale zones die hiervoor zijn afgebakend of bepaald, zoals visserij, maricultuur, scheepvaart, zand- en grindontginning, baggeren en storten van baggerspecie, windenergie, militair gebruik, gaspijpleidingen en telecommunicatiekabels, toerisme en recreatie, en wetenschappelijk onderzoek. Een algemeen overzicht van het BDNZ waarin verschillende gebruikers actief zijn, wordt gegeven in kaart in Bijlage C.1.

5.6.1 Methodologie

Mogelijke overlap met andere gebruikers is ter hoogte van de concessiegebieden en langsheen de kabeltracés. De concessiegebieden situeren zich volledig binnen de zone voor de bouw en exploitaties van installaties voor de productie van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen (KB 17/05/2004, gewijzigd bij KB 03/02/2011). De wetgever heeft met dit KB een concrete invulling gegeven aan de beleidsdoelstellingen inzake de ontwikkeling van groene energie. Eveneens is bepaald dat deze activiteit voorrang geniet op de andere activiteiten die zouden kunnen plaatsvinden in het gebied. Wat betreft het kabeltracé optie C (fall-back scenario) is een aanlanding te Zeebrugge voorzien. Daarbij worden de Speciale Beschermingszone te Zeebrugge (SBZ-V3) en de scheepvaartroute ‘Het Scheur’ gekruist.

In volgende paragrafen zal de (socio-economische) impact van de Mermaid en Northwester 2 parken op deze andere menselijke activiteiten geanalyseerd worden. De beschreven effecten zijn geldig voor alle configuratiealternatieven voor beide parken. De potentiële interactie wordt eerst en vooral bepaald door geografische factoren, namelijk activiteiten die op dezelfde locatie plaatsvinden of zodanig dicht bij elkaar dat de ene activiteit hinder ondervindt van de andere activiteit.

In tegenstelling tot wat aan land gebruikelijk is, bestonden er op het BDNZ lang geen gebiedsdekkende plannen of voorschriften qua ruimtelijke ordening. De wet van 20 juli 2012 wijzigde de wet van 20 januari 1999 ter bescherming van het mariene milieu. Concreet werden aan de wet de bepalingen bijgevoegd die het mogelijk maken om een marien ruimtelijk plan (MRP) te kunnen invoeren in de Belgische zeegebieden. In maart 2014 verscheen in het KB van 20/03/2014 het MRP. Het MRP voorziet bepaalde zones voor specifieke activiteiten zodat er meer duidelijkheid en zekerheid komt welke activiteit waar op zee is toegelaten en in welke gebieden multi-functionaliteit mogelijk is. Binnen het MRP is dan ook de zone voor de bouw en exploitaties van installaties voor de productie van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen (windparken) bevestigd als afgebakend en gereserveerd. De gedefinieerde zones en de eraan gelinkte activiteiten binnen het MRP vormen dan ook het referentiekader bij uitstek om de relevante menselijke activiteiten te toetsen.

5.6.2 Referentiesituatie en autonome ontwikkeling

5.6.2.1 Visserij

5.6.2.1.1 Belgische deel van de Noordzee

Visserijgronden

De Belgische kustwateren zijn de habitat van volgroeide demersale vissoorten zoals schol (*Pleuronectes platessa*), schar (*Limanda limanda*), tong (*Solea solea*), kabeljauw (*Gadus morhua*), wijting (*Merlangius merlangus*) en de pelagische soort haring (*Clupea harengus*). Anders dan het jonge visbestand, dat een meer terreingebonden spreiding vertoont, verplaatsen de volwassen vissen zich gedurende het hele jaar, afhankelijk van het paai- of voedingsgedrag. Dit betekent dat deze volgroeide vissen minder duidelijk in bepaalde zones en specifieke periodes aan de Belgische kust verblijven en dat een gemiddelde, algemene spreidingskaart weinig zin heeft.

De belangrijkste aangevoerde soorten zijn demersale vissoorten met daarin vooral tong, rog en schol (Tessens & Velghe, 2013). De garnaalaanvoer is in 2012 net zoals in 2011 meer dan gehalveerd t.o.v. 2010. De hoeveelheid aangelande inktvissen werden dan weer verdubbeld ten opzichte van 2011. De vangst van kabeljauw, schar en wijting is minder belangrijk, hoewel de vangst van kabeljauw in 2012 met 40% is gestegen ten opzichte van 2011. Het grootste tongbestand in Belgische kustwateren wordt aangetroffen tijdens het paaiseizoen (van maart tot mei) en bevindt zich voornamelijk in het kustgebied (< 10 nm). Tongvangst is ook opgetekend in verder van de kust gelegen gebieden (12-25 nm) op migratieroutes naar en van de paaiplaats. Het belangrijkste seizoen voor het vangen van schol is geconcentreerd van december tot februari wat overeenkomt met het paaiseizoen. Uit het algemeen migratiepatroon blijkt dat het bestand zich na het paaien vanuit het zuidelijk deel van de Noordzee naar het noorden verplaatst. Wijting vindt men in de Belgische kustwateren voornamelijk tussen oktober en april. Zoals bij kabeljauw is er in de winter een zuidelijke migratie op basis van de visconcentratie (paaiseizoen), gevolgd door een verplaatsing naar het noorden in het voorjaar (voedingsmigratie).

De intensiteit van de visserij richt zich meer op de geulen tussen de zandbanken dan op de zandbanken zelf. Garnaalvisserij aan de ander kant zal zich dan weer eerder op de zandbanken oriënteren. Deze vindt voornamelijk plaats dichter bij de kust.

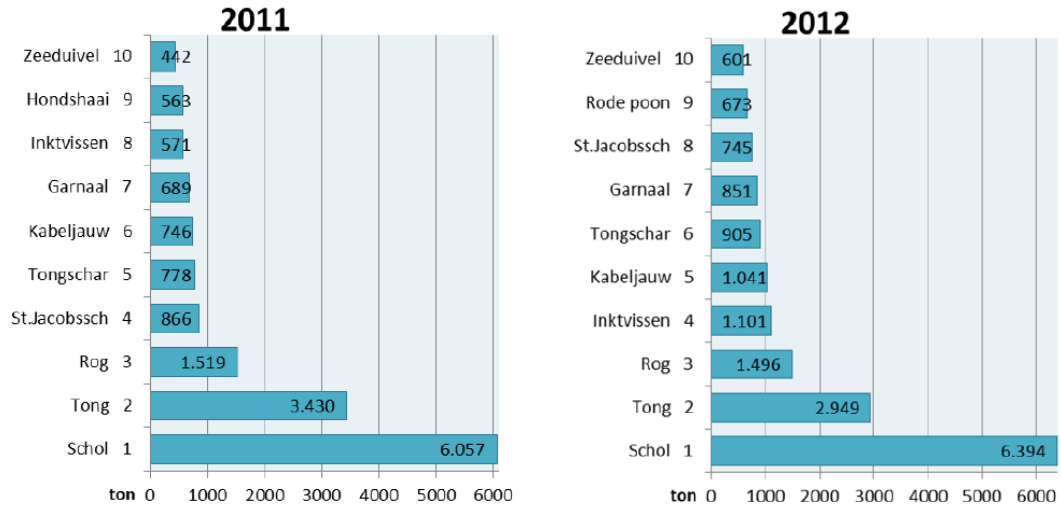
Socio-economische aspecten

De Belgische visserijsector is de kleinste van de Europese Unie (EU). Het Belgische beleid ten aanzien van de visserijsector wordt in grote mate gestuurd door het Europese Gemeenschappelijke Visserijbeleid (GVB). Ondermeer de toegang tot de visgronden en de omvang van de vangsten wordt beperkt via het GVB.

In 2012 bestond de Belgische zeevisserijvloot uit 83 vissersvaartuigen met een totaal motorvermogen van 47.554 kW (-4% t.o.v. 2010) en een tonnage van 15.326 GT (-3,2% t.o.v. 2011). Deze vloot kan opgedeeld worden in het kleine vlootsegment (KVS) (< 221 kW: 43 vaartuigen) en het grote vlootsegment (GVS) (> 221 kW: 38 vaartuigen). Binnen het GVS (kW > 221) zijn de grote boomkorren (van > 662 kW) veruit de belangrijkste. De aanvoer van deze klasse vertegenwoordigt bijna 3/4 van de totale Belgische aanvoer in 2012 (Tessens & Velghe, 2013). Het KVS bestaat uit vaartuigen die meestal binnen de 12-mijlszone vissen.

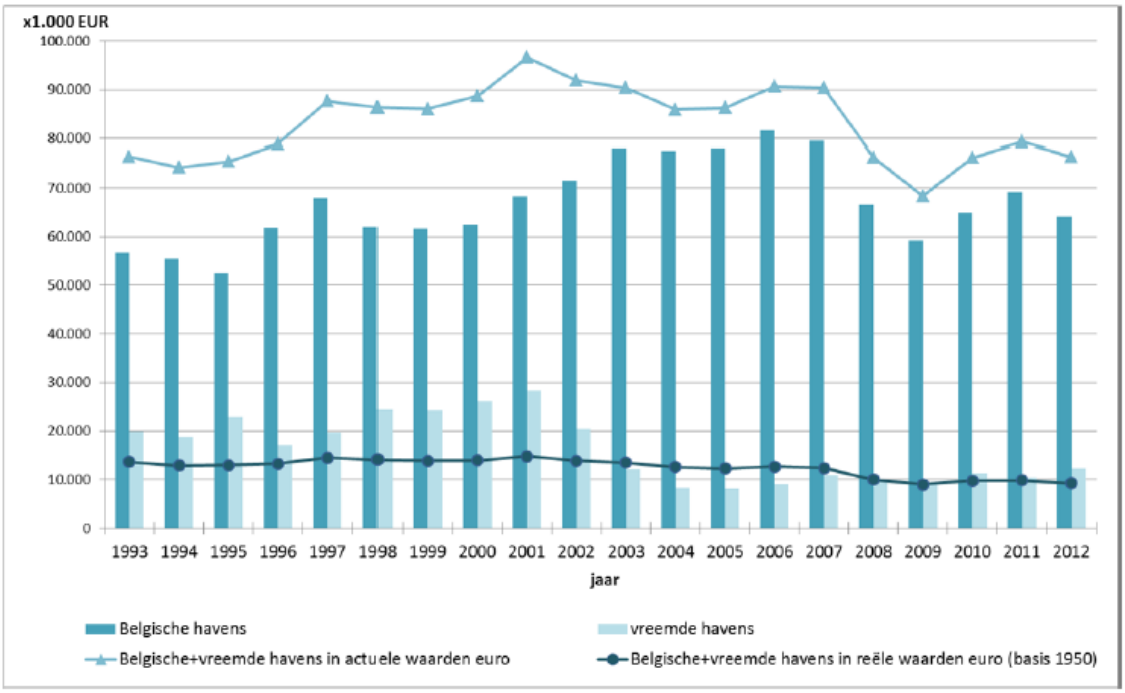
Socio-economisch gezien is het BDNZ voor de Belgische zeevisserij eerder van gering belang. Bijna 65% van de Belgische visaanvoer is afkomstig uit de centrale en zuidelijke Noordzee. Daarnaast zijn de oostelijke Kanaalzone, het Bristolkanaal en het zuidoostelijke gedeelte van de Ierse zee de belangrijkste visgronden (Adriansens, 2009). Het zijn de grotere vaartuigen (GVS motorvermogen > 221 kW) die deze verder afgelegen visgronden bezoeken. Het KVS (en de kustvisserij in het bijzonder) is echter wel voor zijn vangsten en inkomsten volledig afhankelijk van het BDNZ.

Sinds begin de jaren '90 daalt de totale aanvoer door Belgische vissersvaartuigen nagenoeg onafgebroken en bedraagt nu nog ongeveer de helft van 20 jaar geleden. In 2012 steeg de aanvoer licht in eigen havens tot 17.558 ton t.o.v. 16.905 ton in 2011, voor een totale waarde van € 64,1 miljoen t.o.v. € 69 miljoen in 2011 (Tessens & Velghe, 2013). In 2007 bedroeg de totale besomming nog ongeveer € 80 miljoen. Gezien de meerderheid van de Belgische vloot de boomkor gebruikt, zijn de voornaamste soorten die de Belgische zeevisserij vangt demersale vissen. De top 10 van aangelande soorten voor 2012 (Figuur 5-115) toont aan dat schol (6.394 ton) en tong (2.949 ton) de twee belangrijkste soorten zijn, gevolgd door rog (1.496 ton) en inktvissen (1.101 ton).



Figuur 5-115: Top 10 van aangelande soorten door de Belgische vloot in 2011 en 2012 (Tessens & Velghe, 2013)

Na het dieptepunt in 2009, is de besomming in 2012 (-4%) opnieuw gedaald tot het niveau van 2010, zowat het gemiddelde besommingsniveau uit de laatste 5 jaar (Figuur 5-116). De afname in Belgische havens was groter dan de toename in vreemde havens. Ook in reële waarden is er een achteruitgang, 2009-2012 blijven het laagst in de tijdsreeks en zijn tekenend voor de moeilijkheden in de visserijsector. De algemene gemiddelde prijs van de visserijproducten in Belgische havens daalde in 2012 van 4,09 €/kg tot 3,65 €/kg (-11%). In vreemde havens daalde de gemiddelde prijs tot 2,81 €/kg (-12%). Gemiddeld over 'alle' havens daalde de visprijs tot 3,49 €/kg (-12%).



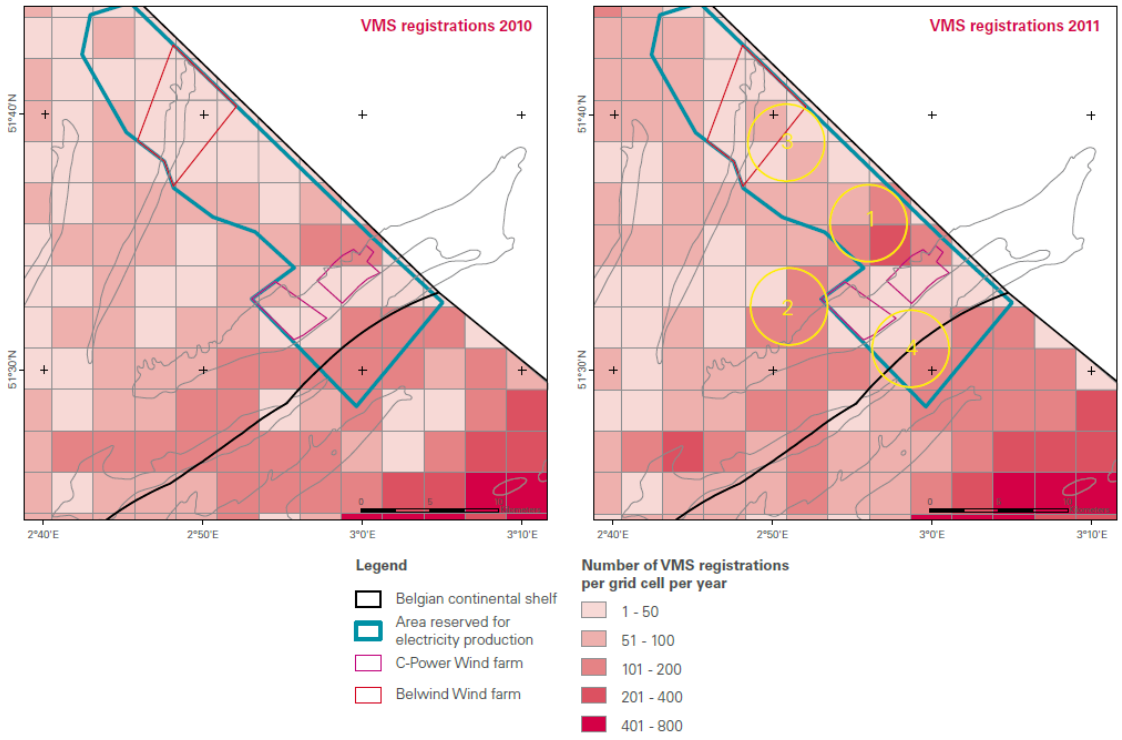
Figuur 5-116 Evolutie jaarlijkse omzet in de Belgische visserij (Tessens & Velghe, 2013)

De bruto toegevoegde waarde van de visserijsector is zeer laag in vergelijking met het bruto binnenlands product, slechts 0,04%, maar is van groot belang op regionale schaal (Tessens & Velghe, 2010). De visserijsector in België telde in 2012 439 erkende zeevissers terwijl dat er in 1954 nog 1833 waren. Daarenboven werkten in 2012 ongeveer nog eens 1.040 mensen in de visverwerkende industrie en 5.000 personen in aanverwante sectoren (Roegiers *et al*., 2013).

5.6.2.1.2 Projectgebied

In 2012 werden de resultaten van het project Lecofish gepubliceerd (Maes *et al*., 2012). Het doel van dit project was het verzamelen van zowel ecosysteem gerelateerde data, als historische literatuur en data van professionele en sportvissers in het BDNZ door middel van interviews. Op deze manier werden met behulp van de lokale kennis kaarten opgemaakt met de ruimtelijke en seizoenale distributie van visserijactiviteiten en soorten. Uit de Lecofish kaarten blijkt dat de projectgebieden van Mermaid en Northwester 2 voor geen enkele van de onderzochte soorten van belang zijn (kabeljauw, tong, zeebaars, paling, schol, haring, garnaal, kokerwormen, zeester, krabben en kreeften, zeezoogdieren).

Puur wetenschappelijke gegevens met accurate locatie-specifieke data over de visserijactiviteiten op het BDNZ, zijn momenteel nog niet beschikbaar. Pas vanaf 2015 zal AIS (Automatic Identification System) verplicht zijn op alle vissersschepen (pers. comm. kapt. Réjane Gyssens, MRCC maart 2012), waardoor een duidelijke track-visualisatie van de visserijvaart mee opgenomen kan worden in het algemene beeld van de scheepvaart in het gebied. VMS (Vessel Monitoring System) data van de periode 2006-2011 is wel beschikbaar gemaakt door het Departement Landbouw en Visserij. In Vandendriessche *et al*. (2013a) werd VMS data van commerciële vissers en visuele observaties van sportvissers tijdens de vogelmonitoring gebruikt om densiteit kaarten te produceren van het BDNZ (Figuur 5-117). Uit deze data is echter niet af te leiden of de schepen ook effectief aan het vissen zijn, enkel hun aanwezigheid. Het aantal VMS registraties neemt af tussen de kust en de offshore gebieden.



Figuur 5-117 Weergave van het aantal VMS registraties per grid cel (3 km²) in 2010-2011 voor schepen varend onder de Belgische, Nederlandse en Britse vlag. De gele cirkels geven gebieden weer met een toename of daling in het aantal VMS registraties (Vandendriessche et al., 2013a)

5.6.2.1.3 Autonome ontwikkeling

Zowel op internationale als nationale schaal heeft de visserijsector te kampen met socio-economische problemen door enerzijds een stelselmatige afname van de bestaande biomassa in de hogere trofische niveaus van het Noord-Atlantische gebied sinds 1950, en anderzijds een stijgende visintensiteit tussen 1950-1975. Onderzoekers zijn tot de conclusie gekomen dat de huidige visexploitatie niet kan aanhouden en dat het hoger trofische niveau van vissen binnen enkele decennia volledig verdwenen zal zijn in het Noord-Atlantische gebied (Dickey *et al.*, 2010). Dit komt ook naar voren uit het feit dat het bestand van bijna alle soorten gerangschikt wordt als 'buiten de veilige biologische grenzen'.

Deze trend loopt grotendeels parallel met de Belgische visserij. Een verhoogde aanvoer werd alleen waargenomen tussen 1950 en 1955, waarna een stelselmatige daling in de aanvoer en vlootomvang werd opgetekend. Het aantal schepen bleef vrij constant tussen 1980 en 1990, maar begon vanaf 1993 af te nemen. De economische situatie in de Vlaamse zeevisserij baart de betrokkenen grote zorgen als gevolg van een jaarlijkse afnemende rendabiliteit. Een algemene achteruitgang in de winstcijfers is vast te stellen ten gevolge van een sterke stijging van de kosten ten opzichte van de omzet (besomming).

Deze kostentoename is grotendeels te wijten aan een stijgende gasolieprijs vanaf 1990. Deze toename was vooral merkbaar de laatste jaren. In 2003 betaalden de scheepseigenaars nog 0,21 €/l, in 2005 bedroeg dit al 0,35 €/l. Olieprijzen waren het hoogst midden 2008 (ongeveer 0,78 €/l). Sinds een onverwachte daling in 2009 (0,37 €/l) zijn de prijzen echter weer aan het

stijgen tot 0,58 €/l in 2010 en 0,71 €/l in 2013 (Vanderperren & Polet, 2009; Tessens & Velghe, 2012, http://statbel.fgov.be/).

Ontwikkelingen in het Europese Visserijbeleid laten vermoeden dat verder quotabeperkingen en flankerende maatregelen (zoals technische maatregelen en beperkingen in vaardagen) alleen maar een versterking van de hierboven geschetste trends tot gevolg zullen hebben op korte en middellange termijn.

5.6.2.2 Maricultuur

Door het afsluiten van de windparken voor de visserij ontstaat er een verlies aan visgronden. Echter, deze visgronden zijn niet druk bevaren door onze visserijvloot. Om het verlies van deze visgronden te compenseren kan men onder strikte voorwaarden toelaten om aan alternatieve visserijen of maricultuur (aquacultuur op zee) te doen. Naast de specifieke natuurlijke condities legt het ruimtegebruik van het BDNZ beperkingen op aan het ruimtebeslag van aquacultuur. Gezien maricultuur beroep doet op vastliggende kweekinfrastructuren, zijn dergelijke constructies niet gewenst in vaarroutes, bagger- en zandwinningsgebieden en visgronden. Omdat de situatie rond windparken duidelijk verschilt van de gangbare situatie in de Noordzee bieden deze ontwikkelingen mogelijke kansen voor nieuwe vormen van aquacultuur, waardoor de onbenutte vrije ruimte tussen de windturbines optimaal kan benut worden voor een aangepaste productie van visserijproducten (Verhaeghe *et al.*, 2011). In het recent gepubliceerde marien ruimtelijk plan van maart 2014 zijn expliciet twee zones afgebakend voor aquacultuur binnen de afgebakende zone voor windparken, nl. in de Belwind en C-Power windparken.

Op 7 oktober 2005 werd een vergunning toegekend aan de AG Haven Oostende voor de productie van tweekleppige weekdieren in vier zones van de Noordzee, waaronder de volledige afgebakende windconcessiezone (KB 17/05/2004). Deze vergunning werd afgeleverd voor een periode van 20 jaar en omvat o.a. de gebruiksvoorwaarde dat de vergunninghouder over een toelating van de (windpark) concessiehouder moet beschikken alvorens de activiteit in diens zone te kunnen beoefenen. AG Haven Oostende heeft omwille van technische en economische redenen zijn activiteiten al enige tijd stilgelegd en op 12 oktober 2012 werd hun vergunning geschorst tot 31/10/2014 (BMM, 2013).

In het marien ruimtelijk plan (KB 20/03/2014) is er momenteel geen overlap voorzien tussen de Mermaid en Northwester 2 concessies en de zone bestemd voor geïntegreerde mariene aquacultuur. In de toekomst bestaan dus nog bijkomende mogelijkheden voor maricultuur binnen offshore windparken (zie bv. Verhaeghe *et al.* 2011), maar net zoals voor visserij binnen de zone van een windpark dienen vooraf een aantal knelpunten weggewerkt te worden (o.a. interactie-afstemming met golfenergie-infrastructuur en -verankering).

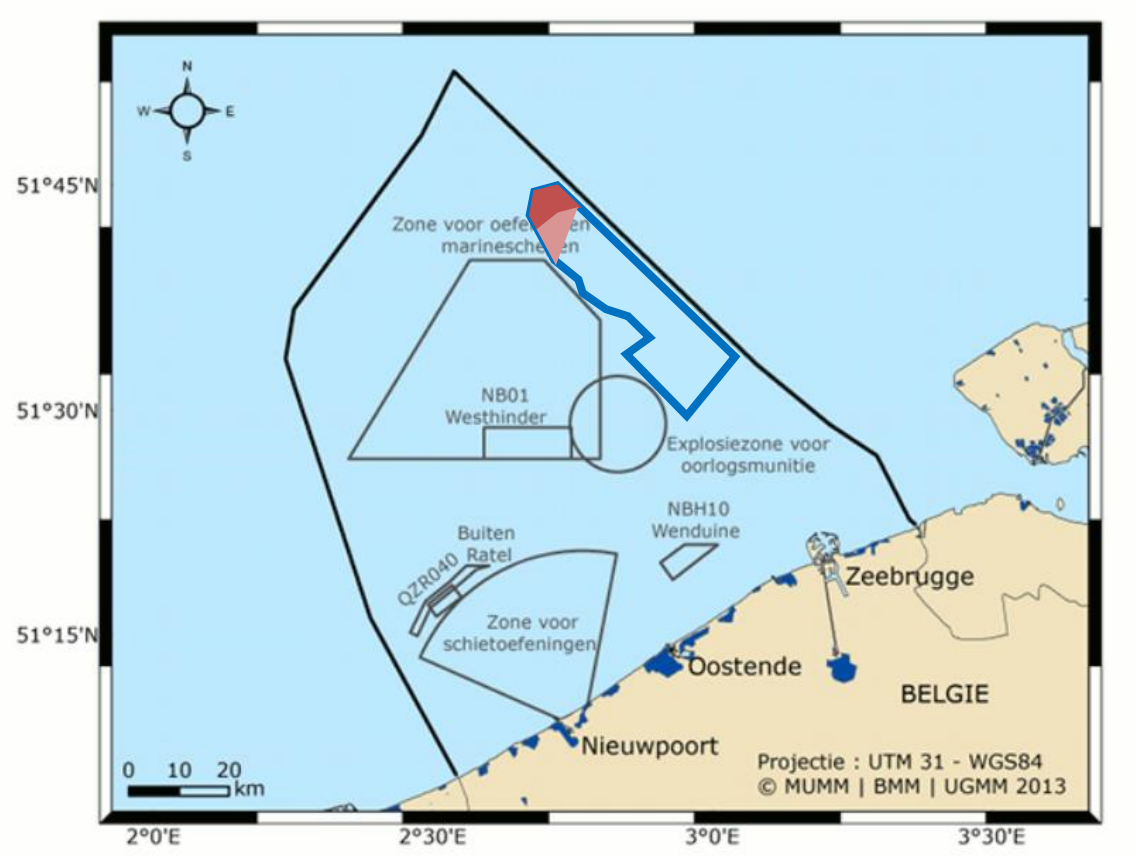
5.6.2.3 Militaire activiteiten

In het BDNZ worden op regelmatige tijdstippen militaire activiteiten en oefeningen gehouden (Figuur 5-118). De militaire activiteiten bestaan uit:

- Schietoefeningen in de omgeving van Nieuwpoort-Lombardsijde die overdag van op het strand richting zee worden uitgevoerd;
- Zone voor oefeningen met marine schepen;
- Detonatie-oefeningen met oefenmijnen en gevonden mijnen in de omgeving van de Thornthonbank en de Gootebank;

- Oefeningen in het leggen, zoeken en vegen van mijnen in de buurt van de Westhinderbank en de Wenduinebank;
- Uitgebreide mijnoefeningen in het kader van de NAVO in het volledige gebied van het BDNZ

De Mermaid en Northwester 2 windparken liggen volledig buiten de zones met militaire oefeningen.



Figuur 5-118 Militaire activiteiten op het Belgisch deel van de Noordzee (BMM, 03/12/2012)

5.6.2.4 Kabels en pijpleidingen

De locatie van kabels en pijpleidingen is weergegeven op de kaart in Bijlage C.1. Zoals uit deze kaart blijkt, doorkruist geen enkele pijpleiding of kabel Mermaid of Northwester 2. Tussen de 2 parken in loopt wel de actieve telecommunicatiekabel TAT-14, waarvoor, overeenkomstig het KB van 12 maart 2002, de voorgeschreven veiligheidsafstand 250 m bedraagt.

De voorgestelde scenario's voor de kabeltracés zullen verscheidene telecommunicatiekabels en gasleidingen kruisen.

In optie A en B kruisen de vooropgestelde tracés naar de Alpha-installatie op de Lodewijkbank achtereenvolgens vanuit de respectievelijke windparken tot aan de Alpha-installatie:

- de operationele TAT 14 telecommunicatiekabel (enkel vanuit Mermaid)
- de Interconnector gasleiding
- de Franpipe gasleiding
- de niet-operationele Rioja 3 telecommunicatiekabel

- de operationele SEA-ME WE3 seg. 10.4 telecommunicatiekabel

Alle relevante milieueffecten, hun impact en mitigerende maatregelen voor het deel van het kabeltracé vanaf Alpha naar de kust zijn reeds eerder in het milieuvergunningsaanvraagdossier (inclusief MER-MEB studies) van het BOG-project bestudeerd en gerapporteerd (IMDC, 2013d).

5.6.2.5 Zand- en grindontginning

Zeezand wordt aangewend voor drie specifieke gebruiken: in de bouwsector, die ongeveer één tiende van de totale zandproductie van België vertegenwoordigt, voor strandsuppletie om de erosie van de Belgische kust ten gevolge van stromingen, golven, e.d. af te remmen en voor landwinning, die in tegenstelling tot Nederland in België uitzonderlijk wordt uitgevoerd.

Ook zandextractie in het BDNZ kan bijdragen tot cumulatieve effecten. Mariene aggregaatextractie op het BDNZ wordt uitgevoerd door drie partijen:

- Privésector
- De Vlaamse Overheid, Departement Mobiliteit en Openbare werken, Afdeling Maritieme Toegang
- Agentschap Maritieme Dienstverlening en Kust, Afdeling kust.

Tot 2006 werd er ongeveer 1,6 miljoen m³ zand en grind per jaar gewonnen op het BDNZ, de laatste jaren steeg dit tot gemiddeld 2 miljoen m³ per jaar, in 2012 was dit meer dan 3 miljoen m³.

De exploratie en exploitatie van zand en grind wordt geregeld door de wet van 13 juni 1969, zoals gewijzigd door de wet van 20 januari 1999 en de wet van 22 april 1999. Sinds 2004 zijn de concessiezones voor aggregaatextractie gewijzigd volgens het KB 01/09/2004 en het MB 24/12/2010. Er zijn nu vier 'controlezones' (kaart in Bijlage C.1):

- Controlezone 1 bestaat uit twee sectoren: sector 1A op de Thorntonbank en sector 1B op de Goote Bank;
- Controlezone 2 is onderverdeeld in drie sectoren: sectoren 2A en 2B bevinden zich op de Kwintebank en sector 2C op Buiten Ratel en Oostdyck;
- Controlezone 3 met sectoren 3A en 3B is gelegen op een dumplocatie voor gebaggerd materiaal (Sierra Ventana) en kan gezien worden als een soort 'recyclagezone' dicht bij de kust. Met deze controlezone wil men de druk op natuurlijke zandbanken verminderen;
- Exploratiezone 4 is gelegen ter hoogte van de Hinderbanken en bevat vier sectoren: Sector 4A op de Noordhinder, sectoren 4B en 4C op de Oosthinder en sector 4D op de Westhinder.

De projectgebieden en de kabeltracés tot de Alpha-installatie vertonen geen overlap met deze zones voor zand- en grindwinning.

In de nabije toekomst zullen de hoeveelheden zand die ontgonnen worden significant toenemen onder meer voor de realisatie van het Masterplan Kustveiligheid dat o.a. het Geïntegreerd Kustveiligheidsplan (GKVP), het OW-plan Oostende en het Zwinproject omvat (www.kustveiligheid.be). Voorlopige inschattingen geven hierbij aan dat voor de periode 2010-2015 ca. 14 miljoen m³ nodig is (rekening houdend met baggerverliezen) (www.kustveiligheid.be, Resource Analysis, 2010). Jaarlijks zal tot 2050 ongeveer 500.000 m³

nodig zijn voor onderhoud (www.kustveiligheid.be). Vergunningen zijn reeds uitgereikt aan de Vlaamse Overheid, Afdeling Kust, tot 2022.

5.6.2.6 Andere windparken

In december 2008 werd door het Europees Parlement het energie/klimaatpakket goedgekeurd (omgezet in richtlijnen in april 2009; waaronder de Europese richtlijn Hernieuwbare Energiebronnen 2009/28/EG) waarbij de doelstelling voor België wordt opgetrokken van 6% naar 13% hernieuwbare energie tegen 2020.

Om tegemoet te komen aan de Belgische energievoorziening heeft het Kabinet Noordzee in 2003 zijn Masterplan Noordzee gelanceerd waarin ook een wettelijke zone voorzien wordt voor de productie van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen, waaronder windenergie (KB 17/05/2004, gewijzigd bij KB 03/02/2011). Deze zone is gelegen aan de oostelijke zijde van het Belgische deel van de Noordzee en strekt zich uit van ca. 6 km ten zuiden van de Thorntonbank tot ca. 8 km ten noorden van de Blighbank. Binnen dit gebied komen 3 zandbanken voor waarop de eerste windparken ontwikkeld werden: de Thorntonbank, de Lodewijkbank en de Blighbank.

De toegekende concessies zijn hieronder kort beschreven:

- *C-Power NV* heeft de nodige vergunningen om ter hoogte van de Thorntonbank een windpark te bouwen en het gedurende 20 jaar uit te baten. Sinds 2013 is het park volledig operationeel: in 2009 zijn de eerste zes turbines operationeel en in de periode 2011-2013 werden 48 turbines geplaatst. In totaal wordt een oppervlakte van 19,9 km² ingenomen voor een maximum geïnstalleerd vermogen van 325 MW.
- *Belwind* heeft een grootschalig windturbine project (330 MW) op de Blighbank. Het windpark zal bestaan uit 110 turbines van 3 MW. Een domeinconcessie werd verkregen voor een oppervlakte van 35,4 km² (MB 05/06/2007). Momenteel is fase 1 afgewerkt en zijn reeds 55 windturbines op monopiles operationeel.
- *Northwind* bestaat uit 72 turbines van 3 MW (totale oppervlakte: 14,30 km²) op de Lodewijkbank en is gelegen op ca. 38 km van de Belgische kust, met een gezamenlijk geïnstalleerd vermogen van 216 MW. Het park is sinds mei 2014 volledig operationeel.
- *Norther* ontving in januari 2012 de milieuvergunning voor de bouw en exploitatie van hun offshore windpark ten zuidoosten van de Thorntonbank. Het Norther park zou een totaal vermogen van 258 tot 420 MW hebben en is gelegen op 21 kilometer uit de kust. Het park zal een oppervlakte van 44 km² beslaan en is voorzien op 47 tot 86 windturbines.
- Ook *Rentel* kreeg een milieuvergunning voor de bouw en exploitatie van een windpark in het zeegebied tussen de Lodewijkbank en de Thorntonbank. Er komt een windpark van 288 tot 550 MW inclusief een mogelijk transformatorplatform dat 36 tot 78 windturbines zal omvatten.
- *SeaStar* ontving begin 2014 een milieuvergunning voor de bouw en exploitatie van een windpark in de zeegebieden tussen de Lodewijkbank en de Bligh Bank. Het park zal bestaan uit 41 tot 62 turbines met een geïnstalleerd vermogen van 246 tot 540 MW op een oppervlakte van 18,4 km².

5.6.2.7 Wetenschappelijk onderzoek en oceanologische waarnemingen

Ondanks een beperkte kustlijn en de geringe omvang van de Belgische mariene wateren zijn er vandaag in België meer dan 1.000 wetenschappers actief in de mariene wetenschappen

(Vanagt *et al.* 2011). Met de Belgica en de Simon Stevin beschikt België over oceanografische onderzoeksschepen die de wetenschappers in staat stellen om kwalitatief hoogstaand onderzoek uit te voeren. Daarenboven is – rechtstreeks gelinkt aan de bouw en exploitatie van windparken op zee – een expliciet monitoring- en onderzoeksprogramma voorzien onder de coördinatie van BMM. Dit heeft tot gevolg dat het BDNZ één van de meest intensief bestudeerde mariene gebieden ter wereld is.

5.6.3 Effecten

5.6.3.1 Visserij

De belangrijkste potentiële effecten voor visserij zijn het ruimtelijke verlies (visgronden) en de korte en lange termijneffecten tijdens de constructie en exploitatiefase van de windturbines en de WEC's.

5.6.3.1.1 Verlies traditionele visgronden

Het potentieel verlies van toegang tot de traditionele visgronden wordt in het algemeen ervaren als een negatief effect van de ontwikkeling van windturbine projecten op zee (Mackinson *et al.*, 2006). Door de beperking aan visserijgronden zou de competitie in nabij gelegen gebieden kunnen toenemen met mogelijks conflicten tussen de vissers tot gevolg. Een oplossing zou kunnen zijn om alternatieve gebieden te gaan bevissen die verder gelegen zijn. Deze oplossing zou de brandstofkosten nog meer de hoogte injagen en de vistijden beperken waardoor ook de opbrengsten kleiner zouden zijn.

Door Ecolas (2003) werd geschat dat ruwweg 85% van het BDNZ kan bevist worden. In dit percentage zijn de veiligheidszones rond gasleidingen, het munitiestort op de Paardemarkt, de ankerplaats bij de Westhinder, de beloodste navigatiekoers van het Scheur en de reeds vergunde concessiegebieden niet inbegrepen. Daarnaast moeten we rekening houden met het feit dat in bepaalde andere gebieden van het BDNZ zoals de concessiegebieden voor zand en grind, en de militaire gebieden geen algemeen verbod op visserij geldt, maar wel temporele limiteringen voor visserij. Daarenboven zullen ook tijdelijke verstoringen optreden ten gevolge van die activiteiten.

Het verlies aan visgronden kan leiden tot inkomstenverlies en werkloosheid. Wegens gebrek aan specifieke financiële data is een gedetailleerde economische analyse moeilijk haalbaar.

Uitgaande van bovenstaande bevindingen zal de aanleg van de Mermaid en Northwester 2 windparken voor een bijkomend minimaal verlies zorgen aan visgronden (respectievelijk ca. 0,5% en 0,3% van het BDNZ). Gezien de beperkte oppervlaktes (16,26 km² en 15,16 km² inclusief uitbreiding) en het gegeven dat de projectgebieden van beperkt belang zijn voor de visserij, kan dit directe verlies als verwaarloosbaar worden geschat. De impact voor de visserij ten gevolge van het beschreven windpark is dus gering negatief (0/-) en is bovendien veel minder relevant dan het reeds vermelde inkomstenverlies ten gevolge van schommelende brandstofprijzen en de beperkingen opgelegd door het Europese visserijbeleid.

Wanneer de volledige concessiezone voor windparken in gebruik is (240 km²), komt dit neer op ca. 7% van het BDNZ dat wordt afgesloten voor de visserij. Ondanks het groter verlies in vergelijking met de Mermaid en Northwester 2 windparken alleen, kan analoog aan de voorgaande redenering dit directe verlies nog steeds als gering negatief worden geschat. Het

kleine vlootsegment leeft voornamelijk van de vangst binnen de 12-mijlszone, en het concessiegebied overlapt deze zone niet.

5.6.3.1.2 Korte- en langetermijneffecten

Tijdens de constructiefase wordt het heien van de palen (bij keuze monopile/ jacket fundering en bij keuze voor de Wavestar (WEC)) als belangrijkste oorzaak gezien voor veranderingen in het visgedrag, terwijl het plaatsen van funderingen (bij keuze gravitaire fundering) en het leggen van kabels voor sedimentverstoring zal zorgen. Mogelijke effecten tijdens de operationele fase zijn veranderingen in het visgedrag ten gevolge van elektromagnetische velden rond de kabels en de introductie van harde substraten. Voor een bespreking van deze effecten wordt verder verwezen naar het hoofdstuk 'Fauna, flora & biodiversiteit'.

5.6.3.1.3 Opportuniteiten

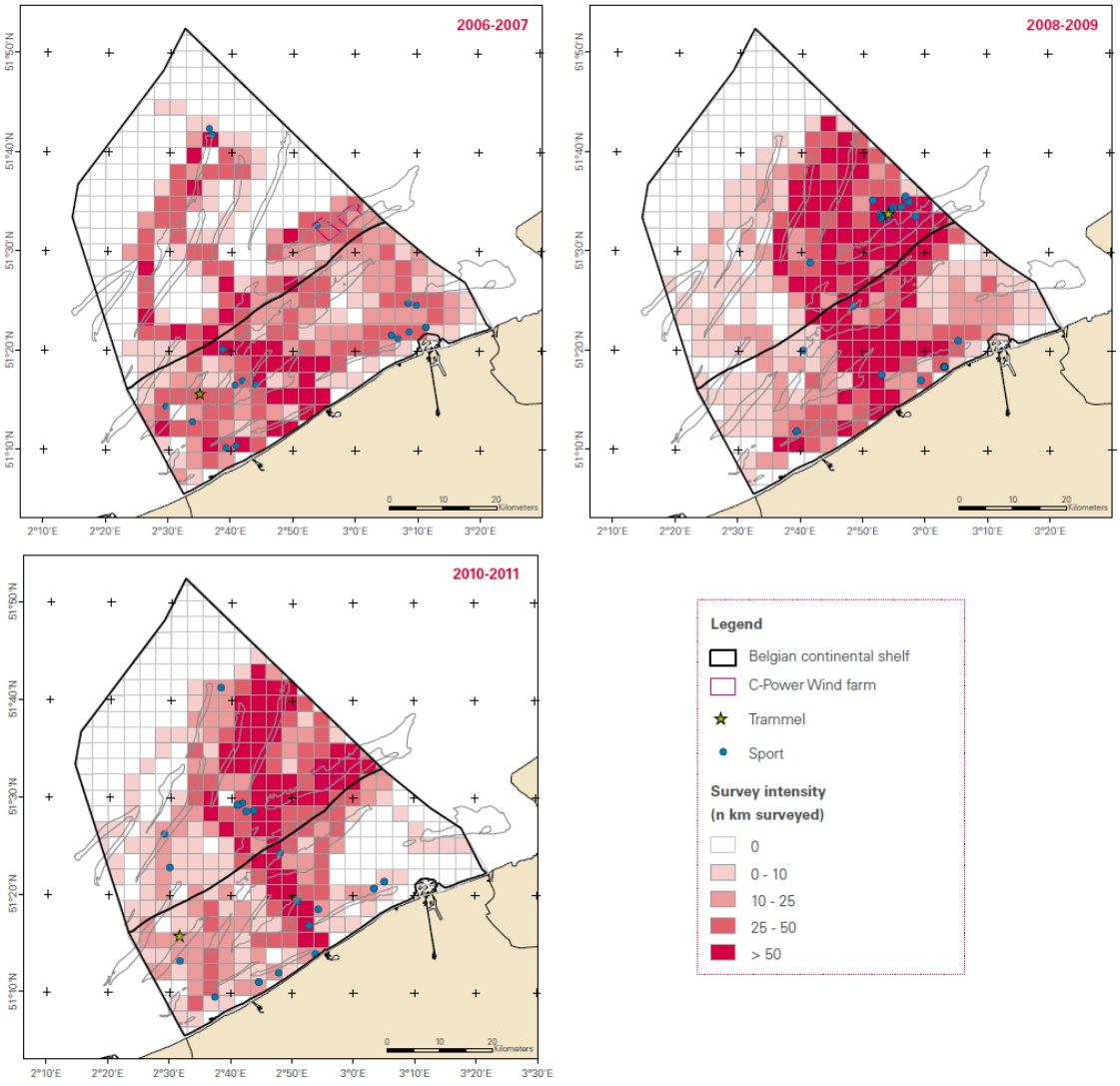
Naast deze negatieve effecten op visserij, biedt de ontwikkeling van de parken ook een opportuniteit, namelijk het ontstaan van kraamkamergebieden en beschermde natuurzones.

Daarnaast zal het afsluiten van een gebied voor de visserij leiden tot het uitblijven van de verstorende invloed van de boomkor die de bodem omwoelt en de organismen wegvangt (Dayton *et al.*, 2002; Lindeboom, 2002). Lindeboom (2005) heeft berekend dat de effecten van de boomkorvisserij het benthos 1.000-100.000 keer zwaarder belasten dan die van (het ruimtebeslag door) de offshore industrie, de zandwinning en de kabels en leidingen, gebruiksfuncties die te vergelijken zijn met de aanleg en de exploitatie van een offshore energiepark.
De directe negatieve invloed van de boomkorvisserij op het BDNZ zal naar verwachting dus hoger zijn dan de negatieve invloed die de funderingen, erosiebescherming en kabels uitoefenen op het mariene leven.

Tenslotte is er het positieve effect van een afgesloten gebied op de visoogst in de omgeving. Wetenschappelijk onderzoek (Roberts *et al.*, 2001) toonde aan dat ook kleine (10-25 km²) mariene reservaten een significant positieve invloed hebben op de visserij in de omgeving. Deze invloed kan leiden tot een grote stijging (46-90%) in de vangsten in de omringende gebieden binnen een betrekkelijk korte periode van vijf jaar. Hoewel de toepasselijkheid van deze gegevens in het bijzondere geval van het BDNZ nog bewezen moet worden, bestaat er een aanzienlijke consensus binnen de wetenschappelijke wereld over het 'spill-over effect' van mariene beschermingsgebieden, dat in een netwerk van mariene reservaten nog intenser is. Dit spill-over effect betekent dat de omvang van en de overvloed aan geëxploiteerde soorten toeneemt in de omringende zones en dat de populaties aangevuld worden via de export van larven (Lopez-Sanz *et al.*, 2011). Het aanvullende effect van de nabijgelegen afgesloten gebieden van de overige windparken en van de introductie van harde substraten kan mogelijk synergetisch werken. Bovenstaande wetenschappelijke kennis wordt zeker verder nauwgezet bemeten en gevalideerd in het uitgebreide monitoringsprogramma bij de windparken in de eerstkomende jaren (BMM).

Resultaten van een analyse van VMS registraties ter hoogte van de bestaande windparken (C-Power en Belwind) geven aan dat er een kleine toename van professionele vissersschepen heeft plaatsgevonden rond de parken (Figuur 5-117) (Vandendriessche *et al*., 2011; 2013a). Aangezien er voorlopig nog geen grote veranderingen zijn waargenomen in de aanwezigheid van demersale vis in de nabijheid van de parken, is de toename van het aantal schepen waarschijnlijk te wijten aan een redistributie effect (Vandendriessche et al., 2013a).

Om veranderingen in de activiteit van sportvissers te bepalen, werden observaties van recreatieve vissersschepen verzameld tijdens de vogelmonitoringscampagnes in de periode 2006-2011 (Figuur 5-119). Uit deze observaties kan afgeleid worden dat er een hogere concentratie aan sportvissers was in de periode 2008-2009, terwijl in 2010-2011 deze link met de windparken is verdwenen. Hiervoor kunnen verschillende redenen bestaan: de parken zijn te ver van de kust gelegen voor een daguitstap, er was minder vis aanwezig dan verwacht, de vissers moeten de veiligheidsafstand respecteren en kunnen bijgevolg niet dicht genoeg bij de turbines komen in vergelijking met wrakken, enz. Het bestaande monitoringsprogramma van de vergunde windparken (BMM) zal hier in de toekomst meer resultaten over kunnen geven.



Figuur 5-119 Observaties van trammelnet visactiviteiten en recreatieve visserij voor de jaren 2006-2007, 2008-2009 en 2010-2011 gebaseerd op schipobservaties tijdens de vogel monitoring. De rode grid cellen (3 km²) geven de intensiteit van de monitoring weer.

5.6.3.1.4 Veiligheid

Tijdens de bouw en de exploitatie van het windpark zal voor de nodige markeringen en signalisaties gezorgd worden, om de veiligheid van de visserij te waarborgen. Tijdens de constructiefase zal er tevens een wachtschip ter plaatse zijn voor het opvolgen en bewaken

van de afgebakende zone. Voor verdere details wordt verwezen naar de discipline 'Risico's en veiligheid' (§ 5.7).

5.6.3.1.5 Besluit bespreking en beoordeling van de effecten op visserij

In het algemeen kan men concluderen dat de impact van het volledig afsluiten van de concessiegebieden voor de visserij waarschijnlijk een minimale invloed zal hebben op de inkomsten of werkgelegenheid in vergelijking met de autonome ontwikkeling, maar dat anderzijds de invloed op het milieu positief (0/+) geschat wordt door een vermindering van de visserijgebonden milieuverstoring.

5.6.3.2 Maricultuur

De Mermaid en Northwester 2 projecten zullen voor een bijkomende introductie van harde substraten zorgen (turbines, funderingen, erosiebescherming, WEC's), naast de hangculturen in het maricultuur projectgebied (die momenteel niet meer actief geëxploiteerd worden). Deze structuren kunnen op hun beurt gekoloniseerd worden door mosselen en op die manier eventueel een invloed hebben op de maricultuur door het bevorderen van kolonisatie.

Deze effecten zijn afhankelijk van de afstand van mogelijke maricultuur initiatieven tot Mermaid en Northwester 2 projecten. Momenteel zijn er geen initiatieven in uitvoering of in de nabije toekomst gepland, waardoor er ook geen conflict bestaat (0).

5.6.3.3 Militaire activiteiten

Daar de domeinconcessies van Mermaid en Northwester 2 zich volledig buiten de militaire gebieden bevindt worden er geen effecten (0) verwacht ten gevolge van de projecten.

5.6.3.4 Kabels en pijpleidingen

Gezien tussen de twee concessiegebieden de vereiste veiligheidszone ten opzichte van de telecommunicatiekabel TAT-14 gerespecteerd wordt, mag aangenomen worden dat er zich geen effecten zullen voordoen op de bestaande kabels- en pijpleidingen ten gevolge van het installeren en exploiteren van de windparken.

De offshore exportkabels en/of de aansluiting via verbindingskabels op de Alpha-installatie zal afhankelijk van het gekozen alternatief een aantal kruisingen dienen te maken met diverse elektriciteitskabels, telecommunicatiekabels en gasleidingen (zie § 5.6.2.4). Er wordt evenwel voorzien dat de nodige technische en operationele maatregelen worden getroffen om beschadiging aan deze kabels of aardgaspijpleidingen te voorkomen (zie ook de technische projectbeschrijving in hoofdstuk 2 en het aanvraagdossier).

De impact op kabels en pijpleidingen wordt daarom als onbestaand beschouwd (0).

5.6.3.5 Zand- en grindontginning

De concessiegebieden liggen op voldoende afstand van de controlezones. Het tracé voor de exportkabels (optie C) naar land lopen langs de oostelijke rand van de 1a ontginningszone. Daar vindt echter weinig extractie plaats en is voornamelijk voorzien als referentiegebied voor windpark activiteiten. Bijgevolg worden er geen conflicten verwacht en kan het effect van de windparken op de zand- en grindontginning als onbestaande (0) beschouwd worden.

5.6.3.6 Andere windparken

Het projectgebied van Northwester 2 bevindt zich naast het reeds goedgekeurde Belwind windpark, op een afstand van 2 x 500 m, of na mogelijke uitbreiding van Northwester 2 1 x 500 m. Gezien de oriëntatie van de windparken Mermaid – Northwester 2 – Belwind ten opzichte van de overheersende windrichting (WZW), kunnen er mogelijk effecten worden verwacht op de windomstandigheden. Hierbij zal vooral Northwester 2 een invloed kunnen hebben op de turbines in het noordelijk deel van het Belwind concessiegebied. De veiligheidsafstand tussen de parken en turbines zal er echter voor zorgen dat de windsnelheid opnieuw voldoende kan toenemen (zie “Lokaal windklimaat” in § 5.2.3.1.2), waardoor de impact op de parken onderling als gering negatief tot verwaarloosbaar beschouwd kunnen worden (0/-).

Voor de beschrijving van de cumulatieve effecten ten gevolge van de ontwikkeling van de reeds vergunde windparken (C-Power + Belwind + Northwind + Norther + Rentel) wordt verwezen naar het hoofdstuk ‘Cumulatieve effecten’.

Het mogelijk effect van de projecten op windparken in Nederland wordt besproken in het hoofdstuk ‘Grensoverschrijdende effecten’.

5.6.3.7 Wetenschappelijk onderzoek en oceanologische waarnemingen

De ontwikkeling van de windparken draagt op verschillende manieren bij tot het wetenschappelijke onderzoek en de oceanologische waarnemingen: enerzijds worden de milieueffecten van deze parken gemonitord (deels door de exploitant, deels door de overheid) en anderzijds dienen de concessiehouders een aantal parameters te meten in hun park en deze over te maken aan de overheid. Al deze gegevens worden opgenomen en verspreid, al dan niet na een embargo-periode, via het Belgian Marine Data Centre (http://www.mumm.ac.be/datacentre/) en via openbare jaarlijkse monitoringsverslagen. Daarenboven is volop de mogelijkheid tot gemeenschappelijk onderzoek tussen de offshore windindustrie en Belgische Universiteiten of andere wetenschappelijke instellingen ontwikkeld en geëxploiteerd (BMM, 2013).

Voor het eerst worden er met de realisering van het Mermaid project ook WEC’s geïnstalleerd. Deze technologie is in vergelijking met windenergie nog niet zo goed gekend en is voortdurend in ontwikkeling. Door dit proefproject in Belgische wateren zal de kennis op vlak van technologie en de mogelijke ecologische gevolgen significant toenemen.

De vergunningshouder dient, mits goedkeuring door het Begeleidingscomité en naleving van veiligheidsvoorwaarden die door het Begeleidingscomité worden voorgesteld, wetenschappelijk onderzoek kosteloos toe te laten binnen de concessiezone. De BMM behoudt het recht om monitoring en wetenschappelijk onderzoek uit te voeren binnen het concessiegebied en op de structuren, op voorwaarde dat de operationele werking en de veiligheid wordt gerespecteerd en dat de houder hiervan voorafgaandelijk in kennis is gebracht (BMM, 2013).

Op basis van bovenstaande argumenten kan men stellen dat de aanwezigheid van een offshore windpark en WEC’s een opportuniteit biedt voor wetenschappelijk onderzoek en oceanologische waarnemingen, maar dat er ook een aantal beperkingen zijn bv. tijdens de constructiefase. Globaal gezien kan er gesteld worden dat de parken een matig positief effect hebben op wetenschappelijk onderzoek en oceanologische waarnemingen (+).

5.6.3.8 Scheep- en luchtvaart

De constructie en exploitatie van de offshore windparken kunnen een significant effect hebben op de scheepvaart. Voornamelijk Mermaid, dat zich op het uiteinde van de Belgische concessiezone bevindt, zal een hoger risico ondervinden op vlak van veiligheid aangezien een hogere concentratie schepen rond het park zal varen. (MARIN-IMDC, 2014). De risico's die hierdoor ontstaan worden in detail besproken in het hoofdstuk 'Cumulatieve effecten' (§ 6.3.8.1). Op het BDNZ wordt een afname van het aantal afgelegde scheepsmijlen verwacht (ten opzichte van de situatie met de windparken Belwind, SeaStar, Northwind, Rentel, C-Power en Norther) als gevolg van de meer gestroomlijnde routes omheen Mermaid en Northwester 2 (MARIN-IMDC, 2014). Terwijl in de omliggende Noordzeegebieden van NL, UK en FR het aantal afgelegde scheepsmijlen en bijhorende uitstoot licht zal toenemen (minder dan 2% ten opzicht van de situatie zonder Mermaid en Northwester 2). Er wordt geen effect verwacht op de luchtvaart, mits de nodige veiligheidsmaatregelen omtrent verlichting worden gerespecteerd zoals opgegeven door de bevoegde instanties (§ 2.7.1.2.10) (BMM, 2013).

5.6.3.9 Toerisme en recreatie

De realisatie van de Mermaid en Northwester 2 windparken omvat het vervolledigen naar het noorden toe van de concessiegebieden waardoor alle scheepvaart (inclusief recreatieve scheepvaart) expliciet verder noordwaarts moet omvaren. Dit wordt verder besproken in het hoofdstuk 'Cumulatieve effecten - Risico's en veiligheid (§ 6.3.8.1).

De mogelijke effecten van de windparken op het traditionele kusttoerisme komen aan bod in de discipline 'Zeezicht en cultureel erfgoed' (§ 5.5).

Het huidige sociaal klimaat staat overwegend positief tegenover alternatieve en groene energiebronnen, onder andere golf- en windenergie. Deze interesse kan uitgebaat worden en een bijkomende toeristische troef voor de kust betekenen die een nieuw soort toeristen kan aantrekken. Westerberg *et al*. (2012) geeft aan dat kustnabije windparken een positief effect hebben op de inkomsten uit toerisme indien ze gecombineerd worden met direct aan het windpark geassocieerde recreatieve activiteiten. Uit een literatuurstudie, waarin situaties in Australië, Denemarken en Schotland als referentievoorbeeld beschouwd werden, blijkt ook dat windparken een eerder positief effect hebben op de toeristische attractiviteit van een regio (TPNW, 2012; ZKA, 2011), het gaat hier echter wel om onshore windparken. Door interactieve informatiecentra te voorzien kan het publiek kennis maken en bijleren over de constructie en uitbating van de offshore windparken in het BDNZ. Ook de WEC's, een nieuwe technologie in België, kan zorgen voor een bijkomende interesse in hernieuwbare energie bij het publiek. Er bestaan reeds excursies op zee naar de omgeving van de windparken, waarbij toeristen de kans krijgen een aantal van de belangrijkste aantrekkingsfactoren van de kust, het weidse landschap met vergezichten, de natuur en de zuivere gezonde lucht (Grontmij, 2010) op een alternatieve en actieve manier te beleven.

5.6.3.10 Besluit bespreking en beoordeling van de effecten op de menselijke activiteit

Samenvattend worden de effecten op menselijke activiteiten weergegeven in **Tabel 5-95** en Tabel 5-96 voor zowel de basisconfiguraties als de diverse configuratiealternatieven als de WEC's van respectievelijk Mermaid en Northwester 2. Volgende definities zijn van toepassing: significant positief (++), matig positief (+), gering positief (0/+), (vrijwel) geen effect (0); gering negatief (0/-), matig negatief (-), significant negatief (--).

Tabel 5-95 Overzicht van de effecten van het Mermaid park op de mens (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering)

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	**MP**	**JF**	**GBF**	**MP**	**JF**	**JF**	**GBF**	**JF**	**GBF**
Constructiefase (incl. WEC's)									
Visserij	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Maricultuur	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Militaire activiteiten	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kabels en pijpleidingen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zand- en grindontginning	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andere windparken	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wetenschappelijk onderzoek	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Toerisme en recreatie	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
Operationele fase (incl. WEC's)									
Visserij	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
Maricultuur	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Militaire activiteiten	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kabels en pijpleidingen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zand- en grindontginning	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andere windparken	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Wetenschappelijk onderzoek	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Toerisme en recreatie	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
Ontmantelingsfase (incl. WEC's)									
Analoog constructiefase	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bekabeling (incl. WEC's)									
Visserij	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maricultuur	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Militaire activiteiten	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kabels en pijpleidingen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zand- en grindontginning	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andere windparken	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wetenschappelijk onderzoek	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Toerisme en recreatie	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 5-96 Overzicht van de effecten van het Northwester 2 windpark op de mens (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering)

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	**MP**	**JF**	**GBF**	**MP**	**JF**	**JF**	**GBF**	**JF**	**GBF**
Constructiefase									
Visserij	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Militaire activiteiten	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kabels en pijpleidingen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zand- en grindontginning	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andere windparken	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maricultuur	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wetenschappelijk onderzoek	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Toerisme en recreatie	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
Operationele fase									
Visserij	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
Maricultuur	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Militaire activiteiten	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kabels en pijpleidingen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zand- en grindontginning	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andere windparken	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Wetenschappelijk onderzoek	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Toerisme en recreatie	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
Ontmantelingsfase									
Analoog constructiefase	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bekabeling									
Visserij	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maricultuur	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Militaire activiteiten	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kabels en pijpleidingen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zand- en grindontginning	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andere windparken	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wetenschappelijk onderzoek	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Toerisme en recreatie	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.6.4 Leemten in de kennis

5.6.4.1 Visserij

Zoals reeds vermeld, werd er bij de analyse een gebrek aan wetenschappelijk beschikbare en gedetailleerde visserijgegevens voor het concessiegebied vastgesteld. Voor een compleet beeld van de evolutie van de visserij activiteit rond de windparken is een integratie van de VMS data, de logboek data en de metadata van alle vissersschepen nodig sinds 2006.

De verplichte registratie van alle visserijbewegingen gaat pas van start vanaf 2015 (pers. comm. kapt. Réjane Gyssens, MRCC maart 2012). Het is tot op vandaag dan ook niet mogelijk om gedetailleerde analyses uit te voeren van de kleinere geografische eenheden zoals de concessiegebieden. De analyse van de VMS data en de observaties van sportvissers tijdens monitoringscampagnes geeft wel een algemeen patroon van de visserij, maar een verdere, meer gedetailleerde (gebiedsdekkende) analyse is wenselijk, zoals snelheidsfilters en vismethodes. Ook gegevens over buitenlandse schepen ontbreken gedeeltelijk.

Naast gegevens over tijdstip en locatie van visserij, ontbreken ook data over de visvangst per gebied. De enige momenteel beschikbare gegevens zijn grootschalige rapportages (vb. ICES, besommingen) waarbij ook hier ernstige twijfels en onzekerheden bestaan over de correctheid betreffende de gevangen hoeveelheden, de bijvangst en de ‘terugworp’.

Ook gegevens voor een goede inschatting van de invloed van de offshore windparken op de vispopulaties op de specifieke locaties zijn grotendeels ontbrekend. Hierin zal in de toekomst verandering komen door de wettelijk vereiste monitoring.

5.6.4.2 Overige gebruikers

Voor militaire activiteiten, kabels en pijpleidingen, zand- en grindontginning, andere windparken, maricultuur, en wetenschappelijk onderzoek en oceanologische waarnemingen zijn er geen leemten in de kennis.

5.6.5 Milderende maatregelen

5.6.5.1 Visserij

Gezien het beperkte verlies aan visserijgrond, worden geen milderende maatregelen en compensaties voorgesteld. Een mogelijk alternatief voor visserij is maricultuur.

5.6.5.2 Maricultuur

Er worden geen milderende maatregelen of compensaties voorgesteld.

5.6.5.3 Militaire activiteiten

Er worden geen milderende maatregelen of compensaties voorgesteld.

5.6.5.4 Kabels en pijpleidingen

Indien verschillende initiatieven van windparken in een beperkte tijdsspanne goedgekeurd worden, dan moet zoveel mogelijk getracht worden de verschillende projecten naar kabeltracé maximaal op elkaar af te stemmen (gegroepeerde inplanting in kabelcorridor). Vanuit deze filosofie – mede in overeenstemming met de ontwikkelingsstrategie van Elia – vormt het aansluiten van meerdere windparken rechtstreeks op een nabijgelegen offshore

transformatorplatform (Alpha-installatie als onderdeel van het BOG-project, Elia) een veelbelovend alternatief. Deze optie wordt dan ook in deze milieueffecten studie als beste alternatief naar voren geschoven. Door dit alternatief worden immers het aantal exportkabels naar land gereduceerd en kunnen de beperkte offshore exportkabels bovendien in een smallere corridor naar de kust worden aangelegd en gebeurt ook de aanlanding in een beperktere kuststrook.

5.6.5.5 Zand- en grindontginning

Er worden geen milderende maatregelen of compensaties voorgesteld.

5.6.5.6 Andere windparken

Er worden geen milderende maatregelen of compensaties voorgesteld.

5.6.5.7 Wetenschappelijk onderzoek en oceanologische waarnemingen

De vergunninghouder dient, mits goedkeuring door het Begeleidingscomité en naleving van veiligheidsvoorwaarden die door het Begeleidingscomité worden voorgesteld, wetenschappelijk onderzoek kosteloos toe te laten binnen de concessiezone (BMM, 2013). De BMM behoudt zich het recht om monitoring en wetenschappelijk onderzoek uit te voeren binnen het concessiegebied en op de structuren, op voorwaarde dat de veiligheid wordt gerespecteerd en dat de vergunningshouder hiervan voorafgaandelijk in kennis is gebracht (BMM, 2013).

5.6.6 Monitoring

5.6.6.1 Visserij

Er bestaan nog steeds een aantal onzekerheden over de ecologische uitwerking op het mariene milieu ten gevolge van offshore windparken (incl. cumulatieve effecten), zodat bijkomend onderzoek wenselijk is. Het effect op commerciële vis en ongewervelde soorten is van doorslaggevend belang voor de visserij. Vanuit een economisch standpunt moet de nadruk hier liggen op platvissoorten.

In het kader van het huidig MER is voor de visserijsector enkel monitoring van de bepalende ecologische factoren relevant. In het hoofdstuk ‘Fauna, flora en biodiversiteit’ is een monitoringsprogramma uitgewerkt voor zowel de benthische organismen als de vissen. Voor de Mermaid en Northwester 2 projecten wordt aangesloten bij de bestaande monitoringsprogramma’s van de BMM.

5.6.6.2 Overige gebruikers

Monitoring voor de andere gebruikers is hier niet van toepassing.

5.7 RISICO'S EN VEILIGHEID

In volgende paragrafen zal specifiek worden ingegaan op de veiligheidseffecten, gerelateerd aan de aanwezigheid van de installaties (windturbines en WEC's) tijdens de operationele fase, de veiligheidsaspecten gerelateerd aan de scheepvaart, de luchtvaart en de radar en scheepscommunicatie. De veiligheidsaspecten en risico's verbonden aan de assemblage van de verschillende onderdelen van de installaties valt buiten de scope van dit MER. Risico's verbonden met het scheepvaartverkeer tijdens de transport- en constructiefase worden kort besproken in hoofdstuk 6: Cumulatieve effecten.

5.7.1 Installaties

In dit onderdeel worden de veiligheidsrisico's van de installaties op zich en de eventuele gevolgen van een incident kort besproken. Met een 'installatie' wordt het geheel van een windturbine op een fundering bedoeld, een WEC of de bekabeling. Inschatting van de veiligheidsrisico's verbonden aan de infrastructuur van het windpark zelf zijn gebaseerd op literatuurgegevens.

De beschreven risico's zijn geldig voor alle configuratiealternatieven. Gezien de technologie van de WEC's recenter is en nog niet op grote schaal getest, zijn de veiligheidsrisico's minder goed gekend. Voor de verschillende systemen die hier als alternatief worden beschouwd zijn de potentiele risico's en gerelateerde veiligheidsissues systematisch geïdentificeerd en geanalyseerd. Bij gebrek aan relevante gegevens omtrent de detaillering van het systeem op zich enerzijds en de gerelateerde risico-inschatting anderzijds, zijn hier geen verdere beschouwingen rond geformuleerd in deze MER-analyse.

Risico's voor de werknemers (arbeidsrisico's) worden in dit MER niet behandeld.

5.7.1.1 Risico's en effecten tijdens de operationele fase

Windturbines worden onderworpen aan verschillende classificatiesystemen. Dit geldt ook voor de windturbines van voorliggend project. Teneinde tot een bepaalde klasse te behoren worden de turbines in hun geheel en op onderdelen gekeurd (bladen, gondel, elektrische installatie, mast, fundering…). De windturbines beschikken over de nodige typecertificeringen zoals bijvoorbeeld IEC 61400 of gelijkwaardig.

Vóór WEC's op grote schaal in zee worden geïnstalleerd, worden proefopstellingen eerst uitgebreid getest. Dit moet er voor zorgen dat het risico op losslaan, het afbreken van onderdelen of het lekken van vloeistoffen en gassen tot het absolute minimum wordt beperkt.

Vandaag zijn alle beschouwde WEC-systemen nog volop in ontwikkeling: de graad van ontwikkeling (TRL) is voor de verschillende voorgestelde typevoorbeelden vandaag op niveau 7-9 (System development, open water full scale tests). Enkel de Weptos wordt nog getest in een beschermde omgeving (niveau 6). Als dusdanig is voor de WEC-systemen een typecertificatie (nog) niet aan de orde.

De technische levensduur van offshore windturbines en de WEC's bedraagt tenminste 20 jaar.

5.7.1.1.1 Faalfrequentie van de installatie

In opdracht van de Vlaamse overheid werd een studie uitgevoerd naar de veiligheid van windturbines (SGS, 2007), waarbij op basis van het Nederlandse Handboek Risicozonering Windturbines en uitgebreide statistieken over de bestaande windturbines een eenvoudige risicobeoordeling werd uitgewerkt. Hierbij dienen windturbines te voldoen aan dezelfde veiligheidsvereisten als andere industriële installaties.

Het Nederlandse Handboek Risicozonering Windturbines (Senternovem, 2005) geeft gegevens weer m.b.t. de jaarlijkse faalfrequentie van een turbine onder diverse omstandigheden (Tabel 5-97). SGS is van mening dat de aanbevolen rekenwaarde van Senternovem niet gebruikt dient te worden, maar wel de verwachtingswaarde zoals aanbevolen door SGS, die gebaseerd is op de faalfrequenties uit het 'Handboek Kanscijfers', welke in Vlaanderen gebruikt wordt bij de kwantitatieve risicoanalyse van vaste industriële installaties.

Het overzicht in Tabel 5-97 is vooral gebaseerd op oudere gegevens voor windturbines op land. Deze gegevens zijn bepaald uit historische Deense, Duitse en Nederlandse faalgegevens. Ten gevolge van de voortdurende en snelle ontwikkelingen in de windsector worden windturbines steeds veiliger en betrouwbaarder, zodat kan verondersteld worden dat de windturbines die aangewend zullen worden in de Mermaid en Northwester 2 windparken lagere faalkansen zullen vertonen dan aangegeven in Tabel 5-97.

Uit Tabel 5-97 (verwachtingswaarde aanbevolen door SGS) blijkt dat de faalfrequentie het hoogst is voor kleine onderdelen uit de gondel, namelijk 0,0012 per jaar, of omgerekend eens om de 833 jaar. Voor de andere onderdelen is de faalkans nog lager.

Tabel 5-97 Scenario's en faalkansen voor risicoanalyses (Senterovem, 2005 in SGS, 2007)

Scenario	Faalfrequentie (/turbine/jaar)		
	Verwachtingswaarde aanbevolen volgens SGS	95% bovengrens	Aanbevolen rekenwaarde volgens Senternovem
Geheel blad	6,3.10-4	8,4.10-4	8,4.10-4
Nominaal toerental	3,15.10-4		4,2.10-4
Mechanisch remmen[8]	3,15.10-4		4,2.10-4
Overtoeren[9]	8,5.10-4		5,0.10-4
Tip of deel van blad	1,2.10-4	2,6.10-4	2,6.10-4
Toren	5,8.10-5	1,3.10-4	1,3.10-4
Gondel en/of rotor	2,0.10-4	3,2.10-4	3,2.10-4
Kleine onderdelen uit gondel	1,2.10-3	1,7.10-3	1,7.10-3

[8] mechanisch remmen = ca. 1,25 keer nominaal toerental

[9] overtoeren = ca. 2 keer nominaal toerental

Wat betreft de faalfrequentie van WEC's zijn er momenteel geen risicoanalyses beschikbaar. Het grootste risico bestaat tijdens stormcondities waarbij delen van de WEC of gehele WEC's kunnen losslaan of afbreken. Dit risico zal sterk samenhangen met de gekozen technologie. Vandaag wordt de mate van "overleven" (survival) onder stormcondities als een belangrijke ontwerp- en werkingsconditie meegenomen bij de verdere ontwikkeling van de beschouwde WEC-systemen. Immers, de WEC-systemen genereren onder (extreme) stormgolfcondities de meeste energie, terwijl ze onder diezelfde extreme zeecondities net uit veiligheid buiten dienst worden gesteld. Bij de Wavestar kunnen bvb. de vlotters uit het water worden getrokken tijdens zware weersomstandigheden. Volledig vlottende systemen kunnen sowieso niet zomaar – bij extreme condities – uit de zeeomgeving worden verwijderd en moeten hoe dan ook de storm maximaal capteren en ongeschonden "overleven". Er kan vanuit gegaan worden dat alle WEC-types slechts commercieel en op grote schaal kunnen worden ingezet wanneer blijkt dat de faalkans voldoende klein is en er geen onaanvaardbaar risico bestaat voor het milieu en de veiligheid op zee.

5.7.1.1.2 Maximale werpafstand WTG's

Naast de mogelijke faalfrequentie van onderdelen van de installatie, is het ook belangrijk om na te gaan in welke mate objecten en activiteiten die zich in de nabijheid van turbines bevinden kunnen geraakt worden door bijvoorbeeld een afbrekend rotorblad.
In Tabel 5-98 wordt een overzicht gegeven van de maximale werpafstand die door een afbrekend rotorblad van een driebladige windturbine tijdens een overtoeren-situatie kan overbrugd worden (= maximale werpafstand) voor een kustlocatie. De maximale werpafstand is erg afhankelijk van het type turbine en wordt o.a. bepaald door de rotordiameter, het wiekgewicht, het rotortoerental en de ashoogte. Voor de meest voorkomende 3-bladige turbines tussen de 500 kW en 3.000 kW zijn de maximale werpafstanden ongeveer 350 tot 450 m.

Er zijn geen gegevens over de maximale werpafstand bekend voor offshore windturbines met een vermogen groter dan 3 MW. Gezien de eerder beperkte (niet-lineaire) stijging in maximale werpafstand tussen resp. 1 MW, 2 MW en 3 MW, wordt verwacht dat de vandaag gehanteerde veiligheidsafstand (cf. KB van 11/04/2012) van 500 m rondom het windpark voldoende zal zijn voor de volledige range van 3 MW tot 10 MW windturbines, en dat zodoende het risico op accidenten ten gevolge van een weggeslingerde rotorblad gedekt wordt. Bovendien wordt verwacht dat door de grotere wieken (bij hogere WTG vermogens) en het daarmee samenhangend lager toerental de werpafstand kleiner zal zijn.

Tabel 5-98 Maximale werpafstand (in m) van afbrekende bladen bij driebladige windturbines tijdens een overtoeren- situatie (kustlocatie)

Type turbine	**WTG 500**	**WTG 750**	**WTG 1.000**	**WTG 1.250**	**WTG 1.500**	**WTG 1.750**	**WTG 2.000**	**WTG 2.250**	**WTG 2.500**	**WTG 3.000**
Vermogen (kW)	500	750	1.000	1.250	1.500	1.750	2.000	2.250	2.500	3.000
Maximale werpafstand bij 2 keer nominaal toerental (m)	387	401	412	419	425	429	432	435	436	436

5.7.1.1.3 Losslaan van WEC-systemen

De kans dat een verankerde WEC op drift geraakt (uitgezonderd type Wavestar dat met monopiles verankerd is) gedurende de levensduur van het project is niet onbestaande.

Indien een WEC (of onderdeel ervan) losslaat, kunnen ze andere WEC's, de nabije turbines en meetboeien of onderhoudsschepen in de buurt aandrijven. De aandrijfkans van WEC's en mogelijke gevolgschade werd niet berekend in de nautische veiligheidsstudie van MARIN-IMDC (2014) en is aldus een leemte in de kennis. Verwacht wordt dat door zijn kleinere afmetingen en massa ten opzichte van een turbine of onderhoudsschip, de schade aan de aangedreven structuur eerder beperkt zal zijn. De WEC zelf is echter kwetsbaar en zal mogelijk beschadigd worden waarbij, afhankelijk van de ernst van aandrijving en het type systeem, vloeistoflekken kunnen ontstaan via het omhulsel.

Zoals eerder geschreven, wordt tijdens pilootfases de mate van overleven onder stormcondities als een belangrijke ontwerp- en werkingsconditie meegenomen bij de verdere ontwikkeling van de beschouwde WEC-systemen. Er kan vanuit gegaan worden dat alle WEC-types slechts commercieel en op grote schaal kunnen worden ingezet wanneer blijkt dat de kans op losslaan voldoende klein is en er geen onaanvaardbaar risico bestaat voor het milieu en de veiligheid op zee.

5.7.1.1.4 Verstrengelen van elektrische kabels en/of verankering in waterkolom

Bij het intekenen van de WEC units binnen een basisveld werd niet alleen rekening gehouden met optimale opbrengst en ruimte voor onderhoudsschepen, maar ook met de lengte van de verankering en mogelijke drift, waardoor verstrengeling van kabels en/of verankering tussen verschillende units maximaal vermeden wordt. De drift- en tussenafstanden per type WEC staan opgelijst in Tabel 2-8. De tussenafstand houdt rekening met de drift (door speling op de ketting) en de afmeting van de WEC aan het wateroppervlak (zie mogelijke inplantingsfiguren § 2.6.6.3 en 2.6.6.4).

5.7.1.1.5 Lekken van vloeistoffen uit WTG's en WEC's

Voorzieningen ter bescherming van het milieu behoren tot de standaarduitrusting van de windturbines, het OHVS en de WEC's. Het lekken van vloeistoffen (olie, vetten, etc.) uit de installaties wordt vermeden of beperkt door de aanwezigheid van diverse opvangsystemen (lekbakken, randen, inkuipingen) alsook door de constructiewijze van de onderdelen van de installaties. Bij het WEC type FlanSea bvb. is de boei volledig lekdicht gemaakt. Bovendien zit de winch ook nog in een waterdichte kamer met lucht onder overdruk waardoor smeermiddelen niet kunnen weglekken. Uitgaande van het gegeven dat deze opvangsystemen goed functioneren en gebouwd zijn volgens een goed (gecertificeerd) ontwerp, zal er geen negatief milieueffect zijn.

Dit is niet het geval indien een windturbine of een WEC beschadigd zou geraken ten gevolge van extreme klimaatcondities of tengevolge van een aanvaring of een aandrijving door schepen. In dat geval zullen, wanneer tanks of leidingen bij het ongeval breken of scheuren, de vetten en oliën aanwezig in de turbine/WEC kunnen vrijkomen en zich in het milieu kunnen verspreiden. Gezien de bestaande classificatie en certificeringsystemen is de kans dat een turbine uit zichzelf omvalt of dat een WEC op drift geraakt gedurende de levensduur van het project niet onbestaande maar zeer klein.

De hoeveelheid aanwezige oliën in de turbine bedragen ca. 1.000 liter per turbine (tandwielkast, hydraulisch systeem). Vermoedelijk zal voor de transformatoren die zich in de turbines zelf bevinden, gebruik gemaakt worden van het droge type en niet van oliegekoelde transformatoren. Voor WEC's is het nog niet geweten hoeveel vloeistof precies aanwezig is. Dit zal ook sterk samenhangen met het type WEC dat wordt geïnstalleerd.

In het offshore hoogspanningsstation zullen transformatoren van het oliegekoelde type aanwezig zijn (1 of 2 stuks). Bovendien is er in het hoogspanningsstation een nooddieselgeneratorset en een dubbelwandige voorraadtank met dieselbrandstof (kan tot ca. 30 m³ bevatten) aanwezig. De stations zijn voorzien van een inkuiping, waarin transformatorolie en brandstof zo nodig kan worden opgevangen.

Voor een beschrijving van de risico's en effecten door aanvaring /aandrijving van windturbines en WEC's door schepen wordt verwezen naar hoofdstuk 6 'Cumulatieve effecten' (§ 6.3.8).

5.7.1.1.6 Lekken van gassen uit WTG's

In de windturbines komen schakelaars voor. Er bestaan hiervoor verschillende types: vacuümschakelaars en SF6-bevattende schakelaars. In dit laatste geval spreken we over een aantal liter SF6-gas op een druk van <1bar. Dit gas komt enkel vrij bij een accidentele situatie (kortsluiting). Het risico is aanvaardbaar.

5.7.1.1.7 Andere risico's

Brand

Een ander risico voor het milieu is brand. Brand in een turbine, een WEC of op een offshore hoogspanningsstation kan aanleiding geven tot het vrijstellen van toxische of milieuschadelijke stoffen.

De windturbines zullen uitgerust worden met brand/rookdetectoren zodat personeel in de turbine gewaarschuwd wordt in geval van eventueel dreigende of beginnende brand. In de gondel of de voet van de turbine, alsook in het offshore hoogspanningstation en de Wavestar zal een poederblusser aanwezig zijn. Overige WEC-types zijn te klein om binnenin toegankelijk te zijn voor personeel.

Blikseminslag, ijsworp, wiekbreuk

Blikseminslag op zich heeft geen gevolgen voor het milieu, indien het niet tot brand leidt. De rotorbladen en de gondel van de turbines en de offshore hoogspanningsstations worden voorzien van bliksemafleiders en bliksembeveiliging.

Ook ijsworp heeft geen invloed op het milieu.

Wiekbreuk heeft als enige invloed op het milieu dat er kunststof onderdelen in zee terechtkomen. Deze onderdelen zullen buiten hun 'afval' effect geen invloed hebben op het milieu. Na een incident met wiekbreuk worden defecte onderdelen verwijderd en conform de geldende milieueisen op land verwerkt of gestort.

Aangezien in, en in de onmiddellijke omgeving van, de windparken zich normalerwijze geen mensen bevinden, zijn de risico's en effecten op de mens niet bestaande. Hierbij wordt nogmaals opgemerkt dat arbeidsrisico's (die wel bestaan) niet in ogenschouw worden genomen. Speciale voorzieningen zijn expliciet voorzien in QHSE-programma bij het normale onderhoudspakket van het wind- en golfenergiepark; net zoals bij de bouw en installatie.

5.7.1.1.8 Besluit bespreking en beoordelingen van de veiligheidsaspecten van de installaties

Tabel 5-99 en Tabel 5-100 geven een samenvatting weer van de effecten tijdens de volledige levenscyclus van de diverse alternatieven en het basisscenario voor respectievelijk Mermaid en Northwester 2.

Volgende definities zijn van toepassing: significant positief (++), matig positief (+), gering positief (0/+), (vrijwel) geen effect (0); gering negatief (0/-), matig negatief (-), significant negatief (--).

Tabel 5-99 Overzicht van de effecten op de veiligheidsaspecten van de installaties voor de verschillende scenario's van Mermaid (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering)

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	**MP**	**JF**	**GBF**	**MP**	**JF**	**JF**	**GBF**	**JF**	**GBF**
Constructiefase (incl. WEC's)									
Risico's verbonden aan de installaties	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operationele fase (incl. WEC's)									
Faalfrequentie van de installatie	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maximale werpafstand	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lekken van vloeistoffen	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Lekken van gassen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Brand, bliksem, ijsworp, wiekbreuk	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ontmantelingsfase (incl. WEC's)									
Risico's verbonden aan de installaties	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bekabeling (incl. WEC's)									
Hinder voor radar en scheepscommunicatie	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 5-100 Overzicht van de effecten op de veiligheidsaspecten van de installaties voor de verschillende scenario's van Northwester 2 (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering)

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	**MP**	**JF**	**GBF**	**MP**	**JF**	**JF**	**GBF**	**JF**	**GBF**
Constructiefase									
Risico's verbonden aan de installaties	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operationele fase									
Faalfrequentie van de installatie	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maximale werpafstand	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lekken van vloeistoffen	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Lekken van gassen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Brand, bliksem, ijsworp, wiekbreuk	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ontmantelingsfase									
Risico's verbonden aan de installaties	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bekabeling									
Hinder voor radar en scheepscommunicatie	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.7.1.2 Leemten in de kennis

Er is weinig tot geen informatie over frequenties waarmee falen in de vorm van afbreken van rotorbladen voorkomt bij installaties in het mariene milieu. Ook de frequentie van losslaan van (onderdelen) van een WEC, de aandrijfkans van omliggende infrastructuur (windturbine, meetboei, WEC, onderhoudsschip) en de gevolgschade is nog niet onderzocht.

5.7.1.3 Milderende maatregelen

Daar waar bij lekkages significante hoeveelheden olie of vet in zee terecht kunnen komen, kunnen adequate sensoren op geschikte locaties of regelmatige inspecties worden voorzien waarmee lekkages worden gedetecteerd. De operator kan het ontstaan van een lek op die manier snel signaleren en navenant interveniëren, waarmee de vloeistoffen zo snel mogelijk uit de opvangbakken verwijderd kunnen worden.

Wanneer als gevolg van een defect of ongeval stoffen of materialen in zee terecht komen die een bedreiging zijn voor het milieu, moet getracht worden deze stoffen of materialen zo spoedig mogelijk uit het milieu te verwijderen en te verwerken of storten volgens de geldende reglementering.

Gelet op de vrij beperkte kennis en inzicht rond de risico's en veiligheid bij de WEC-systemen, is het aangewezen om niet in één keer het volledige te installeren energievermogen te plaatsen binnen Mermaid. Een stapsgewijze opbouw van het te installeren vermogen, met één of meerdere WEC-systemen als proefproject, kan de inzichten in opeenvolgende fazen

optimaliseren en verfijnen om tot een beter onderbouwde golfenergie-invulling te komen binnen het park.

5.7.1.4 Monitoring

Geen specifieke monitoring wordt voorgesteld. Het lijkt aangewezen dat de overheid jaarlijks een overzicht krijgt van de opgetreden incidenten, zodat er een inzicht bekomen wordt op de ontwikkeling van de intrinsieke risico's van de energieparken.

5.7.2 Scheepvaart

In overleg met de bevoegde overheid (BMM) werd beslist dat wat betreft de risico's voor het scheepvaartverkeer (inclusief aanvaringen/aandrijvingen, olieverontreiniging) rondom de meest noordelijke parken nabij het verkeersscheidingsstelsel Noordhinder Zuid en het voorzorgsgebied, een nieuwe nautische veiligheidsstudie vereist is (MARIN-IMDC, 2014).

In deze studie werd volgend cumulatief scenario onderzocht:

Het cumulatieve scenario met alle parken gerealiseerd (Norther – C-Power – Rentel Northwind – SeaStar – Belwind – Northwester 2 – Mermaid). Hierbij worden de meest actuele (potentiële) windturbineconfiguraties in rekening gebracht.
Voor Mermaid en Northwester 2 worden onderstaande configuraties berekend:

- Basisconfiguratie met 38 windturbines op monopile in Mermaid en 35 turbines op monopile in Northwester 2 + WEC's in Mermaid:
  - Wavestar met afmetingen: 80x20m op 4 monopile poten; 7 units in basisveld van 750x450 m
  - Seabased met afmeting: 6 m diameter van boei aan wateroppervlak; 160 units in basisveld van 750x450 m
- Configuratie met maximaal aantal turbines op jacket fundering: 80 turbines in Mermaid en 70 windturbines in Northwester 2. Dit is een worst case scenario aangezien jackets de grootste doorsnede hebben aan het wateroppervlak en bovendien vooral het aantal turbines bepalend is voor de aanvaarkans van een windpark. Elke configuratie met minder, maar iets grotere jacket funderingen zal dus ook afgedekt zijn door deze configuratie (MARIN-IMDC, 2014, MARIN, 2013). Wegens de beperkte beschikbare ruimte tussen de turbines worden voor deze configuratie geen WEC locaties doorgerekend.

Per type WEC zullen slechts 1 (of 2) unit locaties binnen een basisveld doorgerekend worden en dan doorvertaald naar impact van:

- 1 volledig basisveld
- 4 basisvelden (minimaal 20 MW)

Er wordt verondersteld dat beide parken nagenoeg op hetzelfde ogenblik operationeel zullen worden (zich richtend naar de target datum voor aansluiting op de Alpha-installatie van de BOG-infrastructuur). Enkel de combinatie van beide parken als te onderzoeken scenario wordt dus weerhouden in deze MER-studie.

Uit de studie uitgevoerd in kader van het MER BOG is gebleken dat de ligging van de Alpha-installatie op de Lodewijkbank geen invloed heeft op de verkeersstromen langsheen de

windparken. De verkeerssituatie met en zonder Alpha-eiland is dezelfde, er wordt dus slechts 1 scenario doorggerekend, nl. in afwezigheid van het Alpha-eiland.

Het rapport omvat:

- Aanvaar- of aandrijfrisico's van schip-windturbine en schip-WEC. De focus van de risicoanalyse ligt op de afzonderlijke Mermaid en Northwester 2 projectgebieden. Het effect van twee verschillende inrichtingsvarianten (minimale en maximale) en de uitbreiding van het Northwester 2 concessiegebied worden in acht genomen.
- De aanvaar- of aandrijfrisico's werden opgesplitst naar hun mogelijke gevolgschade, aangezien niet elk ongeval eenzelfde risico voor het leefmilieu inhoudt, én naar elk park afzonderlijk.
- Aanvaringsrisico schip-schip: toenemend aantal schip-schip aanvaringen door dichter verkeer, i.e. scoretabellen voor de effecten van de windparken voor scheepvaart op de Belgische Noordzee, en daarnaast ook de Nederlandse en voor de Engelse Noordzee.
- Aanbevelingen om veiligheid te verhogen. Update van de eventuele beheermaatregelen (o.a. relaisstation in Belwind concessiezone) – Nu reeds zijn volgende maatregelen ter voorkomen van de hierboven omschreven risico's omschreven in de MARIN studies
    - Gebruik van AIS (Automatic Identification System)
    - Inzet van ETV (Emergency Towing Vessel)
    - Beheer van uitstroom van olie na aanvaring
    - Correcte radardekking en communicatiemiddelen

Er werd rekening gehouden met:

- De actuele verkeersstromen in het gebied (routestructuur en scheepsintensiteit). De studie is gebaseerd op de AIS data 2012 om vergelijking met de meest recente voorgaande studies mogelijk te maken (SeaStar, BOG). Deze veiligheidsstudies zijn immers met de verkeersstromen uit deze AIS-dataset 2012 doorgerekend en gevalideerd.
- Daarenboven heeft een grondige vergelijking met de AIS data van 2013 aangetoond dat de verkeersstromen in de 2012 data nog steeds actueel zijn, scheepsintensiteiten werden opgeschaald conform de 2013 data. Deze aanpak werd opgemaakt in overleg met de Nautische adviesgroep. De uiteindelijk gebruikte verkeersdatabase werd voorgelegd en goedgekeurd.
- Zowel het routegebonden als niet-routegebonden verkeersbeeld recenter dan 2001.

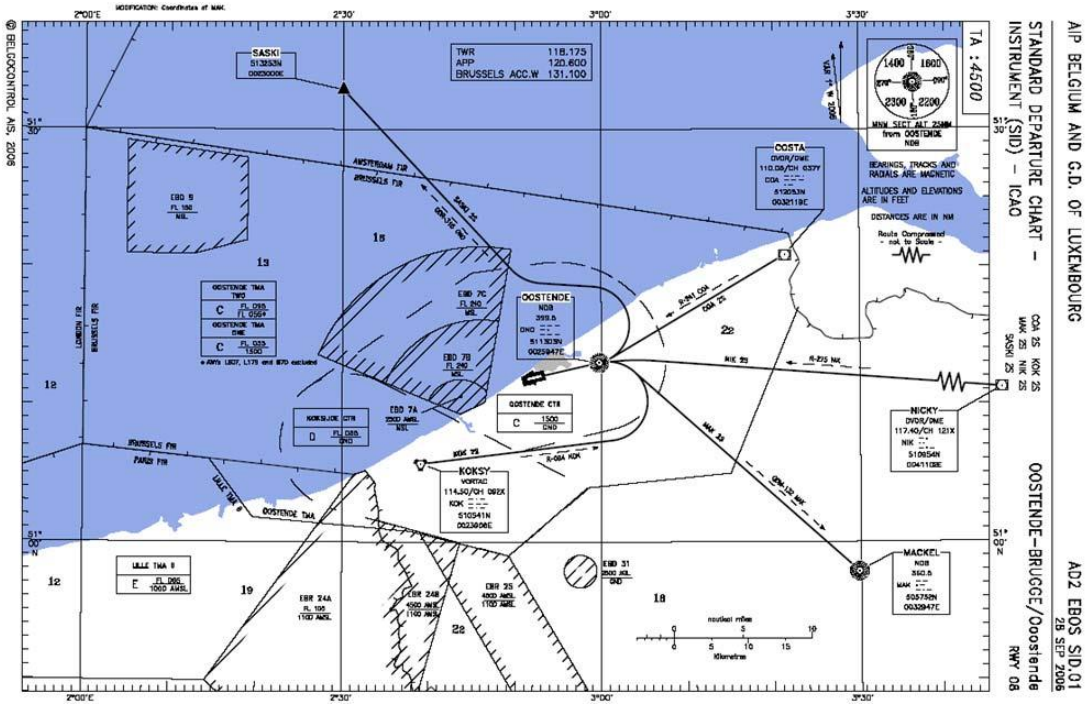
De risicoberekening werd gestuurd door:

- De ruimtelijke ontwikkeling in de studiegebieden (lokaal-globaal).
- De evolutie in de scheepvaart (in tijd, ruimte (en dus ook intensiteit en aard)
- (Begeleidende) maatregelen ten aanzien van scheepvaart

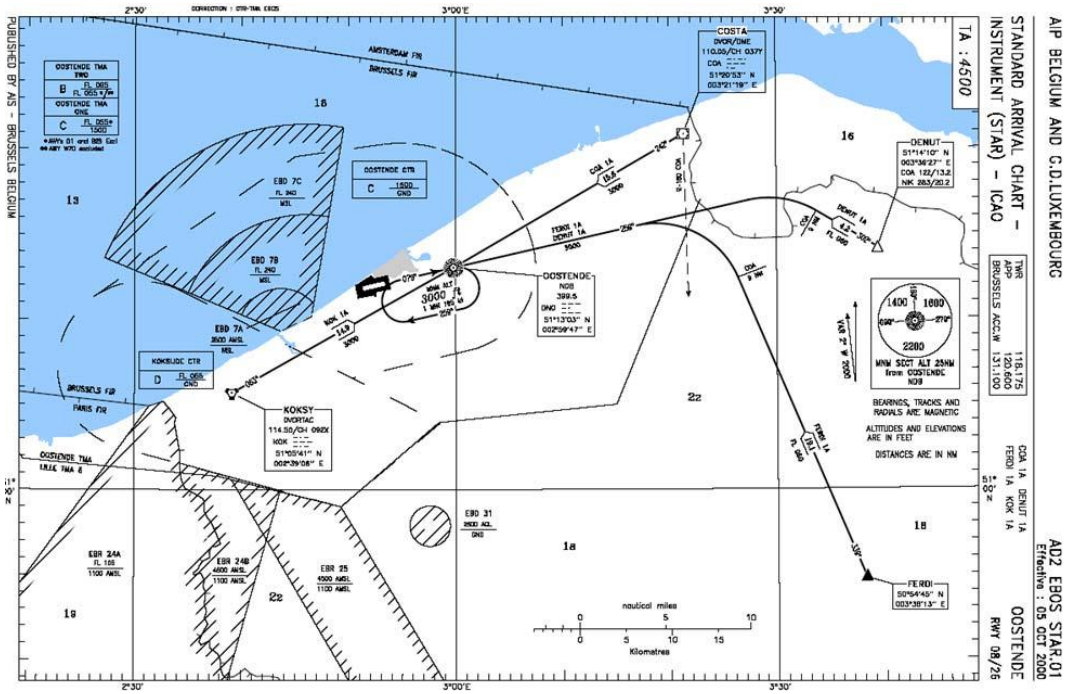
Het volledige rapport wordt weergegeven in de externe bijlage MARIN-IMDC (2014). De resultaten van de nautische veiligheidsstudie worden uitgebreid beschreven in hoofdstuk 6 'Cumulatieve effecten' (§ 6.3.8).

5.7.3 Luchtvaartverkeer

Ter volledigheid wordt in dit MER ook de veiligheid voor het luchtverkeer aangehaald. Hiervoor wordt verwezen naar Figuur 5-120 en Figuur 5-121 met navigatiekaarten waarop de scheidingslijnen (Nederland, België) van beheer voor de luchtvaart zijn aangegeven.



Figuur 5-120 Navigatiekaart met scheidingslijnen van het beheer voor de luchtvaart (vertrek)



Figuur 5-121 Navigatiekaart met scheidingslijnen van het beheer voor de luchtvaart (aankomst)

Navraag door de BMM in het kader van het MEB Belwind (2007) bij de Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer, Directoraat Generaal Luchtvaart, Dienst Luchtruim en Luchthavens heeft uitgewezen dat ondanks de positie van de windconcessiezones in Nederlandse FIR zone, het luchtruim boven Belgisch grondgebied gelegen is waar de Belgische Staat autoriteit heeft. De Belgische richtlijnen betreffende bebakening van hindernissen zoals beschreven in de circulaire CIR-GDF03 (12/06/06 – FOD Mobiliteit en Vervoer) zijn dan ook van toepassing voor het luchtverkeer.

5.7.4 Radar en scheepscommunicatie

In overleg met de bevoegde overheid (BMM) werd beslist om een update te maken van de deelstudie Flemtek-IMDC (2013) uitgevoerd in het kader van MER SeaStar. Naast de risico's en effecten door de bouw van respectievelijk het Mermaid energiepark (turbines plus WEC's) en het Northwester 2 windpark op radar en scheepscommunicatie, worden ook de cumulatieve effecten onderzocht van het volledig bebouwde Belgische concessiegebied op radar en scheepscommunicatie. Daarbij worden de effecten bekeken vanuit zowel het Belgische als het Nederlandse oogpunt en wordt ook het toekomstig Nederlands windpark Borssele ingetekend dat grenst aan de Belgische concessiezone.

De bespreking en beoordeling van de effecten op radar en scheepscommunicatie werd opgemaakt in een deelstudie door Flemtek-IMDC (2014). Deze studie bevat:

- De situering van de studiegebieden en actuele gegevens hiervan;
- Een literatuurstudie en opsomming van de effecten van de WTG's en WEC's op de radars en marifone installaties: SRK radarstations, scheepsradar, VHF radiocommunicatiesystemen, RDF (Radio Direction Finder), DGPS zender in Oostende en AIS (Automatic Information System). Het gaat om zeven mogelijke effecten:
    1. Line of Sight (LoS),
    2. mogelijke detectie door sidelobes
    3. shadowing en mogelijke dode zones
    4. vrije Fresnel doorgangen (ook voor de radio communicatie)
    5. multiple reflecties en valse echo's
    6. clutter door reflecties van de draaiende wieken en reflecties van de windturbines onderling
    7. diffractie en multipath, met range en azimuth errors
- Een overzicht van de belangrijkste conclusies.

Het volledige rapport wordt weergegeven in de externe bijlage Flemtek-IMDC (2014).

De bespreking en beoordeling van de cumulatieve effecten op radar en scheepscommunicatie wordt weergegeven in hoofdstuk 6 'Cumulatieve effecten' (§ 6.3.8.2). De bespreking rekening houdend met de effecten op Nederlands grondgebied wordt besproken in hoofdstuk 7 'Grensoverschrijdende effecten' (§ 7.6.2).

6. CUMULATIEVE EFFECTEN

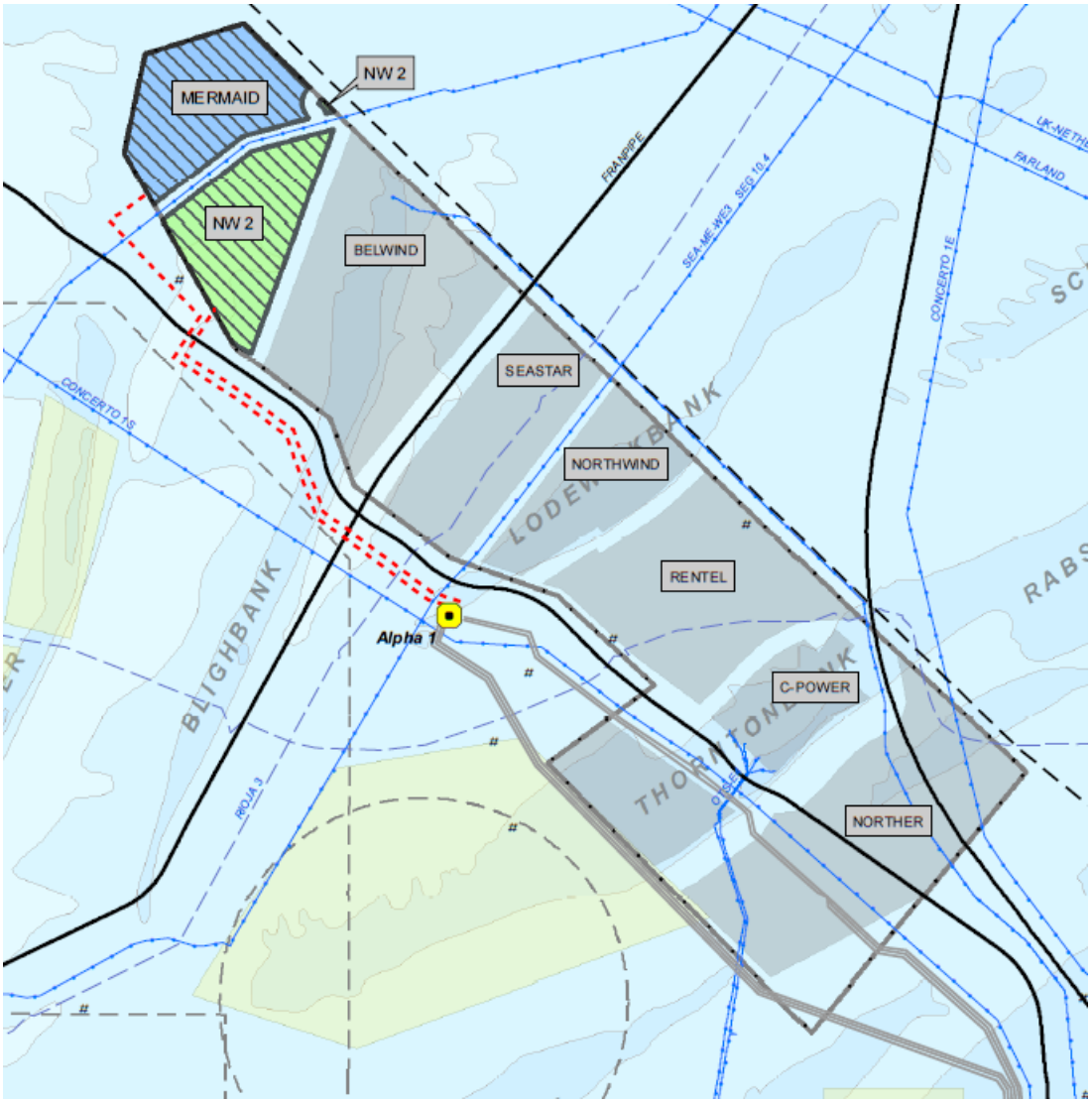
6.1 INLEIDING

In december 2008 werd door het Europees Parlement het energie/klimaatpakket goedgekeurd (omgezet in richtlijnen in april 2009; waaronder de Europese richtlijn Hernieuwbare Energiebronnen 2009/28/EG) waarbij de doelstelling voor België wordt opgetrokken van 6% naar 13% hernieuwbare energie tegen 2020. De recente klimaatconferentie in Warschau eind 2013, werd afgesloten met een politiek akkoord over een verlengstuk van het Kyoto Protocol tot in 2020. De belangrijkste verwezenlijkingen die deze conferentie met zich meebracht is het feit dat de delegaties tot een overeenkomst kwamen om zo snel mogelijk hun emissies (uitstoot of lozing van verontreinigingen) te doen dalen, en dit hopelijk ten laatste tegen het eerste kwartaal van 2015.

Om tegemoet te komen aan de Belgische energievoorziening heeft Kabinet Noordzee in 2003 zijn Masterplan Noordzee gelanceerd waarin ook een wettelijke zone voorzien wordt voor de productie van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen waaronder windenergie (KB 17/05/2004, gewijzigd bij KB 03/02/2011). Deze zone is gelegen aan de oostelijke zijde van het Belgische deel van de Noordzee (BDNZ) en strekt zich uit van ca. 6 km ten zuiden van de Thorntonbank tot ca. 8 km ten noorden van de Blighbank (Figuur 6-1). Binnen dit gebied komen 3 zandbanken voor waarop de eerste windparken ontwikkeld werden: de Thorntonbank, de Lodewijkbank en de Blighbank. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de acht Belgische parken.

Tabel 6-1 Overzicht van de status en de specificaties van de windparken op het BDNZ

Park	Status	Aantal turbines	Totaal vermogen	Benutte oppervlakte	Vergunning
Norther	Milieuvergunning toegekend	47-100	258-470 MW	44 km²	MB 18/01/2012 MB 28/03/2013
C-Power	Operationeel (fase 1: 2009, fase 2 en 3: 2013)	6 (5 MW - GBF) 48 (6,15 MW - JF)	325 MW	19,5 km³	MB 27/06/2003 MB 03/02/2010
Rentel	Milieuvergunning toegekend	47-78	288-550 MW	26,9 km²	MB 08/02/2013
Northwind	Operationeel (mei 2014)	72 (3 MW - MP)	216 MW	15 km²	MB 15/05/2006 MB 24/03/2010
SeaStar	Milieuvergunning toegekend	41-62	246-432 MW	21,2 km²	MB 07/02/2014
Belwind	Operationeel (fase 1: 2010, fase 2: bouw 2014)	55 (3 MW - MP) 55 (3 MW - MP)	330 MW	34,4 km²	MB 06/06/2007
Northwester 2	Concessie toegekend	22-70	210-296 MW	15,2 km²	N/A
Mermaid	Concessie toegekend	24-80	228-304 MW + 20-61 MW (WEC's)	16,3 km²	N/A



Figuur 6-1 Overzicht van de domeinconcessies voor offshore windparken in het Belgisch deel van de Noordzee (zie kaart Bijlage C.1)

Al deze projecten vinden niet plaats over dezelfde tijdspanne. C-Power en de 1ste fase van Belwind zijn reeds afgerond, en ook Northwind is sinds mei 2014 reeds operationeel. Wat betreft de timing en planning van de andere projecten heerst er vandaag nog onduidelijkheid. De parken die een aansluiting op het BOG hebben voorzien, zullen mogelijk hun constructie afwachten tot het BOG volledig is gerealiseerd. De constructiefases zullen dus verspreid zijn over een periode tussen nu en 2020. Bovendien wordt er niet continu gewerkt, maar vooral in het voorjaar en de zomer.

Tabel 6-2 De geplande constructiefases van de 8 windparken en het BOG

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
C-Power													
Belwind													
Northwind													

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Norther													
Rentel													
SeaStar													
Mermaid													
NW2													
BOG													

Naast potentiële cumulatieve effecten ten gevolge van de windparken, kunnen eveneens cumulatieve effecten optreden ten gevolge van de andere geplande menselijke activiteiten op zee die (deels) gelijksoortige effecten veroorzaken. In de periode 2014-2017 wordt de aanleg door Elia en National Grid van de HVDC interconnector Nemo Link voorzien die een kabelverbinding maakt tussen België en het Verenigd Koninkrijk. De werken in het BDNZ zullen maar 2 maanden in beslag nemen, en afgezien van de aanlanding in Zeebrugge zal de kabel op een grote afstand van de windparken verwijderd liggen. De cumulatieve effecten met Nemo Link zullen dan ook verwaarloosbaar zijn.

Ook zandextractie in het BDNZ kan bijdragen tot cumulatieve effecten. Mariene aggregaatextractie op het BDNZ wordt uitgevoerd door drie partijen:

- Privésector
- De Vlaamse Overheid, Departement Mobiliteit en Openbare werken, Afdeling Maritieme Toegang
- Agentschap Maritieme Dienstverlening en Kust, Afdeling kust.

Tot 2006 werd er ongeveer 1,6 miljoen m³ zand en grind per jaar gewonnen op het BDNZ, de laatste jaren steeg dit tot gemiddeld 2 miljoen m³ per jaar, in 2012 was dit meer dan 3 miljoen m³.

Ook voor de gebeurlijke constructie van een Alpha-installatie als onderdeel van het BOG-project zal een grote hoeveelheid zand nodig zijn. In de nabije toekomst zullen bovendien de hoeveelheden zand die ontgonnen worden significant toenemen onder meer voor de realisatie van het Masterplan Kustveiligheid dat o.a. het Geïntegreerd Kustveiligheidsplan (GKVP), het OW-plan Oostende en het Zwinproject omvat (www.kustveiligheid.be). Voor de periode 2010-2015 is ca. 14 miljoen m³ nodig voor de aanleg van strandsuppleties als kustverdedigingsvorm (rekening houdend met baggerverliezen) (www.kustveiligheid.be, Resource Analysis, 2010). Jaarlijks zal tot 2050 nog eens ongeveer 500.000 m³ nodig zijn voor het verdere onderhoud van deze zachte kustverdedigingsvorm (www.kustveiligheid.be).

6.2 CUMULATIEVE EFFECTEN

De mogelijke effecten van een combinatie van meerdere windparken, kunnen in samenhang met andere menselijke activiteiten op zee leiden tot een cumulatie van effecten. Hierbij kan het gaan om een relatief simpele optelsom van alle effecten van de afzonderlijke activiteiten, maar het zou ook zo kunnen zijn dat bepaalde effecten elkaar versterken, of juist geheel of gedeeltelijk opheffen. Tenslotte kan het zo zijn dat afzonderlijke effecten weliswaar bij elkaar

moeten worden opgeteld, maar dat dit niet leidt tot significante problemen voor het leven in en op zee en de betrokken habitats, tot dat een vooralsnog onbekende drempelwaarde wordt overschreden, waarna plotseling wel significante problemen ontstaan. In dit laatste geval is er sprake van een niet-lineaire respons.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de mogelijke cumulatieve effecten ten gevolge van de realisatie en exploitatie van alle vergunde en geplande windparken in het Belgische Deel van de Noordzee (Norther - C-Power - Rentel - Northwind - SeaStar - Belwind - Northwester 2 - Mermaid).

Ook de Alpha-installatie als onderdeel van het BOG-project van Elia kan zorgen voor cumulatieve effecten op zee. Indien de aanvraag in zijn huidige vorm wordt goedgekeurd zal de voorziene Alpha-installatie gebouwd worden nabij de concessiezone van Northwind op de Lodewijkbank. Op dit moment zijn enkel details over de omvang, uitvoeringswijze en timing voor de bouw publiek beschikbaar in het MER BOG (IMDC, 2013d).

Enkel deze effecten die een niet verwaarloosbare (positief of negatief) invloed hebben op een bepaalde discipline zullen worden besproken. Er wordt verondersteld dat indien een bepaald effect totaal verwaarloosbaar is voor het milieu voor elk windpark afzonderlijk, ook het cumulatieve effect verwaarloosbaar zal zijn. Op deze regel kan een uitzondering gemaakt worden indien de effecten van afzonderlijke windparken een bepaalde drempelwaarde dicht benaderen, waardoor het cumulatieve effect zich in een andere grootteklasse van effecten (matig tot significant) bevindt.

In de meeste gevallen zal het cumulatief effect de som van het effect voor elk windpark zijn (1+1=2). In bepaalde gevallen zal het cumulatieve effect afwijken van de som van de effecten (1+1<2 of 1+1>2). Beide gevallen zullen worden besproken en indien mogelijk kwantitatief worden uitgewerkt. Voor het laatste geval (1+1>2) zal dit met nog meer detail uitgewerkt worden.

6.3 BESCHRIJVING EN BEOORDELING VAN DE CUMULATIEVE EFFECTEN PER DISCIPLINE

De cumulatieve effecten zullen worden besproken per discipline voor zowel de constructie-, operationele, als ontmantelingsfase en de bekabeling (voor zowel turbines als WEC's). Eerst en vooral worden per discipline in een overzichtstabel de effecten weergegeven ten gevolge van de windparken samen. Hierbij wordt in eerste instantie uitgegaan van de worst case situaties (kan variëren naar gelang het beschouwde effect) en worden deze lokaal beoordeeld m.a.w. ten opzichte van het totale Belgische concessiegebied en niet t.o.v. het BDNZ. Aangezien er voor het Norther, Rentel en SeaStar windpark nog geen definitieve configuraties zijn bepaald, wordt hier ook uitgegaan van een worst case scenario.

Daarnaast wordt in de overzichtstabel ook aangegeven of het cumulatief effect gelijk is aan (S), groter dan (>S) of kleiner dan de som (<S) van de effecten.

6.3.1 Bodem

Tabel 6-3 Overzicht van de cumulatieve effecten op de bodem

Effect	Verwaarloosbaar	Cumulatief
Constructiefase		
Invloed op de geologie	Ja	n.v.t.
Invloed op de bodemkwaliteit	Ja	n.v.t.
Invloed op het globale sedimenttransport en de morfologie door funderingen	Neen	<S
Operationele fase		
Invloed op de geologie	Ja	n.v.t.
Invloed op de bodemkwaliteit	Ja	n.v.t.
Invloed op het globale sedimenttransport en de morfologie door funderingen	Ja	n.v.t.
Lokale erosie door de constructies	Neen	<S
Ontmantelingsfase		
Invloed op de geologie	Ja	n.v.t.
Invloed op de bodemkwaliteit	Ja	n.v.t.
Invloed op het globale sedimenttransport en de morfologie door funderingen	Ja	n.v.t.
Invloed op het globale sedimenttransport en de morfologie door erosiebescherming	Neen	S

(S: cumulatief effect = som van de effecten; >S: cumulatief effect is groter dan som van de effecten; <S: cumulatief effect is kleiner dan som van de effecten)

6.3.1.1 Constructiefase

Invloed op morfologie en het globale sedimenttransport

Het cumulatieve effect is niet verwaarloosbaar bij windparken met gravitaire funderingen. In Tabel 6-4 worden de parameters voor volume en oppervlakte gegeven voor enerzijds de meest waarschijnlijke (of reeds uitgevoerde) scenario's van Norther, C-Power, Rentel, Northwind, SeaStar, Belwind, Northwester 2 en Mermaid. In het meest waarschijnlijk scenario worden in het Norther gebied enkel monopiles geplaatst, in het Rentel concessiegebied enkel jackets (conf. 2: 60 x 7 MW JF), in het SeaStar gebied enkel jackets (conf.3: 43 x 7 MW JF) en ook in Mermaid (basisconf.: 38 x 6 MW JF) en Northwester 2 (35 x 6 MW JF) enkel jackets. Bij windparken Mermaid en Northwester 2 wordt geen nivellering uitgevoerd voor het plaatsen van de jackets. Er wordt wel bij alle jackets een dynamische erosiebescherming aangebracht. Voor het plaatsen van de WEC's in Mermaid wordt evenmin nivellering voorzien.

En anderzijds worden de volumes en oppervlaktes gegeven voor de worst case scenario's van Norther, Rentel, SeaStar, Northwester 2 en Mermaid met enkel gravitaire funderingen. In het worst-case scenario worden het maximaal aantal gravitaire funderingen in het Norther park, in het Rentel park (conf. 1: 78 x 6 MW GBF), het SeaStar park (conf.1: 62 x 5 MW GBF), het Mermaid (conf. 2: 38 x 8 MW GBF) en het Northwester 2 park (conf.2: 37 x 8 MW GBF)

voorzien. Voor de reeds gerealiseerde windparken is uitgegaan van de effectief gebruikte funderingstypes: Belwind en Northwind (monopile); C-Power (combinatie gravitaire en jacket fundering).

De verstoorde oppervlaktes en totale volumes werden overgenomen uit het MER Norther (Arcadis, 2011) en aangevuld met data van Rentel (IMDC, 2012a), SeaStar (IMDC, 2013e) en dit MER. Voor de cijfers werd rekening gehouden met bagger- en dumpingsverliezen.

Tabel 6-4 Overzicht cumulatieve stockagevolumes en stockage-oppervlaktes

Totaal volume (m³) / Oppervlakte inname (m²)	**Cumulatief scenario - most probable case (JF)**	**Cumulatief scenario worst case (GBF Mermaid + NW2)**
Te stockeren volume (m³)	1.253.600 m³	17.422.000 m³
Stockage 1 m (opp. in m²)	1.339.700 m²	13.303.000 m²
Stockage 5 m (opp. in m²)	311.740 m²	3.822.000 m²

Het te stockeren volume is een factor 10-14 groter bij gravitaire funderingen.

Indien gekozen wordt voor gravitaire funderingen bij de Norther, Rentel, SeaStar, Mermaid en Northwester 2 windparken, zal in totaliteit ca. 3,6 miljoen + 5 miljoen m³ + 4 miljoen m³ + 2,5 miljoen + 2,4 miljoen zand (tijdelijk) gestockeerd worden ten gevolge van de benodigde uitgraving. Hierbij gaat bij de eerder vergunde parken (Norther + 6 GBF's C-Power) 1,5 miljoen m³ + 1,7 miljoen m³ bij SeaStar + 2,2 miljoen m³ materiaal bij Rentel + 1 miljoen m³ bij Mermaid en 1 miljoen m³ bij Northwester 2 verloren (totaal 7,4 miljoen m³).

De permanente stockage van zand op één locatie (bij MP en JF in sommige parken) zal hoogstwaarschijnlijk geen effect hebben op de morfologie van de dichtst bijgelegen bank. Er wordt verondersteld dat op termijn het gestockeerde zand verspreid wordt in het natuurlijke zandgolvenpatroon. Zand dat in de geulen terechtkomt, zal door de regenererende stroming (in wijzerzin of tegenwijzerzin) rond de zandbank terug betrokken worden in de natuurlijke sedimentdynamiek van de bank.

Bij het hergebruiken van het gestockeerde materiaal (bij GBF) zullen opnieuw bagger- en dumpingsverliezen optreden en zal er dus meer gebaggerd moeten worden dan er gestockeerd werd. In het geval van C-Power was dit 468.000 m³, in het geval van Rentel verwachten we 78 x 25.600 m³ (ca. 1.996.800 m³), in het geval van Norther zal dit ca. 1.200.000 m³ (47 x 25.600 m³) zijn, in het geval van SeaStar verwachten we ca. 1.600.000 m³ (62 x 25.600 m³) en in het geval van Mermaid en Northwester 2 zal dit resp. 973.000 m³ en 947.000m³ zijn (resp. 38 en 37 x 25.600 m³) voor de worst-case scenario's. Cumulatief zal dit dus gaan om een extra volume van ca. 6.700.000 m³ dat naast het gestockeerde materiaal nog gebaggerd zal worden om de gelijkaardige hoeveelheid verliezen te compenseren.

Voor de bouw van de Alpha-installatie als onderdeel van BOG wordt rekening gehouden met een verlies van ca. 2 miljoen m³ materiaal tijdens de bagger- en constructiewerken (MER-ontwerp, IMDC, 2013d). In totaal zal door al deze bagger- en dumpactiviteiten 16,1 miljoen m³ materiaal als extra bovenop het natuurlijke sedimenttransport komen (7,4 miljoen + 6,7 miljoen + 2 miljoen m³).

Tussen de effecten zal er een tijdsverschil optreden. De vijf nog te bouwen windparken zullen vermoedelijk slechts gedeeltelijk overlappen qua constructieperiode. Het cumulatieve effect zal daarom kleiner zijn dan de som van de individuele effecten.

Ter vergelijking, op het BDNZ is er de voorbije jaren ongeveer een jaarlijks volume van 2 tot 3 miljoen m³ aan zand- en grindextractie voor commercieel gebruik geweest, verspreid over een aantal locaties alsook ongeveer 16 miljoen m³ gebaggerd en terug in zee gedumpt op de voorziene stortplaatsen.

6.3.1.2 Operationele fase

Lokale erosie door de constructies

De lokale erosie door de constructies wordt voor alle windparken tegengegaan door het a priori aanleggen van een erosiebescherming, met uitzondering van de jacket fundering in sommige parken en de WEC's in Mermaid. Indien nodig, wordt voor de acht windparken dus individueel en lokaal mitigerend opgetreden.

Bij de keuze voor monopiles kan besloten worden op basis van beschikbare literatuur dat de erosiebescherming in de acht gevallen voldoende groot is en er vermoedelijk geen lokale erosie zal optreden. Bij de keuze voor gravitaire funderingen voor de grote turbines (> 5 MW) is er enige onzekerheid wegens gebrek aan wetenschappelijk onderzoek en praktijkervaring; er wordt teruggevallen op een veilige extrapolatie van gegevens voor monopiles voor de berekening van de dimensies van de erosiebescherming. Enkel bij de jacket fundering (en de veel kleinere WEC's in Mermaid) is in sommige parken op dit ogenblik geen expliciete bescherming a priori voorzien. Bijkomend wetenschappelijk onderzoek is noodzakelijk, specifiek voor de erosie rondom een gravitaire fundering met een conisch tussenstuk. Gezien de lokale erosie rondom de gravitaire fundering niet zal optreden voor elk van de zes windparken tegelijkertijd, is het cumulatieve effect kleiner dan de som van de individuele effecten. Indien er toch lokale erosie optreedt, kan dit effect vrij eenvoudig weggewerkt worden door herstellen en bijkomend storten van erosiebescherming. Van den Eynde (2010) stelde vast dat na de plaatsing van de GBF's en het aanbrengen van erosiebescherming geen sporen van erosie aangetoond werden ter hoogte van de 6 GBF's op de Thorntonbank.

Ook de lokale erosie rond een jacket fundering vormt vandaag een onduidelijk bepaald issue: ook hier illustreren ontbrekende publieke monitoringsgegevens (over langere periodes), wetenschappelijke kennis en praktijkervaring de actuele leemte in de kennis inzake dit topic.

6.3.1.3 Ontmantelingsfase

In elk geval moet later bestudeerd worden en op het einde van de exploitatieperiode beslist worden of volledige verwijdering van fundering, erosiebescherming en kabels de beste optie is voor het milieu voor elk van de zes windparken.

Invloed op de morfologie en het globale sedimenttransport door de funderingen

Bij verwijdering van de funderingen wordt deze zone aangevuld met bestorting, indien er geopteerd wordt om de erosiebescherming te laten zitten. Zoniet kan er qua cumulatief effect worden verwezen naar de volgende paragraaf.

Invloed op het globale sedimenttransport en de morfologie door de erosiebescherming

Indien de bescherming verwijderd wordt, zal er in essentie een put ontstaan ter hoogte van elke fundering. Het herstelgedrag van dergelijke putten verloopt trager dan voor ondiepe

baggersleuven. Het herstel van de funderingsputten is op basis van de huidige kennis niet in te schatten in ruimte en tijd. Het is wel zo dat er geen beïnvloeding zal zijn van de diverse funderingsputten zodat het cumulatieve effect niet groter is dan de som van de individuele effecten.

6.3.1.4 Bekabeling

Effect	Verwaarloosbaar	Cumulatief
Constructiefase		
Invloed op het globale sedimenttransport en de morfologie door bekabeling	Neen	<S
Operationele fase		
Invloed op het globale sedimenttransport en de morfologie door bekabeling	Ja	n.v.t.
Erosie langsheen de kabels	Ja	n.v.t.
Bodemkwaliteit	Ja	n.v.t.
Ontmantelingsfase		
Invloed op het globale sedimenttransport en de morfologie door bekabeling	Ja	n.v.t.

(S: cumulatief effect = som van de effecten; >S: cumulatief effect is groter dan som van de effecten; <S: cumulatief effect is kleiner dan som van de effecten

Invloed op de morfologie en het globale sedimenttransport

De impact op de morfodynamiek van het BDNZ door de aanleg van de kabels is zeer gering. Een gezamenlijke installatie van kabels in al dan niet gemeenschappelijke kabelcorridors (dichtbij elkaar gelegen trajecten) betekent een geringere impact ten opzicht van een verschillend traject voor elk project. Deze optie zou enkel nog van toepassing kunnen zijn voor Norther, Rentel, SeaStar, Mermaid en Northwester 2, daar de andere exportkabels reeds gelegd zijn. Hierbij vormt de optie dat verschillende partijen zich aansluiten op de geplande Elia Alpha-installatie als onderdeel van het BOG-project, die zijn eigen kabels naar land voorziet die gelijktijdig en binnen een versmalde corridor zullen aangelegd worden, een veelbelovend initiatief.

In MER BOG werd berekend dat door het baggeren van de sleuven waarin de kabels van het BOG project terechtkomen 3 miljoen m³ sediment in de waterkolom terecht komt bovenop het natuurlijke sedimenttransport (alle kabels, inclusief Beta in Norther naar land, IMDC, 2013). Dit vertegenwoordigt wel het worst-case scenario: alternatieve aanlegtechnieken als jetting en/of ploegen induceren minder sedimentbeweging. Bij de backfill treden opnieuw bagger- en dumpingsverliezen op in de grootteorde van 2 miljoen m³ bovenop de 2 miljoen m³ die verloren gaat bij het creëren van de Alpha-installatie. Voor de verder afgelegen parken Mermaid en Northwester 2 worden resp. 1,7 en 0,7 miljoen m³ verliezen ingeschat indien de bekabeling getrenched wordt (park tot Alpha via verbindingskabels optie A, trenchen en backfill zie § 5.1.4.1.5). De afstanden van Rentel en SeaStar tot Alpha zijn verwaarloosbaar. In totaal resulteert dit voor de parken die aansluiten op het BOG project in bijkomende sedimenttransporten van 10,4 miljoen m³ voor de bekabeling.

Tijdens de operationele fase en de ontmantelingsfase worden geen cumulatieve effecten verwacht.

6.3.2 Water

Tabel 6-5 Overzicht van de cumulatieve effecten op water

Effect	Verwaarloosbaar	Cumulatief
Constructiefase		
Effecten op de hydrodynamica door funderingen en WEC's	Ja	n.v.t.
Effecten op de waterkwaliteit door funderingen en WEC's	Ja	n.v.t.
Impact op de turbiditeit door funderingen en WEC's	Neen	S
Operationele fase		
Effecten op de hydrodynamica door funderingen en WEC's	Ja	n.v.t.
Effecten op de waterkwaliteit door funderingen en WEC's	Ja	n.v.t.
Impact op de turbiditeit door funderingen en WEC's	Ja	n.v.t.
Ontmantelingsfase		
Analoge effecten als constructiefase	Ja	n.v.t.

(S: cumulatief effect = som van de effecten; >S: cumulatief effect is groter dan som van de effecten; <S: cumulatief effect is kleiner dan som van de effecten)

6.3.2.1 Constructiefase

Impact op de turbiditeit

De constructie van de funderingen zal een lokale en tijdelijke verhoging van de turbiditeit veroorzaken. Deze zal het grootst zijn voor de configuratiealternatieven met het hoogste aantal gravitaire funderingen (38 voor Mermaid en 37 voor Northwester 2). In vergelijking echter met de van nature optredende turbiditeitsconcentraties tijdens stormen en de beperkte periode en afstand waarover een turbiditeitsverhoging optreedt (IMDC, 2014b als externe bijlage), wordt dit ongeacht het cumulatief scenario als een aanvaardbaar effect beoordeeld.

Zelfs voor het hypothetische geval dat binnen verschillende parken tegelijkertijd funderingen worden aangelegd, is de invloedsstraal van de werken op de turbiditeit in de meeste gevallen te beperkt opdat de turbiditeitspluimen elkaar zouden versterken. De baggerpluimen verspreiden zich parallel aan de overheersende stromingsrichting, nl. NE-ZW. In SeaStar en Rentel worden nabijgelegen Belgische parken dus niet beïnvloed.

In geval van Mermaid en Northwester 2, die wel gedeeltelijk in elkaars verlengde liggen, kunnen in principe baggerpluimen elkaar versterken. Modellering van gelijktijdig baggeren in Mermaid en Northwester 2 op locaties in elkaars verlengde volgens de overheersende stroming toont aan dat de individuele baggerpluimen enkel aan de randen cumuleren, en dat

de overschrijdingstijd van de achtergrondconcentratie en de maximale concentraties niet sterk beïnvloed worden. De pluimen waren reeds verdund tot onder de achtergrondconcentratie op het moment dat ze cumuleren.

De eerste monitoringsresultaten van het nabijgelegen C-Power windpark (Thorntonbank) en het Belwind windpark (Blighbank) bevestigen dat de bouw van beide parken geen significante turbiditeitsverhoging veroorzaken (Van den Eynde *et al.*, 2013).

6.3.2.2 Operationele fase

Gezien de invloedszone van funderingen en de WEC's op de stroming zo beperkt is, en er geen interferentie optreedt tussen de invloed van diverse structuren op de stroming, worden geen cumulatieve effecten verwacht op de hydrodynamica. Er worden evenmin cumulatieve effecten verwacht op waterkwaliteit en turbiditeit ten gevolge van de exploitatie van de acht beschouwde windparken.

6.3.2.3 Ontmantelingsfase

De effecten tijdens de ontmantelingsfase zullen gelijkaardig zijn als in de inrichtingsfase. Voor de meeste effecten zal de impact bovendien geringer zijn dan tijdens de constructiefase daar de intensiteit van de activiteiten afneemt (bvb. geen nivelleringen van de zeebodem meer, geen baggeractiviteiten gekoppeld aan de aanleg van funderingsputten voor gravitaire funderingen).

6.3.2.4 Bekabeling

Tabel 6-6 Overzicht van de cumulatieve effecten op water

Effect	Verwaarloosbaar	Cumulatief
Constructiefase		
Effecten op de hydrodynamica door bekabeling	Ja	n.v.t.
Effecten op de waterkwaliteit door bekabeling	Ja	n.v.t.
Impact op de turbiditeit door bekabeling	Neen?	<S
Operationele fase		
Effecten op de hydrodynamica door bekabeling	Ja	n.v.t.
Effecten op de waterkwaliteit door bekabeling	Ja	n.v.t.
Impact op de turbiditeit door bekabeling	Ja	n.v.t.
Ontmantelingsfase		
Effecten op de hydrodynamica door verwijdering	Ja	n.v.t.
Effecten op de waterkwaliteit door verwijdering	Ja	n.v.t.
Impact op de turbiditeit door verwijdering bekabeling	Neen?	<S

Impact op de turbiditeit

De impact op de turbiditeit wordt voor de aanleg van parkkabels, verbindingskabels en exportkabels als zeer tijdelijk en lokaal beoordeeld, zeker in vergelijking met de impact tijdens

de aanleg van funderingen (zie hoger). Het effect wordt eveneens als aanvaardbaar beoordeeld.

Bovendien zou de gezamenlijke (zelfde trajecten) en gelijktijdige installatie van kabels in een (gedeeltelijk) gemeenschappelijke kabelcorridor een geringere impact(zone) kunnen betekenen. Hierbij vormt de optie dat verschillende partijen zich aansluiten op de geplande Elia Alpha-installatie, die zijn eigen kabels naar land voorziet die gelijktijdig en binnen een versmalde corridor zullen aangelegd kunnen worden, een veelbelovend initiatief.

Tijdens de operationele fase worden er geen cumulatieve effecten verwacht. Indien verschillende parken tegelijk tot ontmanteling overgaan worden dezelfde effecten op turbiditeit verwacht als tijdens de constructiefase.

6.3.3 Klimaat en atmosfeer

Tabel 6-7 Overzicht van de cumulatieve effecten op klimaat en atmosfeer

Effect	Verwaarloosbaar	Cumulatief
Constructiefase		
Invloed op het globaal (wind)klimaat	Ja	n.v.t.
Emissies tijdens de assemblage van de turbines	Ja	n.v.t.
Emissies tijdens de transport- en bouwfase	Ja	n.v.t.
Operationele fase (inclusief bekabeling)		
Impact op globaal klimaat	Ja	n.v.t.
Impact op lokaal windklimaat	Ja	n.v.t.
Impact op temperatuursklimaat o.i.v. kabels	Ja	n.v.t.
Emissies ten gevolge van inspectie en onderhoud	Ja	n.v.t.
Vermeden emissies op het land	Neen	S
Ontmantelingsfase (inclusief bekabeling)		
Invloed op het globaal (wind)klimaat	Ja	n.v.t.
Emissies tijdens de transport- en afbraakfase	Ja	n.v.t.

(S: cumulatief effect = som van de effecten; >S: cumulatief effect is groter dan de som van de effecten; <S: cumulatief effect is kleiner dan de som van de effecten)

6.3.3.1 Constructiefase

Er worden geen cumulatieve effecten verwacht op het klimaat of de atmosfeer tijdens de constructiefase.

6.3.3.2 Operationele fase

Vermeden emissies op het land

Een belangrijk effect tijdens de operationele fase zijn de vermeden emissies op het land als gevolg van het feit dat de netto elektriciteitsproductie van de windparken niet door middel van klassieke, al dan niet in combinatie met nucleaire, productie dient te worden opgewekt.

In Tabel 6-8 wordt een overzicht gegeven van de vermeden emissies van de verscheidene parken in vergelijking met klassieke productie, rekening houdend met de vooropgestelde opbrengst en het effect van het omvaren van schepen. De emissiefactoren voor SO_2 en NO_x zijn de voorbije jaren sterk gedaald door strengere maatregelen (VMM, 2012). De vermeden emissies voor de parken waarvoor reeds een vergunning is uitgereikt, zijn daarom hier herberekend met de huidige emissiefactoren. Er kan verwacht worden dat deze daling zich in de toekomst nog verder zet.

Tabel 6-8 De energiebalans van de acht windparken. Aangezien de uiteindelijke nettoproductie nog niet is gekend voor elk park, zijn de minimale en maximale waarden weergegeven

Vermeden emissies	SO_2 (ton/jaar)	NO_x (ton/jaar)	CO_2 (ton/jaar)
C-Power	73	68	743.500
Belwind	81	76	843.400
Northwind	63	58	670.000
Norther	57 – 112	52 – 107	593.900 – 1.117.500
Rentel	65 – 127	60 – 123	668.700 – 1.267.100
SeaStar	57 – 73	52 – 67	593.900 – 743.500
Mermaid	65 – 89	60 – 84	668.700 – 893.100
NW2	61 – 81	56 – 76	631.300 – 818.300
Totaal	524 – 699	480 – 658	5.413.600 – 7.096.500

Bij het operationeel worden van alle windparken zal het scheepvaartverkeer inderdaad verder moeten omvaren wat resulteert in een toename in af te leggen afstand per jaar in het beïnvloedingsgebied (BDNZ, deel UK, overgrote deel NL, klein deel FR) ten opzicht van een basisscenario zonder Mermaid en Northwester 2 (MARIN-IMDC, 2014). Op het BDNZ resulteert het omvaren in een afname wegens het meer gebundelde verkeer. Door de bijkomende scheepvaart zal ook de emissie van broeikasgassen toenemen. De toename aan CO_2, NO_x en SO_2 uitstoot door omvaren is minder dan 1% van de vermeden emissies door klassieke productie.

Tabel 6-9 Verwachte emissies voor het scenario met de aanwezigheid van alle parken (MARIN-IMDC, 2014) en bijkomende emissie door omvaren t.o.v. het basisscenario zonder Mermaid en Northwester 2

	Op BDNZ+NL+UK+FR na omvaren (ton/jaar)	Relatief t.o.v. basisscenario (Belwind, SeaStar, Northwind, Rentel, C-Power, Norther)	Absolute toename t.o.v. basisscenario (ton/jaar)
CO_2	2.482.000	+0,18%	4.470
CO	1.460.000	+0,08%	1.168
SO_2	6.000	+0,08%	4,8

	Op BDNZ+NL+UK+FR na omvaren (ton/jaar)	Relatief t.o.v. basisscenario (Belwind, SeaStar, Northwind, Rentel, C-Power, Norther)	Absolute toename t.o.v. basisscenario (ton/jaar)
NO_x	15.000	+0,08%	12

In 2013 werd het Derde Vlaams Klimaatsplan goedgekeurd. De vermeden emissies van de acht windparken zullen hiervoor een belangrijke bijdrage leveren.

6.3.3.3 Ontmantelingsfase

Er worden geen cumulatieve effecten verwacht op het klimaat of de atmosfeer tijdens de ontmantelingsfase.

6.3.3.4 Bekabeling

Er worden geen cumulatieve effecten verwacht op het klimaat of de atmosfeer tijdens de ontmantelingsfase.

6.3.4 Geluid en trillingen

Tabel 6-10 Overzicht van de cumulatieve effecten van geluid en trillingen

Effect	Verwaarloosbaar	Cumulatief
Constructiefase		
Geluid onder water heien funderingspalen	Neen	S
Geluid boven water heien funderingspalen	Neen	S
Scheepvaart	Ja	n.v.t.
Baggeren funderingsputten	Neen	S
Operationele fase		
Geluid onderwater	Neen	S
Geluid bovenwater	Neen	>S
Ontmantelingsfase		
Analoog constructiefase	Ja	n.v.t.
Bekabeling		
Baggeren van de kabel	Neen	<S

(S: cumulatief effect = som van de effecten; >S: cumulatief effect is groter dan de som van de effecten; <S: cumulatief effect is kleiner dan de som van de effecten)

6.3.4.1 Constructiefase

Het effect van het geluid en de trillingen tijdens de constructiefase is tijdelijk. Er zal enkel een cumulatief effect optreden wanneer de constructiefases van de windparken volledig gelijktijdig uitgevoerd worden.

6.3.4.1.1 Geluid onder water bij heien funderingspalen

Het geluid van het heien van funderingspalen kan onderwater tot op een relatief grote afstand worden waargenomen, met slechts een geringe geluidsdemping tot de projectgrenzen voor elk park.

Het is mogelijk dat de bouwfasen van Mermaid en Northwester 2 grotendeels samenvallen, alsook met de bouwfase van andere geplande parken zoals SeaStar, de 2de fase van Belwind, Rentel of Norther. Het simultaan heien van de funderingspalen in meerdere parken behoort dus tot de mogelijkheden. Of een cumulatief effect kan optreden is afhankelijk van de kans van voorkomen van simultane hamerslagen en de onderlinge afstanden tot de heiwerkzaamheden.

In MER SeaStar (IMDC, 2013e) werd nagegaan wat het cumulatief specifiek geluid is van simultane heiwerkzaamheden. Stel dat een fundering in één park (A) simultaan geheid wordt met een nabijgelegen fundering in een ander park (B) op ca. 1.200 m van elkaar (bvb. 2x 500 m veiligheidszone tussenin). Een waarnemer op 500 m van de heiwerken in A (afstand loodrecht op de virtuele verbinding tussen de betreffende funderingen in A en B), zal zich op 1300 m van de heiwerken in B bevinden (schuine zijde rechthoekige driehoek). Een waarnemer op 1.000 m van de heiwerken in A zal zich op ca. 1.500 m van de heiwerken in B bevinden. Terwijl een waarnemer op 4.000 m van A, zich op 4.176 m van B zal bevinden. Dus voor de impactzone op relatief korte afstand tot de windparken zijn de onderlinge afstanden van het waarnemingspunt meestal verschillend, terwijl op relatief grote afstand tot de windparken de afstand tot het ene of andere windpark eerder gelijkwaardig is. Dit principe wordt voorgesteld in Tabel 6-11.

Volgens Norro et al. (2010) kunnen in het BDNZ de piekgeluidsniveau's onderwater op andere afstanden dan de meetafstand worden geëxtrapoleerd met de attenuatieformule:

Attenuation (Blighbank) = 27,4*log(R) - 0,0004*R

Tabel 6-11 Cumulatief specifiek geluid van simultane heiwerkzaamheden in A en B, met 1200 m tussenafstand, voor een waarnemer op toenemende afstand tot de werken

Specifiek geluid onder water (in dB (re. 1µPa))
Bvb. heien monopile (Ø 5 m) Blighbank (196,5 dB @ 500 m) (Norro et al. 2010)

Simulatie1: laterale afstand 500 m tot A → afstand tot dichtst bijzijnde paal B = 1300 m

$L_{peak1\ 500m}$ = 196,9 dB

$L_{peak2\ 1300m}$ = 185,9 dB

$L_{peak\ cumulatief}$ = $L_{peak1\ 500m}$ + 0,3 dB = 197,2 dB

Simulatie2: laterale afstand 1000 m tot A → afstand tot dichtst bijzijnde paal B = 1500 m

$L_{peak1\ 1000m}$ = 188,9 dB

$L_{peak2\ 1500m}$ = 184,2 dB

$L_{peak\ cumulatief} = L_{peak1\ 1000m}$ + 1,2 dB = 190,1 dB

Simulatie3: laterale afstand 2000 m tot A → afstand tot dichtst bijzijnde paal B = 2300 m

$L_{peak1\ 2000m}$ = 181 dB

$L_{peak2\ 2300m}$ = 179,5 dB

$L_{peak\ cumulatief} = L_{peak1\ 2000m}$ + 2,3 dB = 183,3 dB

Simulatie4: laterale afstand 4000 m tot A → afstand tot dichtst bijzijnde paal B = 4176 m

$L_{peak1\ 4000m}$ = 173,6 dB

$L_{peak2\ 4176m}$ = 173,1 dB

$L_{peak\ cumulatief} = L_{peak1\ 4000m}$ + 2,7 dB = 176,3 dB

Simulatie5: laterale afstand 8000 m tot A → afstand tot dichtst bijzijnde paal B = 8089m

$L_{peak1\ 8000m}$ = 166,9 dB

$L_{peak2\ 8089m}$ = 166,8 dB

$L_{peak\ cumulatief} = L_{peak1\ 8000m}$ + 2,9 dB = 169,8 dB

Uit de simulaties blijkt dat op grotere afstand (> 4.000 m) tot de windparken het cumulatief effect maximaal een toename van 3 dB van het piekgeluidsniveau kan veroorzaken bij een gelijktijdige impact van twee hamerslagen. Op kortere afstand tot de windparken is het cumulatief effect steeds kleiner dan 3 dB.

Gezien de heiactiviteiten slechts tijdelijk voorkomen en bij het heien een impulsgeluid (niet continu) wordt opgewekt, is de kans klein dat twee impulsgeluiden uit de windparken met elkaar interfereren.

Bij het heien van palen zal het cumulatieve geluidsniveau van de simultane heiwerkzaamheden in meerdere parken niet groter zijn dan de som van de effecten van de parken afzonderlijk, gezien het onwaarschijnlijk is dat het heien synchroon zal gebeuren. Indien het synchroon verloop sporadisch zou voorkomen veroorzaakt het cumulatief effect max. een toename van 3 dB in het piekniveau. De geluidsdosis, waarbij rekening wordt gehouden met het aantal slagen per tijdsperiode, zal bij gelijktijdige constructie van verschillende windparken kunnen leiden tot een eventueel hoger geïntegreerd totaal geluidsniveau.

Het cumulatieve effect zal dus niet groter zijn dan de som van de effecten per windpark.

6.3.4.1.2 Geluid boven water bij heien funderingspalen

Boven water zal het specifieke geluid van het heien van een windpark niet hoorbaar zijn ter hoogte van een ander windpark, het cumulatieve effect zal bijgevolg niet groter zijn dan de som van de effecten per windpark.

6.3.4.1.3 Baggeren van de funderingen

Bij het baggeren kan het onderwatergeluid tot op een relatief grote afstand (verder dan de windparken) worden waargenomen met slechts een geringe geluidsdemping. Gezien het baggeren slechts tijdelijk voorkomt bij de keuze van een gravitaire fundering of bij het nivelleren van de helft van monopiles (statische erosiebescherming), zal het cumulatieve effect niet groter zijn dan de som van de effecten per windpark.

6.3.4.2 Operationele fase

6.3.4.2.1 Onderwater geluid van de windturbines en transformatoren

Het effect van de windturbines zal op een afstand van 500 m (binnen de veiligheidszone) reeds gemaskeerd worden door het achtergrondgeluid.

Het specifieke geluid van de windturbines zal niet hoorbaar zijn ter hoogte van een ander windpark, het cumulatieve effect zal bijgevolg niet groter zijn dan de som van de effecten per windpark.

6.3.4.2.2 Bovenwater geluid van de windturbines en transformatoren

In het kader van MER SeaStar werden bovenwatergeluidsmodelleringen uitgevoerd waarin de geluidsoverdracht van de windturbines en transformatorstations (OHVS) van zes windparken (SeaStar, Belwind, Northwind, Norther, C-Power en Rentel) werd berekend onder het worst-case scenario (10 MW turbines) (IMDC, 2013e).

Uit de modellering bleek dat in een matig belastende situatie[10] het geluid op een afstand van 1,6 km en op een afstand van 3,4 km een geluidsniveau bereikt van respectievelijk 45 en 40 dB(A). Bij de cumulatieve werking van de windparken in een matig belastende situatie zal er enkel in de zones tussen de windparken een verhoogd geluidsniveau aanwezig zijn t.o.v. de individuele werkingstoestand van elk windpark, het cumulatieve effect zal bijgevolg groter zijn dan de som van de effecten van elk individueel windpark.

Op een afstand van 500 m rond de zes parken samen zal het geluidsniveau lager zijn dan 50 dB(A). Dit wordt eveneens bekomen wanneer de windparken afzonderlijk in werking zijn. Buiten de 500 m zone tot het naburige windpark zal het cumulatieve effect bijgevolg niet groter zijn dan de som van de effecten per windpark. Verwacht wordt dat ook voor acht parken het geluidsniveau op een afstand van 500 m rondom het geluidsniveau lager zal zijn dan 50 dB(A).

Het specifieke geluid van zes parken samen, berekend ter hoogte van een waarnemer aan de kust, is slechts +6,5 dB(A) hoger t.o.v. de afzonderlijke werkingstoestand voor de worst-case

[10] Matig belastende situatie is deze situatie waarbij er voldoende wind is om de windturbines te doen draaien, deze wind voldoende in de richting van de waarnemer waait om opwaartse afbuiging van de temperatuurgradiënt te compenseren, maar de windsterkte toch zodanig beperkt is dat geen geluid door kerende golven in zee ontstaat.

configuratie van het SeaStar windpark en bevindt zich ruim onder het huidig achtergrondgeluidsniveau van 30 tot 40 dB(A) tijdens de nachtperiode. Er wordt ook voor acht parken geen geluidshinder verwacht ter hoogte van de dichtstbijzijnde woningen. Daar er een verwaarloosbaar effect verwacht wordt van de individuele effecten (van de afzonderlijke windparken) zal er ook een verwaarloosbaar effect aanwezig zijn op land van het geluid boven water afkomstig van de 8 windparken.

6.3.4.3 Ontmantelingsfase

De ontmantelingsmethodiek voor de overige windparken, zoals C-Power, Belwind of Northwind, gebeurt op eenzelfde wijze. Momenteel is nog niet geweten op welke manier men de turbines zal verwijderen. Wanneer het windpark zal ontmanteld worden zullen op basis van de staat van het park, de geldende wetgeving en de beschikbare technieken, werkmethodes worden ontwikkeld waarin ook de milieuzorg maximaal zal geïntegreerd zijn. De effecten van de ontmanteling zullen voor elk windpark nagenoeg identiek zijn.

De effecten tijdens de ontmanteling zullen vergelijkbaar zijn aan deze van de constructiefase. Het effect van het geluid en de trillingen tijdens de ontmanteling zijn tijdelijk. Er zal enkel een cumulatief effect optreden wanneer de ontmantelingsfases van de windparken gelijktijdig uitgevoerd worden.

6.3.4.4 Bekabeling

6.3.4.4.1 Baggeren van de kabels

Een gezamenlijke en dus gelijktijdige installatie van de kabels voor de verschillende windparken (cf. BOG-project en gemeenschappelijke kabelcorridors) zou een minder lange geluidstoename met zich meebrengen dan wanneer de kabels voor elk van de windparken afzonderlijk worden aangelegd, er verschillende trajecten gehanteerd worden of wanneer kabels langs eenzelfde traject maar op een ander tijdstip gelegd worden.

6.3.5 Fauna, flora & biodiversiteit

6.3.5.1 Benthos

Tabel 6-12 Overzicht van de cumulatieve effecten op benthos

Effect	Verwaarloosbaar	Cumulatief
Constructiefase		
Biotoopverstoring	Neen	S
Verlies aan organismen	Neen	<S
Verstoring door sedimentatie	Neen	S
Operationele fase		
Andere vormen van verstoring	Ja	n.v.t.
Aanwezigheid windparken	Neen	S
Ontmantelingsfase		
Andere vormen van verstoring	Ja	n.v.t.

Effect	Verwaarloosbaar	Cumulatief
Bekabeling		
Biotoopverstoring	Neen (?)	<S
Verstoring door turbiditeit	Ja	n.v.t.
Elektromagnetische velden	Ja	n.v.t.
Opwarming	Ja	n.v.t.

(S: cumulatief effect = som van de effecten; >S: cumulatief effect is groter dan de som van de effecten; <S: cumulatief effect is kleiner dan de som van de effecten)

6.3.5.1.1 Constructiefase

Biotoopverstoring

De biotoopverstoring is afhankelijk van het funderingstype, het aantal turbines en de verankeringswijze van de WEC's. De biotoopverstoring wordt opgedeeld in een permanent direct biotoopverlies en een (al dan niet tijdelijke) indirecte biotoopverstoring tengevolge van stockage van gebaggerd zand. Indien gekozen wordt voor een monopile of een jacket fundering met een dynamische erosiebescherming wordt geen bijkomend indirect verlies door de (tijdelijke) stockage van gebaggerd zand veroorzaakt. Bij gravitaire funderingen of monopiles met statische erosiebescherming is dit wel het geval. Het worst case scenario wat betreft de bodemverstoring van WEC's zijn de Seabased units die via lokale, kleinere gravitaire funderingen worden verankerd.

Tabel 6-13 geeft de totale biotoopverstoring weer voor de acht windparken. Momenteel heeft C-Power zes gravitaire funderingen en 48 jacket funderingen geplaatst, Belwind 56 en Northwind 72 monopiles. De overige windturbines van Belwind zullen hoogstwaarschijnlijk ook bestaan uit monopile funderingen. Voor het Norther, Rentel en SeaStar is de configuratie nog niet gekend. Voor deze parken en voor Mermaid en Northwester 2 wordt dan ook uitgegaan van een worst case scenario, zijnde respectievelijk 47, 78, 62, 38 en 37 gravitaire funderingen.

Tabel 6-13 Maximale biotoopverstoring per windpark.

	C-Power	Northwind	Belwind	Norther	Rentel	SeaStar	Mermaid	NW2	Totaal
Totaal biotoop-verlies (m²) (stockage 5 m)	116.100	2.095.200	64.700	1.066.300	3.116.000	2.492.800	1.519.100 + 54.000 WEC	1.402.200	11.926.400
Relatieve opper-vlakte t.o.v. BDNZ (stockage 5 m)	0,003%	0,06%	0,002%	0,03%	0,09%	0,07%	0,05%	0,04%	0,35%

De oppervlakte-inname voor deze worst case scenario's blijft relatief klein in vergelijking met het gehele BDNZ (max. slechts 0,35%). Bovendien situeert dit relatieve verlies zich niet in een natuurbeschermingsgebied of een gebied gekenmerkt door een hoge ecologische waarde, waardoor er besloten kan worden dat het cumulatieve verlies aan biotoop voor benthische organismen een gering tot matig negatief effect zal hebben.

Verlies aan organismen

Het verlies aan organismen is recht evenredig met het biotoopverlies. De totale biomassa van het BDNZ wordt na extrapolatie geschat op >100.000 ton. Reeds eerder werd erop gewezen dat offshore zandbanken, waarop de grootste windparken gelegen zijn, niet geïdentificeerd worden als gebieden met een zeer hoge natuurwaarde. Er kan dus verwacht worden dat het relatieve verlies ten opzichte van de Belgische wateren nog kleiner zal zijn dan een ruwe extrapolatie van deze biomassa voor het volledige BDNZ.

In vergelijking met andere sectoren zoals de boomkorvisserij en de aggregaatextractie is het impactgebied relatief klein. Tenslotte kan er nog op gewezen worden dat door de creatie aan nieuw hard habitat (natuurlijke rotsmaterialen als erosiebescherming) de biodiversiteit zal toenemen. Er kan verwacht worden dat deze positieve bijdrage relatief groter zal zijn bij het afsluiten of creëren van een groter aaneensluitend gebied (vandaar cumulatief effect <S).

Het cumulatieve effect moet dus gezien worden als het negatieve effect aan verlies aan organismen door de acht parken, gecorrigeerd met het positieve effect van het refugium en de creatie aan nieuw habitat. Voor het cumulatieve scenario wordt het totale effect als matig tot gering negatief beoordeeld, afhankelijk van de beschouwde schaal (t.o.v. Belgisch concessiegebied versus BDNZ). Gezien hier de worst case cumulatieve scenario's (hoogste aantal GBF turbines en WEC's) worden voorgesteld, wordt dit effect voor de andere configuratiealternatieven van Mermaid en Northwester 2 kleiner ingeschat. Er kan dus besloten worden dat ongeacht het scenario het verlies aan organismen tengevolge van de windparken als aanvaardbaar kan beschouwd worden.

Verstoring door sedimentatie

Dit type van verstoring is voornamelijk gerelateerd met de baggeractiviteiten nodig voor het plaatsen van de funderingen en het storten van het uitgebaggerde zand (GBF, MP met statische erosiebescherming). De grootte van de impact zal dan ook nauw samenhangen met de biotoopverstoring (zie hoger) en kan voor de verschillende cumulatieve scenario's als gering negatief worden beoordeeld.

6.3.5.1.2 Operationele fase

Door de aanwezigheid van fauna op de windturbines kan de flux aan organisch materiaal het sediment rond de turbines beïnvloeden. Er kan verwacht worden dat de effecten zich in de toekomst verspreiden in het hele windparkgebied, wat kan leiden tot een verandering in de macrobenthische gemeenschap in de volledige zone (Coates et al., 2013a). Doordat het gebied afgesloten wordt voor (boomkor)visserij, wordt ook een refugium gecreëerd voor het benthos waardoor de bodem een ruimere kans krijgt zich te herstellen. In totaal gaat het om een oppervlakte (incl. veiligheidszone 500 m) van 240 km² of m.a.w. ca. 7% van het BDNZ.

De cumulatieve effecten op het benthos kunnen zowel positief als negatief worden ingeschat. Verdere opvolging in het lopende monitoringsprogramma is aangewezen.

6.3.5.1.3 Ontmantelingsfase

Er worden eveneens geen cumulatieve effecten verwacht tijdens de ontmantelingsfase.

6.3.5.1.4 Bekabeling

Biotoopverstoring

Technisch gezien is het leggen van één grote kabel voor de verschillende parken onmogelijk. Er kan aangenomen worden dat indien gekozen wordt voor een maximale aansluiting met bestaande trajecten (BOG-project van Elia), het ruimtebeslag en dus ook het cumulatieve effect geminimaliseerd wordt. In deze optiek wordt hierbij dan ook gekozen voor het best beschikbare alternatief voor het milieu. Hieraan wordt reeds voldaan door de keuze van SeaStar, Rentel, Norther, Northwind en Belwind om hun kabeltracés zoveel mogelijk op elkaar af te stemmen. Ook de voorgestelde kabeltracés die Mermaid en Northwester 2 voorstellen voor de offshore kabelverbinding tussen park en land volgen zo veel mogelijk de tracés van de andere windparken of maken optimaal gebruik van een aansluiting in een (deels) gemeenschappelijke kabelcorridor op een offshore transformatorplatform (Alpha-installatie binnen BOG-proejct, Elia).

6.3.5.2 Vissen

Tabel 6-14 Overzicht van de cumulatieve effecten op de vissen

Effect	Verwaarloosbaar	Cumulatief
Constructiefase		
Biotoopverstoring	Neen	S
Verlies aan organismen	Ja	n.v.t.
Verstoring door sedimentatie	Ja	n.v.t.
Geluidsverstoring en trillingen	Neen	S
Operationele fase		
Geluidsverstoring en trillingen	Ja	n.v.t.
Andere vormen van verstoring	Ja	n.v.t.
Aanwezigheid windparken	Neen	S(?)
Ontmantelingsfase		
Analoog constructiefase	Ja	n.v.t.
Bekabeling		
Biotoopverstoring	Ja	n.v.t.
Verstoring door turbiditeit	Ja	n.v.t.
Elektromagnetische velden	Nee ?	S
Opwarming	Ja	n.v.t.

(S: cumulatief effect = som van de effecten; >S: cumulatief effect is groter dan de som van de effecten; <S: cumulatief effect is kleiner dan de som van de effecten)

6.3.5.2.1 Constructiefase

Biotoopverstoring

De effecten van biotoopverstoring op de vissen zijn gelijkaardig met de effecten op het benthos (§ 6.3.5.1). Ongeacht het gekozen scenario worden de cumulatieve effecten als aanvaardbaar beoordeeld.

Geluidsverstoring en trillingen

Het cumulatieve effect van het heien wordt berekend als de som van de effecten per windpark. Ook voor de installatie van de Wavestar WEC moeten de funderingspalen geheid worden. Bij het gebruik van gravitaire funderingen of indien men de suction bucket techniek gebruikt voor monopiles en jacket funderingen, wordt de geluidsverstoring net zoals voor de andere WEC-types verwaarloosbaar.

Gezien er reeds een hoog aandeel aan monopile en jacketfunderingen zijn geplaatst (Belwind, Northwind en C-Power) en er mogelijk nog vele bijkomen bij de andere beschouwde windparken (Norther, Rentel en SeaStar onzeker), kunnen de cumulatieve effecten als significant negatief worden beschouwd. Vermits echter de geplande windparken gespreid over enkele jaren worden gebouwd, wordt het effect van de geluidsverstoring verspreid in tijd en ruimte en als dusdanig als aanvaardbaar beschouwd.

Verder onderzoek naar de enkelvoudige en cumulatieve effecten van het heien als naar mogelijke milderende maatregelen tijdens uitvoering is wenselijk.

6.3.5.2.2 Operationele fase

Er worden geen negatieve cumulatieve effecten op vissen verwacht tijdens de operationele fase.

Door het afsluiten van het gebied voor de visserij krijgen de vispopulaties de mogelijkheid zich te herstellen. In buitenlandse windparken werd een verhoging van tong, mul en wijting geobserveerd (ter Hofstede, 2008). Aangezien de effecten soortafhankelijk zijn, kan het effect van de aanwezigheid van een windpark op vissen zowel positief als negatief beschouwd worden. Het cumulatief effect van alle windparken is momenteel nog moeilijk te voorspellen en een gepaste monitoring op langere termijn is noodzakelijk.

6.3.5.2.3 Ontmantelingsfase

Er worden eveneens geen cumulatieve effecten verwacht tijdens de ontmantelingsfase.

6.3.5.2.4 Bekabeling

Eén kabel veroorzaakt slechts een zeer lokale en geringe verhoging van het elektromagnetisch veld. De cumulatieve effecten van meerdere kabels is minder goed gekend en het is niet uitgesloten dat de som van de effecten wel een significant effect hebben (Gill en Taylor, 2001; Gill *et al*., 2005). Dit wordt momenteel beschouwd als een leemte in de kennis. De tussenafstand bij parallelle kabels in een kabelcorridor is minstens 50 m. Enkel ter hoogte van de aansluitingspunten aan turbines, OHVS en WEC's komen verschillende kabels dichter bij elkaar te liggen. Het niet uit te sluiten dat de cumulatieve effecten van deze kabels een significant negatief effect kunnen hebben langs dit beperkte traject.

Door de aanleg van het Belgian Offshore Grid van Elia zou niet ieder park afzonderlijk een of meerdere kabels naar de kust moeten installeren. Het aantal kabels wordt geoptimaliseerd en

de timing van uitvoering zal tevens korter op elkaar volgen waardoor de bouwfase korter wordt.

6.3.5.3 Vogels

Tabel 6-15 Overzicht van de cumulatieve effecten op de vogels

Effect	Verwaarloosbaar	Cumulatief
Constructiefase		
Verstoring door sedimentatie	Ja	n.v.t.
Geluidsverstoring	Ja	n.v.t.
Voedselbeschikbaarheid	Ja	n.v.t.
Operationele fase		
Aanvaringsaspect	Neen	S
Barrière effect en habitatverlies	Neen	>S
Voedselbeschikbaarheid	Ja	n.v.t.
Ontmantelingsfase		
Analoog constructiefase	Ja	n.v.t.
Bekabeling		
Algemene verstoring	Ja	n.v.t.

(S: cumulatief effect = som van de effecten; >S: cumulatief effect is groter dan de som van de effecten; <S: cumulatief effect is kleiner dan de som van de effecten)

6.3.5.3.1 Constructiefase

De effecten op vogels tijdens de constructiefase worden als gering negatief tot onbestaande geschat. Er kan wel gesteld worden dat het mogelijke effect van verstoring kleiner zal zijn indien er geen overlapping bestaat in bouwperiodes van de verschillende windparken. Op die manier zal de zone waar verstoring optreedt kleiner zijn dan wanneer alle parken tegelijk worden gebouwd. Hierdoor zal wel de tijdsduur van de verstoring toenemen. In alle gevallen (afzonderlijk bouwen of samen bouwen) zal de som van de verstoringseffecten aanvaardbaar zijn, en worden er geen significante effecten verwacht op de verschillende vogelsoorten.

6.3.5.3.2 Operationele fase

Aanvaringsaspect

Momenteel is het zeer moeilijk om de cumulatieve effecten met betrekking tot aanvaring tussen vogels en windturbines in te schatten. Voorlopig worden namelijk nergens anders in Europa verschillende windparken zo dicht bijeen in een aaneengesloten geheel over zo'n afstand gebouwd als op het BDNZ. Om die reden is het van groot belang dat er een goede opvolging en monitoring van de aanvaringsaspecten wordt uitgevoerd.

Er kan verwacht worden dat de aanwezigheid van een groot aantal windparken in een relatief kleine zone een licht verhoogde mortaliteit van zeevogels op populatieniveau tot gevolg kan hebben. De reden hiervoor is dat veel soorten zeevogels lang leven en jaarlijks een laag aantal jongen groot brengen. Ook al vallen er waarschijnlijk relatief gezien weinig

aanvaringsslachtoffers, dit kan op lange termijn toch een significant effect hebben op de populatie van bepaalde soorten (Drewitt & Langston, 2006). In Duitsland en België beschouwen Dierschke *et al*. (2003) en Everaert & Peymen (2013) een maximale toename in mortaliteit van 5% voor algemene soorten en 1% voor bedreigde soorten als aanvaardbaar.

Recente resultaten van Vanermen *et al.* (2013) suggereren dat het windpark op de Thorntonbank een aantrekkende werking heeft op dwergmeeuw, grote mantelmeeuw, drieteenmeeuw, grote stern en visdief, terwijl het park op de Blighbank meer stormmeeuwen, zilvermeeuwen en kleine mantelmeeuw aantrekt. Hoewel dit positief is in het licht van habitatverlies, zorgt een verhoogde activiteit van deze soorten voor een hoger aanvaringsrisico (Vanermen *et al.*, 2013a).

Het aanvaringsrisico voor vogels wordt zoals reeds aangehaald, voornamelijk bepaald door de vogelflux en de hoogte waarop ze vliegen. Op basis van de vaststellingen van Vanermen *et al.* (2013a) en Vanermen & Stienen (2009) kan toch het volgende verwacht worden:

- De bijlage I soorten grote stern en visdief vliegen doorgaans zeer laag en zijn bijgevolg minder gevoelig voor aanvaring. Ook fuut, noordse stormvogel en zwarte zee-eend zijn soorten die zelden op rotorhoogte vliegen, waardoor zij eveneens minder gevoelig zijn voor aanvaring. De aanwezigheid van meerdere windparken binnen een bepaalde zone zal waarschijnlijk weinig aan hun vlieggedrag veranderen en zal vermoedelijk niet leiden tot een bijkomend cumulatief effect.
- Alk en zeekoet zijn soorten die de windparkzone doorgaans vermijden en bijgevolg niet tot aanvaring komen met de windturbines. De aanwezigheid van meerdere windparken heeft voor deze soort bijgevolg meer een effect m.b.t. vermijding en de daarmee gepaard gaande verstoring van deze soort.
- De grote meeuwen (kleine mantelmeeuw, grote mantelmeeuw en zilvermeeuw) zijn eerder algemeen voorkomend op het BDNZ en zullen door de combinatie van hun grote formaat, lage wendbaarheid en de vlieghoogte het gevoeligst zijn voor aanvaring. Of de aanwezigheid van meerdere windparken binnen een relatief kleine afstand van elkaar een bijkomend effect zal hebben op de aanvaring van deze soorten kan momenteel nog niet gezegd worden. Verder onderzoek is hierbij wenselijk.
- Drieteenmeeuw, dwergmeeuw, jan-van-gent, grote jager en stormmeeuw zijn matig gevoelig voor aanvaring. Ook hier kan nog niet besloten worden of de aanwezigheid van meerdere windparken binnen een relatief kleine afstand van elkaar een bijkomend effect zal hebben op de aanvaring van deze soorten en is verder onderzoek wenselijk.

Degraer *et al*. (2013b) hebben de geschatte aanvaringsrisico's op de Blighbank geëxtrapoleerd naar een Europees scenario waarbij 10.000 turbines geplaatst zijn in de Noordzee (Tabel 6-16). Hieruit blijkt dat de aanvaardbare grenswaarde van 5% bijkomende mortaliteit voor de kleine en grote mantelmeeuw wordt overschreden. Deze grens van 5% is slechts indicatief; de ware grenswaarde is afhankelijk van de soort en de populatiedynamiek. Bovendien zijn aanvaringsrisico's erg locatie-afhankelijk. Niettemin tonen deze resultaten dat de cumulatieve impacten van de windparken een significante impact kunnen hebben op bepaalde vogelsoorten. Om dit effect op populatieniveau meer nauwkeurig in te schatten zal er, naast een set van soortspecifieke grenswaarden, ook nood zijn aan een internationale uitwisseling van gegevens en een betere inschatting van het werkelijk aantal aanvaringen (BMM, 2013).

Tabel 6-16 Schatting van de bijkomende mortaliteit per 10.000 offshore turbines en een micro-ontwijking van 97,6%, gebaseerd op een extrapolatie van de CRM resultaten voor het studiegebied op de Blighbank (Degrear et al., 2013b)

Soort	Populatie niveau	Jaarlijkse mortaliteit	Aantal aanvaringen per jaar	Bijkomende mortaliteit per jaar
Jan-van-gent	310.000	8,1%	182	0,7%
Stormmeeuw	1.640.000	14,0%	545	0,2%
Kleine mantelmeeuw	930.000	8,7%	11.818	14,6%
Zilvermeeuw	3.030.000	12,0%	1.091	0,3%
Grote mantelmeeuw	420.000	16,5%	5.091	7,3%
Drieteenmeeuw	6.600.000	5,9%	5.818	1,5%

Een ander aspect dat het aanvaringsrisico kan beïnvloeden is de aanwezigheid van de WEC's tussen de windturbines in. Structuren op zee hebben immers een grote aantrekkingskracht op bepaalde vogelsoorten. Vooral aalscholversoorten kunnen profiteren van structuren op zee aangezien ze hier hun veren kunnen laten drogen. Ook op OHVS stations en de funderingen van de windturbines werden in verschillende windparken (OWEZ, PAWP, C-Power) een toename van aalscholvers geobserveerd. Structuren op zee kunnen op deze manier voor een stepping stone zorgen, waarbij de betreffende vogelsoorten hun leefgebied kunnen uitbreiden. Hoewel een rustplaats ver uit de kust, en een potentieel hoger voedselaanbod door de aanwezigheid van harde substraten, een positief effect kan hebben op vogels, verhoogt dit tevens het aanvaringsrisico met de windturbines. Verder onderzoek omtrent deze balans van effecten is zeker aangewezen.

Barrière effect en habitatverlies

De aanwezigheid van de windparken en WEC's kan voor verstoringsgevoelige zeevogelsoorten een verlies van habitat betekenen. Jan-van-gent, zeekoet, alk en drieteenmeeuw zijn soorten die in grote aantallen voorkomen ter hoogte van de windparken. Kleine mantelmeeuw en grote mantelmeeuw zijn eerder algemene soorten die verspreid over het BDNZ voorkomen. De drie banken (Blighbank, Thorntonbank en Lodewijkbank) vormen voor deze soorten evenwel geen concentratiegebieden.

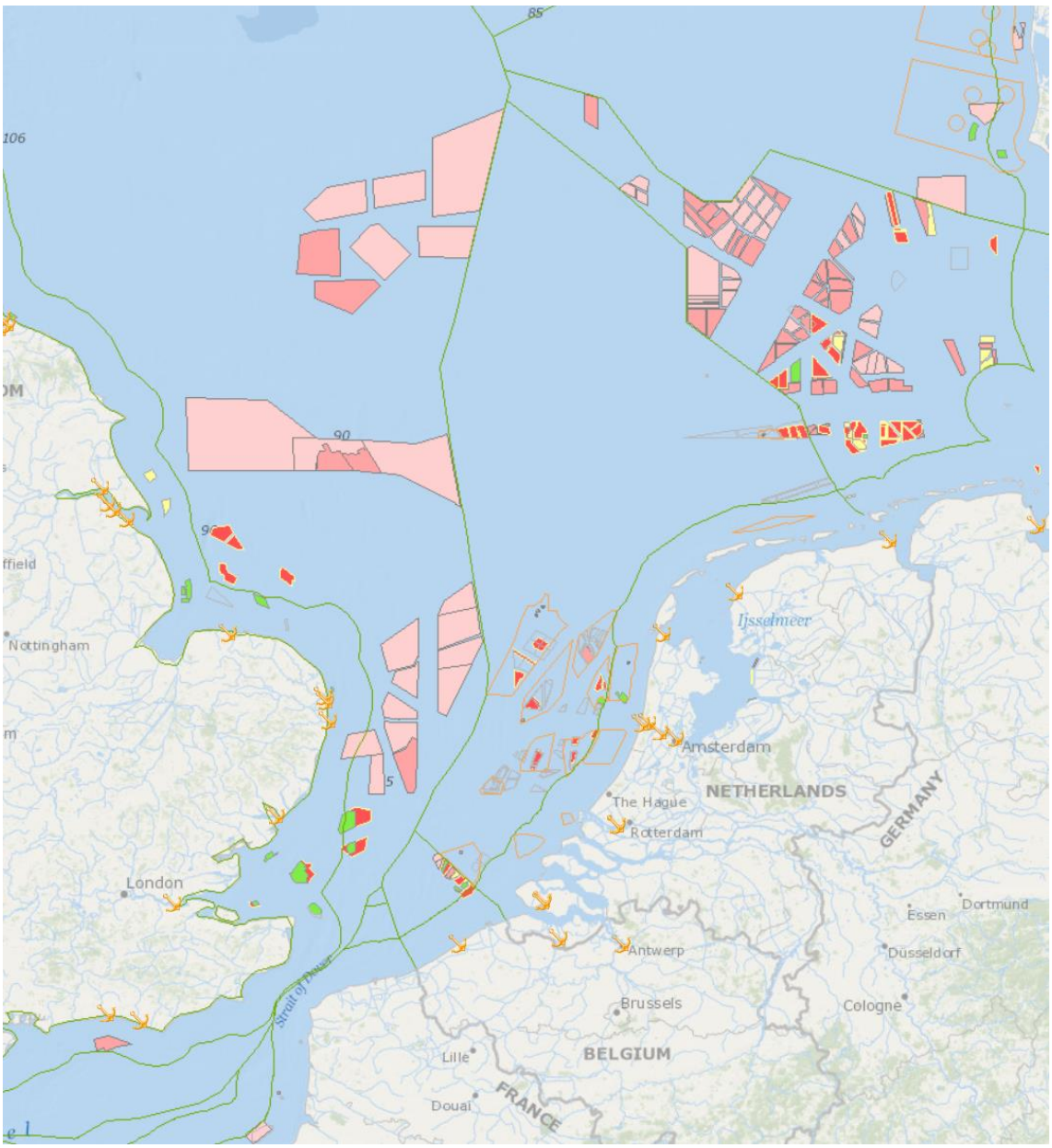
Er bestaat vooralsnog onduidelijkheid over de uitstralende werking van een offshore windpark en dus ook over het werkelijke effect van ruimtebeslag van een windpark of meerdere samen op zee. Op basis van enkele studies in België, Nederland en Denemarken kan het volgende verwacht worden:

- Zoals reeds vermeld geven de voorlopige monitoringsresultaten van Vanermen *et al.* (2013) aan dat de aanwezigheid van de zes turbines op de Thorntonbank een aantrekking uitoefenen op dwergmeeuw, grote mantelmeeuw, drieteenmeeuw, grote stern en visdief. Een enkele rij windturbines hebben evenwel niet hetzelfde effect als een park, want bvb. in het Nederlandse OWEZ windpark werden dwergmeeuw en grote stern zelden geobserveerd. De 55 turbines op de Blighbank blijken aantrekking te hebben op stormmeeuw, zilvermeeuw, kleine mantelmeeuw en mogelijk grote mantelmeeuw en drieteenmeeuw. Onderzoek ter hoogte van Horns Rev in Denemarken liet bij geen enkele soort volledig vermijdingsgedrag zien (Skov *et al*., 2012)).

- Vanermen *et al.* (2013) toonden eveneens aan dat jan-van-genten, zeekoeten en alken het Belwind park vermijden, wat ook werd vastgesteld in het Nederlandse OWEZ park (Krijgsveld *et al.,* 2011). Ook Grontmij (2006) concludeerde dat er een vermindering was van 80% in de aantallen jan-van-gent in een straal van twee tot vier kilometer rond het windpark te Horns Rev. In het tweede Horns Rev park werden jan-van-genten wel geobserveerd (Skov *et al.,* 2012).

Tussen de verschillende windparken zouden er vrije ruimtes zijn van minstens 500 m breed (in overeenstemming met het recente KB rond veiligheidsafstanden). Het is moeilijk te beoordelen of migrerende vogels deze corridors zullen gebruiken of dat ze rondom de volledige windconcessiezone zullen vliegen. Dit mogelijke barrière effect zorgt voor een verhoogd energieverbruik bij de trekkende vogels (Drewitt *et al.,* 2006). Tijdens de voor- en najaarsmigratie leggen migrerende vogels dergelijk grote afstanden af dat het niet te verwachten valt dat die bijkomende afstand rondom de volledige windturbinezone een significant negatief effect is, maar het valt niet uit te sluiten. Of er een cumulatief effect zal optreden tussen het verstorings- en aanvaringseffect is moeilijk te voorspellen. Het vogelradaronderzoek dat wordt uitgevoerd door de BMM zal o.a. de vermijdingsreactie van de vogels in kaart brengen.

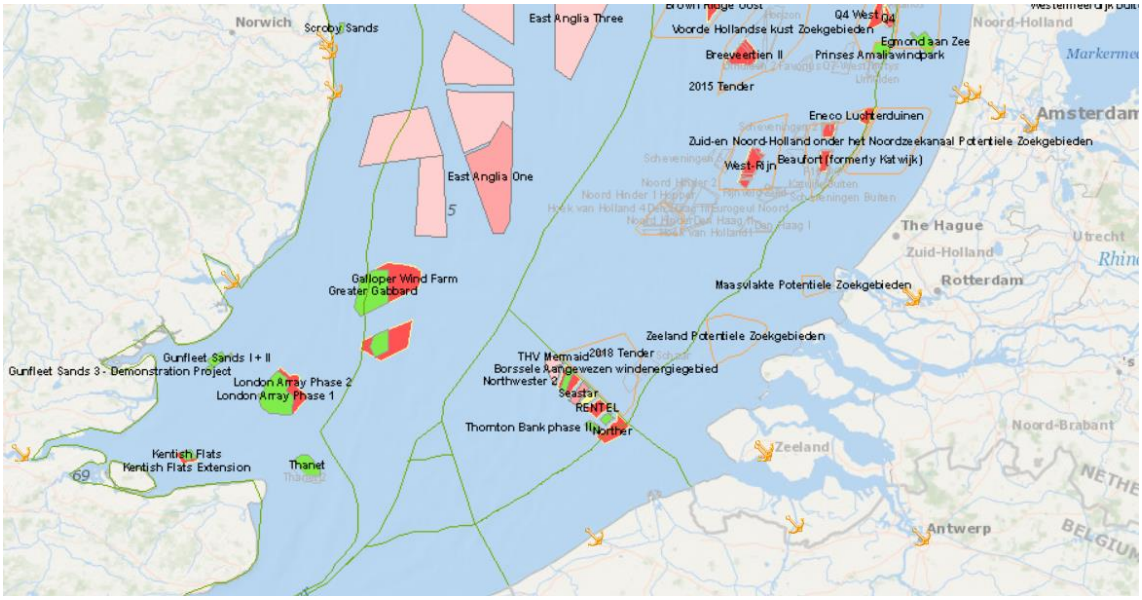
De Zuidelijke Noordzee vormt een zeer belangrijke corridor voor ca. 1 – 1,3 miljoen migrerende zeevogels en niet-zeevogels (Vanermen *et al.*, 2006; Stienen *et al.*, 2007). De ‘flessenhals’ ter hoogte van het Kanaal maakt deze corridor echter erg kwetsbaar. Als de Noordzee algemeen wordt bekeken, zou er zich een enorme barrière kunnen vormen door de aanwezigheid van offshore windparken in de verschillende landen rond de Noordzee (Figuur 6-2). Eind juni 2013 waren er 1.939 turbines geïnstalleerd verspreid over 58 parken in 10 landen. Deze turbines zorgen reeds voor 6 GW aan elektriciteit. De Europese Unie heeft 43 GW aan offshore wind gepland wat overeenkomt met meer dan 14.000 turbines van 3 MW (EWEA, 2013) of 4.200 turbines van 10 MW. Het aantal turbines dat nog gebouwd moet worden is dus enorm en hun verspreiding is niet beperkt tot de kustgebieden.



Figuur 6-2 Overzicht van de concessiezones voor windenergie in de Noordzee (groen: operationeel, geel: in constructiefase, rood: in planningsfase, roze: in vergunningsfase) (http://www.4coffshore.com)

In het Verenigd Koninkrijk zijn er ter hoogte van het Kanaal verschillende offshore parken gebouwd en gepland. Greater Gabbard met 140 turbines en het aanpalende geplande Galloper Wind Farm met eveneens tot 140 turbines bevinden zich op 23 km van de kust van Engeland en ca. 42 km van het Belgische Mermaid park (Figuur 6-3). London Array (Phase I en II) op 20 km van de Britse kust omvat in totaal max. 240 turbines. De Gunfleet Sands en Kentish Flats windparken bevinden zich dichter bij de Britse kust, respectievelijk op slechts 7 km en 9 km en omvatten 48 en 30 turbines. Het Thanet Wind Farm bevindt zich dicht bij de flessenhals van het Kanaal en bestaat uit 100 turbines. Verder ten noorden bevindt zich de

enorme concessiezone van East Anglia waarin 6 parken zijn gepland. De inplanning van East Anglia is nog niet volledig gekend, afgezien van East Anglia One met 325 turbines. East Anglia Three en Four zullen waarschijnlijk elk 240 turbines omvatten, maar details over de andere 3 parken zijn nog niet gekend.



Figuur 6-3 Overzicht van de concessiezones voor windenergie in de Noordzee in de nabijheid van de Belgische concessiezone (groen: operationeel, geel: in constructiefase, rood: in planningsfase, roze: in vergunningsfase) (http://www.4coffshore.com)

Hoewel er momenteel nog steeds grote afstanden bestaan tussen de Belgisch en buitenlandse parken (min. 42 km), kan dit in de toekomst wel tot een grote barrière leiden voor vogels indien de plannen voor windparken van de landen rondom de Noordzee niet op elkaar worden afgestemd (Lindeboom, 2009). Alle zeevogels en migrerende vogels zullen immers geconfronteerd worden met de aanwezigheid van de windturbines. Een verdere internationale afstemming bij de projectontwikkeling en latere monitoring is vanuit bovenstaand perspectief dan ook een absolute topprioriteit.

6.3.5.3.3 Ontmantelingsfase

De effecten tijdens de ontmantelingsfase zijn analoog met die tijdens de constructiefase. Er worden bijgevolg geen significante cumulatieve effecten verwacht op de verschillende vogelsoorten.

6.3.5.3.4 Bekabeling

Er worden geen cumulatieve effecten verwacht tengevolge van de bekabeling.

6.3.5.4 Zeezoogdieren

Tabel 6-17 Overzicht van de cumulatieve effecten op de zeezoogdieren

Effect	Verwaarloosbaar	Cumulatief
Constructiefase		
Voedselbeschikbaarheid	Ja (?)	n.v.t.
Geluidsverstoring en trillingen	Neen	S
Operationele fase		
Geluidsverstoring en trillingen	Ja (?)	S of >S (?)
Fysische aanwezigheid van de windparken	Ja	S (?)
Voedselbeschikbaarheid	Neen	S (?)
Ontmantelingsfase		
Analoog constructiefase	Ja	n.v.t.
Bekabeling		
Algemene verstoring	Ja	n.v.t.
Elektromagnetische velden	Ja (?)	n.v.t.

(S: cumulatief effect = som van de effecten; >S: cumulatief effect is groter dan de som van de effecten; <S: cumulatief effect is kleiner dan de som van de effecten)

6.3.5.4.1 Constructiefase

Voedselbeschikbaarheid

Zeezoogdieren kunnen door een verandering in voedselbeschikbaarheid het gebied verlaten omdat het tijdens de constructiefase niet langer geschikt is om er voedsel te zoeken of om als broedgebied te gebruiken.

Indien de bouwfase van enkele parken zou samenvallen, kan men een cumulatief effect verwachten op de voedselbeschikbaarheid. Bruinvissen zijn bovendien vooral in grotere aantallen aanwezig tussen januari en april, terwijl de constructiefase meestal tijdens de zomermaanden plaatsvindt. Tenslotte is de bouwfase tijdelijk. Indien de bouwfases van enkele parken zouden overlappen, zal de verstoring zich over een grotere oppervlakte voordoen maar beperkter zijn in tijd. Zodra de werken zijn voltooid, kan verwacht worden dat zeezoogdieren na de terugkeer van hun voornaamste prooiorganismen, eveneens zullen terugkeren naar het windparkgebied en haar omgeving.

Geluidsverstoring en trillingen

Wanneer de constructiefase van meerdere windparken en WEC's tegelijkertijd zou doorgaan, zullen zeezoogdieren over een groot gebied verstoord worden door baggerwerken, verhoogde scheepvaartintensiteit en aanleggen van kabels en erosiebescherming. Mogelijk ontstaat er in bepaalde gebieden tussen de windparken een verhoging van het geluidsniveau in vergelijking met het afzonderlijk aanleggen van de windparken. Wanneer monopiles of jacket funderingen ingezet worden voor de windturbines of de WEC's, zullen heiwerkzaamheden een verhoging van het onderwatergeluid en trillingen met zich meebrengen, wat tot significant negatieve effecten op zeezoogdieren kan leiden. De 55 monopiles van Belwind, de 48 jacket

funderingen van C-Power en de 72 monopiles van Northwind zijn reeds geplaatst. De overige 55 monopiles van Belwind zullen mogelijks ook geheid worden. Voor Norther, Rentel, SeaStar, Northwester 2 en Mermaid bestaat eveneens de kans dat monopiles en jacket funderingen zullen gebruikt worden. Bij de WEC's zal enkel de installatie van de Wavestar zorgen voor een verhoging van het onderwatergeluid door het heien.

Bij het heien van palen kan niet verwacht worden dat de heislagen synchroon gegeven zullen worden in de verschillende parken. Vandaar dat in dit geval het absolute geluidsniveau vermoedelijk niet hoger zal zijn dan bij het afzonderlijk aanleggen van windparken. Deze verhoging van het geluidsniveau zal over een langere periode voorkomen, waardoor de mogelijke effecten eveneens negatiever kunnen zijn dan bij het afzonderlijk uitvoeren van de werken, of over een groter gebied kunnen optreden. Niet enkel de geluidsintensiteit en de frequentie van het geluid is immers belangrijk, ook de duur: de blootstelling aan geluid gedurende een korte periode veroorzaakt minder schade dan een langdurige blootstelling (BMM, 2009; Tasker *et al.*, 2010).

Er wordt verwacht dat zeezoogdieren de zone voor een langere periode zullen verlaten. Het effect zal gelijk zijn aan de som van de effecten per windpark. De langere duur van blootstelling aan hoge geluidsniveaus kan leiden tot een cumulatief effect dat groter is dan de som van de effecten. Het effect van verstoring dient daarom goed opgevolgd te worden in het monitoringsprogramma. Rekening houdend wordt met de voorgestelde milderende maatregelen en aanbevelingen en het feit dat de bouwfase slechts tijdelijk van aard is, wordt het effect als matig negatief beoordeeld.

6.3.5.4.2 Operationele fase

Geluidsverstoring en trillingen

Tijdens de operationele fase produceren de windturbines, WEC's en transformatoren zowel onderwatergeluid dat op een afstand van 500 m reeds gemaskeerd wordt door het achtergrondgeluid, als bovenwatergeluid.

Een verstorend effect van het geluid voor zeezoogdieren is te verwachten in de onmiddellijke omgeving van het park. De effecten van het geluid tijdens de operationele fase is minder groot dan de impact van het geluid tijdens de bouwfase (heien) (Madsen *et al.,* 2006). Acute effecten, zoals trauma's of sterfte, worden niet verwacht en ook de algemene verstoring zal beperkt blijven (Haelters *et al.,* 2013a). Bovendien kan er gewenning optreden (ICES, 2010; Murphy *et al*., 2012) en zal door de afwezigheid van de scheepvaart in de Belgische concessiezone de geluidsverstoring door schepen ook wegvallen.

Het cumulatieve effect zal gelijk zijn aan de som van het geproduceerde onderwatergeluid van alle turbines samen. Er kan verwacht worden dat het cumulatieve effect niet significant zal zijn voor zeezoogdieren.

Voedselbeschikbaarheid

Bij de constructie van een windpark wordt een afname van de vispopulatie verwacht en dus bijgevolg ook van de zeezoogdieren waarvoor de vissen een voedselbron zijn. Tijdens de operationele fase kan evenwel een toename optreden van zeezoogdieren in het park of in de omgeving van het park door het wegvallen van visserij in het gebied, door het beschikbaar zijn van meer voedsel, en door het beschikbaar komen van andere voedselbronnen. Bovendien kan een gedeelte van de constructies (vb. aanmeerplatform) eventueel tijdelijk (gedurende laagtij) een rustplaats vormen voor zeehonden.

Gezien de parken dicht bij elkaar liggen, zou er kunnen verwacht worden dat het algemeen concessie gebied een belangrijk gebied wordt voor voedselbronnen en rustplaatsen. Het cumulatief effect van alle windparken is momenteel nog moeilijk te voorspellen en een gepaste monitoring is noodzakelijk.

6.3.5.4.3 Ontmantelingsfase

Er worden geen cumulatieve effecten verwacht tijdens de ontmantelingsfase.

6.3.5.4.4 Bekabeling

De bekabeling zal eveneens geen cumulatieve effecten veroorzaken op zeezoogdieren.

6.3.5.5 Harde substraten

Tabel 6-18 Overzicht van de cumulatieve effecten op de fauna van harde substraten

Effect	Verwaarloosbaar	Cumulatief
Constructiefase		
Introductie hard substraat	Neen	S
Operationele fase		
Verandering in gemeenschapsstructuur	Neen	S
Ontmantelingsfase		
Analoog constructiefase	Ja	n.v.t.
Bekabeling		
Elektromagnetische velden	Ja	S
Opwarming	Ja	n.v.t.
Turbiditeit	Ja	n.v.t.
Biotoopverstoring	Ja	n.v.t.

(S: cumulatief effect = som van de effecten; >S: cumulatief effect is groter dan de som van de effecten; <S: cumulatief effect is kleiner dan de som van de effecten)

6.3.5.5.1 Constructiefase

Tabel 6-19 geeft een overzicht van de harde substraten die aanwezig zullen zijn wanneer de acht windparken volledig gebouwd zijn. Voor Norther, Rentel en SeaStar wordt uitgegaan van een worst case scenario met respectievelijk 47, 78 en 63 gravitaire funderingen met erosiebescherming; voor Northwester 2 en Mermaid wordt uitgegaan van respectievelijk 70 en 80 jacket funderingen met erosiebescherming (conf. 1). Wat betreft de WEC's zorgt de Seabased voor het hoogste aantal units en de grootste oppervlakte aan hard substraat, zijnde maximaal 1.920 units. Voor C-Power is uitgegaan van 6 GBF's met erosiebescherming, en 48 jackets zonder erosiebescherming. Northwind (72) en Belwind (110) bestaan uit monopile funderingen met erosiebescherming.

Tabel 6-19 Cumulatieve bijdrage introductie hard substraat

	C-Power	Northwind	Belwind	Norther	Rentel	SeaStar	NW2	Mermaid	Totaal
Erosie (m²)	15.100	14.500	62.500	165.900	623.000	118.700	63.200	72.100	1.135.000
Turbine (m²)	124.300	375.500	42.600	37.100	155.800	158.300	152.400	173.900 + 54.000 (WEC)	1.273.900
Totaal (m²)	139.400	390.000	105.100	203.000	778.800	277.000	215.600	300.000	2.408.900

In de discipline 'Fauna, flora & biodiversiteit' (§ 5.4.3.5) werd uitvoerig ingegaan op de mogelijke voor- en nadelen van de introductie van hard substraat.

Indien men uitgaat van een worst case scenario voor alle parken, zal de totale oppervlakte aan hard substraat 2,4 miljoen m² bedragen. Door het 3-dimensinaal karakter van de erosiebescherming is de effectief beschikbare oppervlakte aan hard substraat een stuk groter.

6.3.5.5.2 Operationele fase

Er valt in de zuidelijke Noordzee een globale toename te constateren van allerlei kunstmatige harde substraten. Deze toename aan artificieel hard substraat is een van de belangrijkste effecten met een versterking van het zogenaamde rifeffect. In de getijdenzone – een zone die vroeger niet in open zee voorkwam – zal een toename van niet-inheemse soorten en een toename aan inheemse mosselen *Mytilus edulis* optreden. Men kan verwachten dat de windparken en WEC's, samen met andere kunstmatige harde substraten kunnen werken als opstap voor de verspreiding van allerlei sessiele organismen, waaronder zuidelijke soorten dan wel exoten die warmer water verkiezen (het zogenaamde "stepping stone effect"). Dit werd tijdens discussies in de ICES WGITMO Group (Working Group on Introductions and Transfers of Marine Organisms) erkend als een van de belangrijke effecten van windparken. Er werd reeds aangehaald dat niet minder dan 68 niet-inheemse soorten zich reeds in de Belgische kustwateren gevestigd hebben. De monitoring resultaten van C-Power en Belwind bevestigen de toenemende druk van niet-inheemse soorten.

Ongeacht de voor- en nadelen van deze verandering in gemeenschapsstructuur, wordt het effect als aanvaardbaar beschouwd. Enige voorzichtigheid is wel op zijn plaats en verdere monitoring om deze resultaten te bevestigen zijn wenselijk.

6.3.5.5.3 Ontmantelingsfase

Er worden eveneens geen cumulatieve effecten verwacht op de fauna van harde substraten tijdens de ontmantelingsfase.

6.3.5.5.4 Bekabeling

De aanleg van kruisende kabelszal eveneens bijdragen tot de totale hoeveelheid hard substraat. Ter hoogte van kruisingen met andere kabels en pijpleidingen wordt er immers een erosiebescherming aangebracht. De oppervlakte van het aangebrachte materiaal als erosiebescherming is afhankelijk van het gekozen ontwerp van de kabelkruising. Het bundelen van de exportkabels via het Belgian Offshore Grid zal ervoor zorgen dat er minder kabels en dus ook minder kabelkruisingen moeten uitgevoerd worden.

6.3.6 Zeezicht & cultureel erfgoed

Tabel 6-20 Overzicht van de cumulatieve effecten op zeezicht en cultureel erfgoed

Effect	Verwaarloosbaar	Cumulatief
Constructiefase		
Effect op het zeezicht	Neen	<S
Effect op het cultureel erfgoed	Ja	n.v.t.
Operationele fase		
Effect op het zeezicht	Neen	<S
Effect op het cultureel erfgoed	Ja	n.v.t.
Ontmantelingsfase		
Analoog constructiefase	Neen	<S
Bekabeling		
Effect op het zeezicht	Ja	n.v.t.
Effect op het cultureel erfgoed	Ja	n.v.t.

(S: cumulatief effect = som van de effecten; >S: cumulatief effect is groter dan de som van de effecten; <S: cumulatief effect is kleiner dan de som van de effecten)

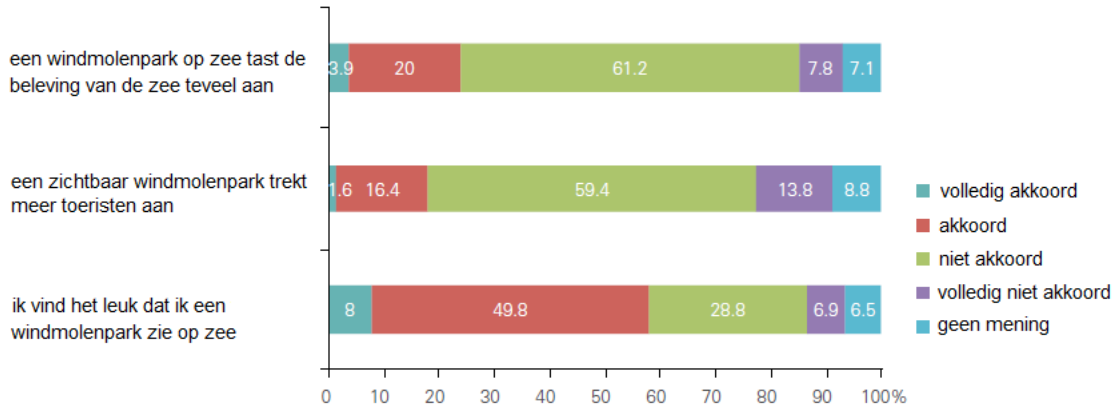
6.3.6.1 Constructiefase

De constructieactiviteiten van een windpark kunnen een effect hebben op de beleving van toeristen, bewoners en vissers. De scheepvaart zal verhogen en ook de bouwwerkzaamheden op zee kunnen het zeezicht beïnvloeden. De uitvoeringstermijn voor de bouw van de acht beschouwde parken zal zich vermoedelijk uitstrekken over een periode van telkens 2 jaar. De vijf nog te bouwen windparken zullen vermoedelijk slechts gedeeltelijk overlappen qua constructieperiode. Het cumulatieve effect zal daarom kleiner zijn dan de som van de individuele effecten.

Gezien de concentratie van de windparken binnen één afgebakende windconcessiezone zal de verstoring grotendeels aan de oostkust voelbaar zijn. Langs de andere kant kunnen de werkzaamheden ook als een extra toeristische attractie gezien worden. Ongeacht dit gegeven, wordt het cumulatieve effect als gering negatief beoordeeld.

6.3.6.2 Operationele fase

Vanaf de kust zullen enkel de turbines van C-Power en Norther zichtbaar zijn. Tijdens een enquête van Grontmij (2010) aangaande de aanvaardbaarheid van het gesimuleerde zicht van drie toen reeds vergunde parken (C-Power, Belwind en Northwind), beoordeelde 78% van de ondervraagden het zicht als aanvaardbaar. Wanneer ze een simulatie van een worst case scenario te zien kregen, waarbij het volledige concessiegebied met windturbines gevuld is, werd het zicht nog door 62% als aanvaardbaar beschouwd. Volgens 69% van de ondervraagden tasten de parken de beleving op zee niet aan en vindt 57,8% het leuk om de windparken te zien (Figuur 6-4).



Figuur 6-4 De mate waarin de ondervraagden akkoord gaan met stellingen over windparken op zee tijdens een enquête in 2009 (in %)(gebaseerd op Grontmij, 2010)

Doordat de verscheidende parken in fases gebouwd worden, is het mogelijk dat een langzame gewenning zal optreden aan het wijzigend landschap. Het cumulatieve effect wordt dat ook als aanvaardbaar beschouwd. Gezien Mermaid en Northwester 2 vanaf de kust niet zichtbaar zijn, zal er voor wat betreft de beleving geen bijkomende invloed zijn op het cumulatieve effect van de voorliggende parken.

6.3.6.3 Ontmantelingsfase

De cumulatieve effecten die tijdens de ontmantelingsfase zullen optreden zijn analoog met de constructiefase.

6.3.6.4 Bekabeling

Langsheen de tracés voor de exportkabels zijn enkele wrakken gesitueerd. Wanneer het ontwijken van scheepswrakken telkens maximaal nagestreefd wordt door het uitvoeren van een voorafgaande side-scan sonar survey (of een gelijkwaardig onderzoek) langsheen het traject, wordt het effect op het maritiem cultureel erfgoed tot een minimum beperkt. Het cumulatieve effect door het voorzien van de bekabeling van de windparken op het maritiem archeologisch erfgoed wordt bovendien verder gereduceerd door de kabeltracés van de verschillende projecten zoveel mogelijk te bundelen vanuit de Alpha-installatie van Elia.

6.3.7 Interactie met andere menselijke activiteiten

De cumulatieve effecten onder het hoofdstuk ‘Interactie met andere menselijke activiteiten’ worden besproken per gebruiksfunctie. Er wordt enkel een onderscheid gemaakt tussen de constructie-, operationele en ontmantelingsfase en de bekabeling indien dit relevant blijkt te zijn.

Tabel 6-21 Overzicht van de cumulatieve effecten op menselijke activiteiten

Effect	Verwaarloosbaar	Cumulatief
Effect op visserij	Neen	>S
Effect op maricultuur	Ja	n.v.t.

Effect	Verwaarloosbaar	Cumulatief
Effect op militaire activiteiten	Ja	n.v.t.
Effect op kabels en pijpleidingen	Ja	n.v.t.
Effect op zand- en grindontginning	Ja	n.v.t.
Effect op wetenschappelijk onderzoek	Neen	S
Effect op toerisme en recreatie	Neen	S

(S: cumulatief effect = som van de effecten; >S: cumulatief effect is groter dan de som van de effecten; <S: cumulatief effect is kleiner dan de som van de effecten)

6.3.7.1 Visserij

Het invullen van de gehele concessiezone met windturbines beperkt een groter percentage aan vismogelijkheden in deze regio. Indien we uitgaan van de ruwe schatting dat 85% van het BDNZ kan bevist worden (Ecolas, 2003), zou dit neerkomen op een verlies voor de traditionele visserij van ongeveer 7% tengevolge van het afsluiten van het hele windparkgebied voor de visserij. De concessiegebieden van Mermaid en Northwester 2 hebben hierin slechts een beperkt aandeel; vooral de zones dichter bij de kust en op de zandbanken zijn als visserijgebied interessanter en hebben in die zin een sterkere impact op de sector. Dekker *et al.* (2009) heeft berekend dat het afsluiten van windparken (en ook mariene beschermde gebieden) slechts een minimaal effect zal hebben op de hoeveelheid te vangen vis en dus op de visserij. Maricultuur biedt eveneens mogelijkheden om de economische activiteit van de visserij deels te vervangen. Daarnaast kan de afsluiting van een groot aaneengesloten gebied er wel toe leiden dat de vaartijd van vissersschepen toeneemt.

Gebaseerd op algemene gegevens van de beschikbare studies zijn zowel de Thorntonbank, de Blighbank als de Lodewijkbank van minder belang voor de Belgische visserij (Arcadis, 2008, 2011; Ecolas, 2003, 2007). Op basis van deze gegevens wordt het cumulatieve effect (beperkte omvang, permanent karakter) van verlies aan traditionele visserijgronden door de windparken als matig negatief ingeschat en dus als aanvaardbaar beoordeeld. Daarnaast wordt de Belgische visserijsector reeds onder zware druk gezet door het Europese visserijbeheer (opgelegde TAC's en quota, beperkingen visserij-inspanning), waardoor het beschreven cumulatief effect door de windparken gerelativeerd kan worden.

Naast het ruimtelijke verlies spelen de cumulatieve korte en langetermijneffecten tijdens de constructie- en operationele fase op de vissen een rol voor de visserijsector. Mogelijke cumulatieve negatieve effecten worden veroorzaakt door het heien van de palen (monopile, jacket funderingen) en het ontstaan van elektromagnetische stralingen (kabels). Momenteel bestaat er nog veel onzekerheid rond de impact van deze effecten. Voorlopig wordt dit effect als matig negatief (heigeluid tijdens constructie) tot gering negatief (elektromagnetische straling) ingeschat, maar verder onderzoek is wenselijk. Mits gebruik van milderende maatregelen kunnen beide effecten als aanvaardbaar beoordeeld worden.

Daarnaast kan een afsluiting van het gebied voor visserij en scheepvaart in een ruimer perspectief een positief effect hebben op de vispopulaties. De benthische gemeenschappen en paaigronden krijgen immers de kans zich te ontwikkelen en te herstellen. Ook de introductie van harde substraten kan resulteren in een toename van vis. Hoewel het met de huidige beperkte monitoringsdata nog niet duidelijk is of er zich effectief een netto productie van vis voordoet, zijn er wel reeds aanwijzingen dat juveniele leeftijdsgropen van steenbolk en

kabeljauw sterk aangetrokken worden tot windparken (Vandendriessche *et al.,* 2013a, 2013b; Reubens *et al*., 2013). Indien productie in de windparken zich op grote schaal voordoet, kan het zogenaamde spill-over effect een positief effect hebben op de visserij in Belgische waters. Dit kan leiden tot een cumulatief effect groter dan de som van effecten van individuele parken. Voor een inschatting van deze effecten wordt verder verwezen naar de discipline 'Fauna, flora & biodiversiteit' (§ 5.4).

Tenslotte wordt er op gewezen dat er geen cumulatieve effecten te verwachten zijn van de aanleg van de kabeltracés naar de kust op de visserij. Zij liggen voldoende diep om beschadiging van de kabels door vissersschepen te voorkomen.

6.3.7.2 Maricultuur

In het recent gepubliceerde marien ruimtelijk plan van maart 2014 zijn expliciet twee zones afgebakend voor aquacultuur binnen de afgebakende zone voor windparken, nl. in de Belwind en C-Power windparken. Momenteel zijn er geen initiatieven in uitvoering of in de nabije toekomst gepland, waardoor er geen cumulatief conflict bestaat. In de toekomst kan het afgebakend windconcessiegebied potentieel bieden voor maricultuur alternatieven of bijdragen tot een verhoogde visserij/maricultuur opbrengst door het afsluiten van het gebied voor bodemverstorende activiteiten (zoals boomkorvisserij).

6.3.7.3 Militaire activiteiten

Er bestaat geen overlap tussen de Belgische concessiezone en de militaire gebieden. Er worden dan ook geen cumulatieve effecten verwacht.

6.3.7.4 Kabels en pijpleidingen

In het BDNZ liggen diverse kabels en pijpleidingen, wat kruisingen met bestaande kabels en pijpleidingen onvermijdelijk maakt bij het trekken van nieuwe kabels. Reeds eerder werd aangegeven dat de kruisingen zullen gebeuren in overeenstemming met de exploitant. Ook wordt bij het leggen van de kabeltracés rekening gehouden met de te hanteren veiligheidsperimeters rondom bestaande kabels en pijpleidingen.

Technisch gezien moeten verschillende kabels getrokken worden vanuit de diverse windparken en is één grote kabel niet mogelijk. Wel kan er naar gestreefd worden om zoveel mogelijk aansluiting te zoeken met bestaande trajecten. Bundeling van kabels zal dus niet leiden tot een vermindering van het aantal kruisingen, maar zal wel het ruimtebeslag zoveel mogelijk beperken. Het ruimtebeslag (soms van de verschillende kabels) is zeer klein. Er kan bovendien aangenomen worden dat indien gekozen wordt voor een synergie tussen de verschillende parken (cf. BOG-project Elia), het cumulatieve effect (technisch, milieu-impact…) ten gevolge van de tracés van de verschillende windparken en de reeds aanwezige kabels en pijpleidingen geminimaliseerd wordt.

Gezien alle kabels aangelegd zullen worden conform de richtlijnen en in samenspraak met de exploitant, wordt er van uitgegaan dat deze geen andere effecten zullen hebben op bestaande kabels en pijpleidingen.

6.3.7.5 Zand- en grindontginning

De ingebruikname van de verschillende vergunde parken zal in principe geen significante beïnvloeding van de zand- en grindontginning betekenen, daar de controlezones en de

exploratiezones buiten de zone voor windparken vallen. Er worden dus geen cumulatieve effecten verwacht.

6.3.7.6 Wetenschappelijk onderzoek en oceanologische waarnemingen

De uitgebreide monitoring in de concessiezone zal een positieve bijdrage leveren aan de wetenschappelijke kennis van het BDNZ. Ook de mogelijkheid tot gemeenschappelijk onderzoek tussen de offshore windindustrie en Belgische universiteiten en andere wetenschappelijke instellingen biedt nieuwe opportuniteiten. Het cumulatief effect op het wetenschappelijk onderzoek wordt dus als matig positief beoordeeld.

6.3.7.7 Toerisme en recreatie

Het huidige sociaal klimaat staat overwegend positief tegenover alternatieve en groene energiebronnen, onder andere golf- en windenergie. Deze interesse kan uitgebaat worden en een bijkomende toeristische troef voor de kust betekenen die een nieuw soort toeristen kan aantrekken, zeker wanneer alle 8 parken gerealiseerd zijn. Westerberg *et al*. (2012) geeft aan dat kustnabije windparken een positief effect hebben op de inkomsten uit toerisme indien ze gecombineerd worden met direct aan het windpark geassocieerde recreatieve activiteiten. Door interactieve informatiecentra te voorzien kan het publiek kennis maken en bijleren over de constructie en uitbating van de offshore windparken in het BDNZ. Er bestaan reeds vandaag excursies op zee naar de omgeving van de windparken. Het cumulatief effect op het toerisme en recreatie kan dus als gering positief worden beoordeeld.

6.3.8 Risico's en veiligheid

Er wordt verwacht dat de belangrijkste cumulatieve effecten voor de discipline Risico's en veiligheid zullen optreden voor de deelaspecten 'Scheepvaart' en 'Radar en scheepscommunicatie'. Zodoende worden enkel deze aspecten verder besproken.

6.3.8.1 Scheepvaart

6.3.8.1.1 Methodologie

Binnen dit onderdeel wordt ingegaan op de potentiële effecten op de scheepvaart door de aanwezigheid van de windparken en de hiermee verbonden milieuverontreiniging.

In overleg met de bevoegde overheid (BMM) werd beslist dat wat betreft de risico's voor het scheepvaartverkeer (inclusief aanvaringen/aandrijvingen, olieverontreiniging) rondom de meest noordelijke parken nabij het verkeersscheidingsstelsel Noordhinder Zuid en het voorzorgsgebied, een nieuwe nautische veiligheidsstudie vereist is (MARIN-IMDC, 2014).

In deze studie werd volgend cumulatief scenario onderzocht:

Het cumulatieve scenario met alle parken gerealiseerd (Norther – C-Power – Rentel Northwind – SeaStar – Belwind – Northwester 2 – Mermaid). Hierbij worden de meest actuele (potentiële) windturbineconfiguraties in rekening gebracht.
Voor Mermaid en Northwester 2 worden onderstaande configuraties berekend:

- **Basisconfiguratie** met 38 x 6 MW windturbines op monopiles in Mermaid en 35 turbines op monopiles in Northwester 2 + WEC's in Mermaid:

- Wavestar met afmetingen: 80x20m op 4 monopile poten; 7 units in basisveld van 750x450 m
- Seabased met afmeting: 6 m diameter van boei aan wateroppervlak; 160 units in basisveld van 750x450 m

- **Configuratie 1** met maximaal aantal turbines op jacket fundering: 80 x 3,3 MW turbines in Mermaid en 70 windturbines in Northwester 2. Dit is een worst case scenario aangezien jackets de grootste doorsnede hebben aan het wateroppervlak en bovendien vooral het aantal turbines bepalend is voor de aanvaarkans van een windpark. Elke configuratie met minder, maar iets grotere jacket funderingen zal dus ook afgedekt zijn door deze configuratie (MARIN, 2013). Wegens de beperkte beschikbare ruimte tussen de turbines worden voor deze configuratie geen WEC locaties doorgerekend.

Per type WEC wordt slechts 1 unit locatie binnen een basisveld doorgerekend en dan doorvertaald naar impact van 1 volledig basisveld (met 7 Wavestar units of 160 Seabased units) en 4 basisvelden.

Er wordt verondersteld dat beide parken, Mermaid en Northwester 2, nagenoeg op hetzelfde ogenblik operationeel zullen worden (zich richtend naar de target datum voor aansluiting op het Alpha-installatie van de BOG-infrastructuur). Enkel de combinatie van beide parken als te onderzoeken scenario wordt dus weerhouden in deze MER-studie.

Uit de studie uitgevoerd in kader van het MER BOG is gebleken dat de ligging van de Alpha-installatie op de Lodewijkbank geen invloed heeft op de verkeersstromen langsheen de windparken. De verkeerssituatie met en zonder Alpha-eiland is dezelfde, er wordt dus slechts 1 scenario doorggerekend, nl. in afwezigheid van het Alpha-eiland (MARIN-IMDC, 2014).

Voor het opzetten van de verkeersdatabank werd gebruik gemaakt van AIS data 2012, conform de voorgaande nautische veiligheidsstudies. De intensiteiten werden wel aangepast aan de situatie van 2013. Na vergelijking tussen de AIS data sets 2012 en 2013 bleek dat de verkeersroutes van 2012 nog steeds geldig zijn, maar dat door o.a. het nieuwe AIS relaisstation in het Belwind park de waargenomen intensiteiten hoger zijn. Een beschrijving van de methodiek is gegeven in MARIN-IMDC, 2014, in bijlage.

Als basisscenario waarmee de bovengenoemde scenario's zullen vergeleken worden wordt uitgegaan van de aanwezigheid van windparken C-Power, Belwind, Northwind, Norther, SeaStar en Rentel. Er is dus een verschil tussen de situatie gedurende 2012 waarvoor het verkeer is geanalyseerd, toen enkel C-Power en Belwind reeds gerealiseerd waren, en de situatie die voor deze studie als uitgangssituatie wordt genomen. Door routeren van het verkeer waarbij ook Norther, Northwind, SeaStar en Rentel aanwezig worden verondersteld komt men tot het basisscenario.

Naast de belangrijkste bevindingen van de MARIN studie, wordt ook een evolutie getoond van het scheepvaartverkeer door en rond de windparken tussen 2008 en 2012. Dit gebeurt aan de hand van densiteitskaarten die werden opgemaakt op basis van AIS-data van de betreffende jaren (bron AIS-data: Beheer- en Exploitatie Team Schelderadarketen, J. Raes, Hoofdbeheerder BET-SRK (VL), A. Descamps, Afdelingshoofd Scheepvaartbegeleiding).

Voor de verspreidingseffecten van milieuverontreiniging afkomstig van mogelijke aanvaringen/aandrijvingen wordt voor voorliggend MER gebruik gemaakt van een overzicht van verspreidingsstudies die ARCADIS (2011) opstelde in het kader van het MER Norther, aangevuld met een recente studie van Dulière en Legrand (2011) uitgevoerd in functie van het MEB Norther en aangepast voor MEB SeaStar (BMM, 2011b, 2013).

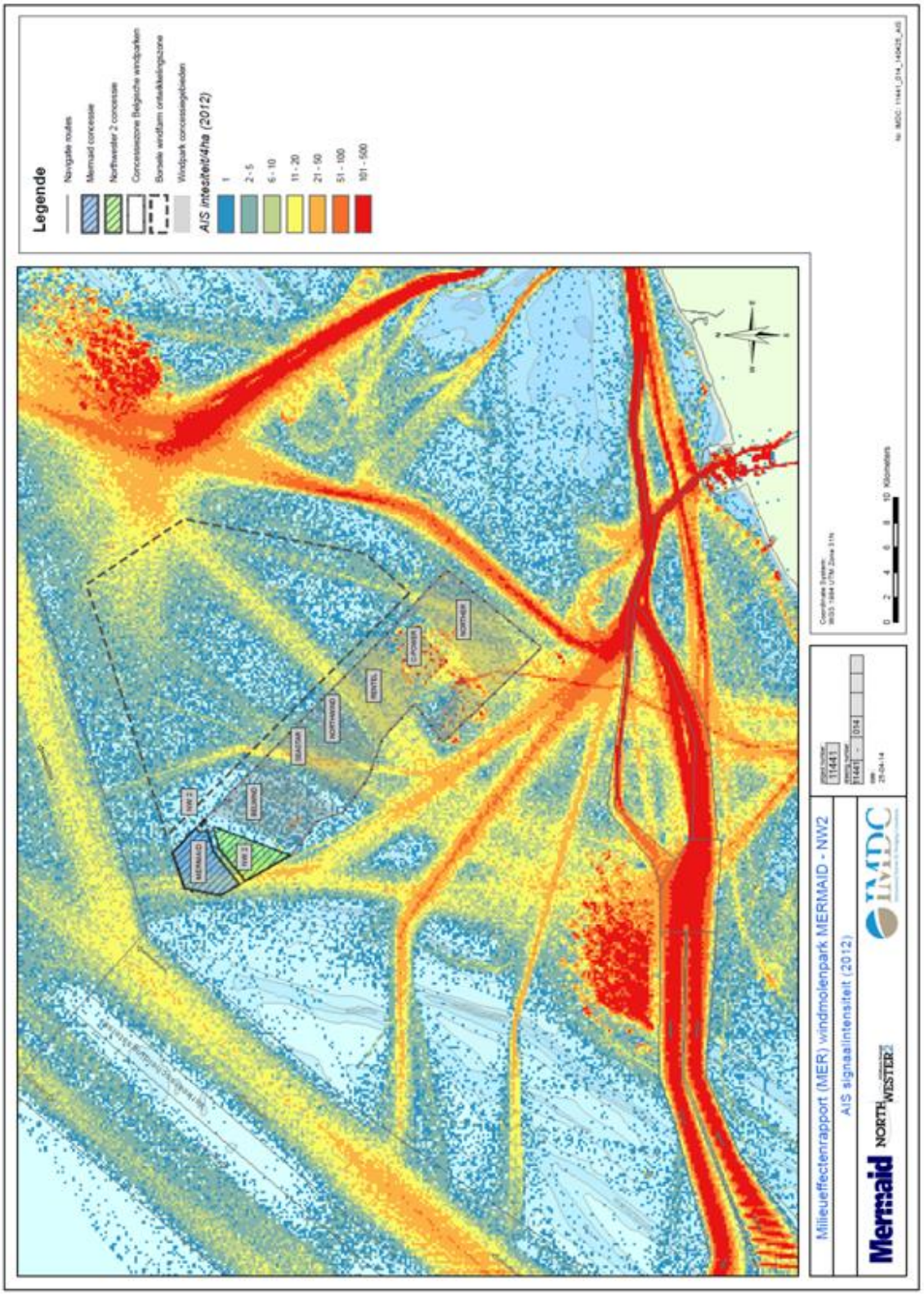
6.3.8.1.2 Referentiesituatie en autonome ontwikkeling

Om een beeld te krijgen van de recente verkeersafwikkeling is een jaar AIS-data van 2012 geanalyseerd en weergegeven in een densiteitskaart (aantal schepen per gridcel van 200 x 200 m), weergegeven in Figuur 6-5.

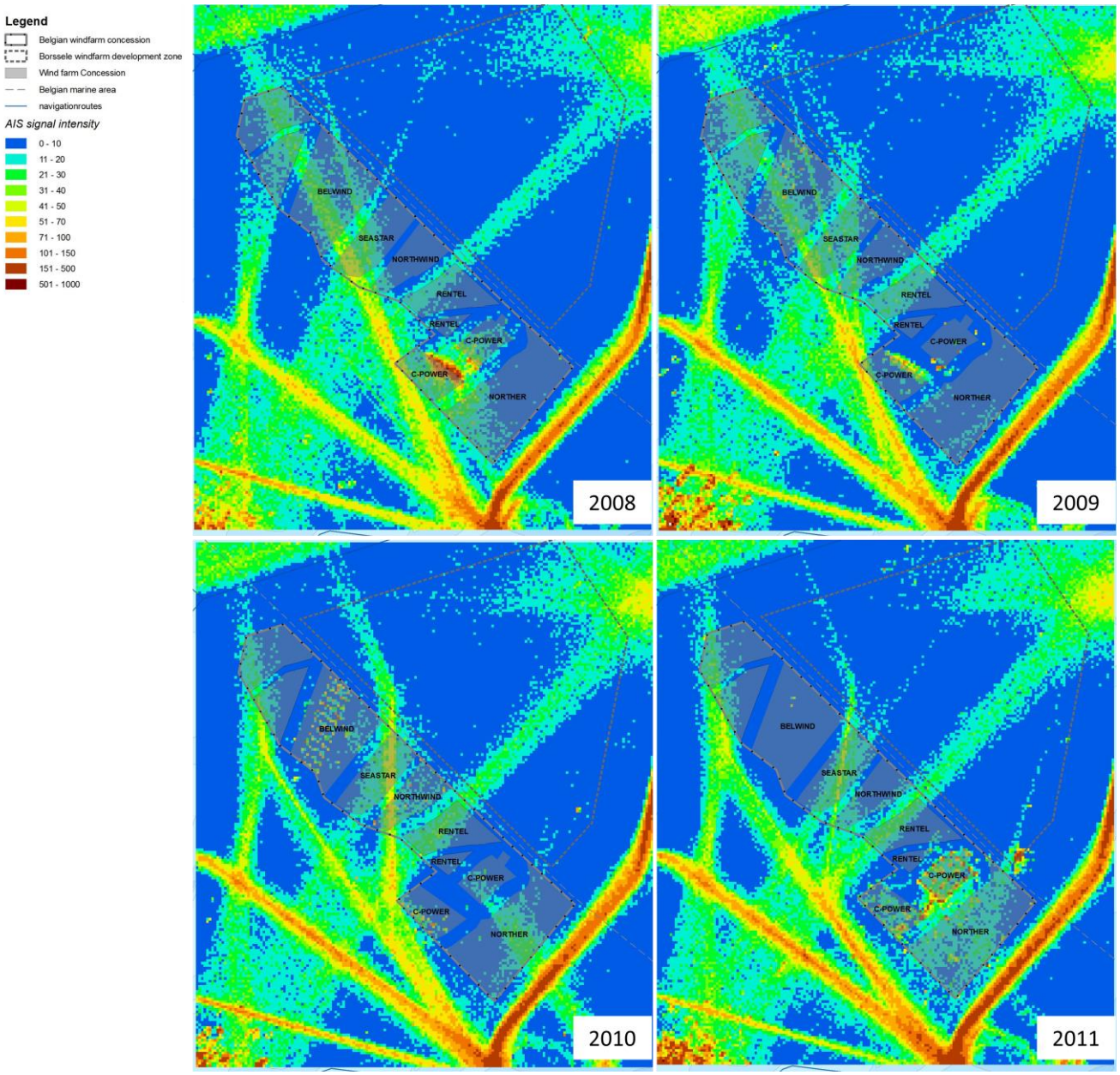
Figuur 6-5 toont hoe een belangrijke secundaire vaarroute doorheen de Mermaid en Northwester 2 concessiegebieden naar het noorden gevolgd wordt, richting de voorzorgsgebied. Om de autonome ontwikkeling naar de toekomst toe te kunnen inschatten, kan gekeken worden naar de evolutie van het scheepvaartverkeer tijdens de afgelopen jaren onder invloed van het in gebruik nemen van windparken C-Power en Belwind (Figuur 6-6).

In 2008 en 2009 bestond er een belangrijke secundaire scheepvaartroute dwars doorheen SeaStar, Belwind, Mermaid en Northwester 2. In 2010 werd scheepvaart in de Belwind concessiezone volledig verboden. De secundaire vaarroute dwars doorheen de parken verlegde zich naar een meer westelijke route rond Belwind, doorheen de westelijke rand van Mermaid en Northwester 2. In 2011 heeft de scheepvaart zich nog meer geconcentreerd (hogere densiteiten) in een NNW-ZZO gerichte route parallel aan de ZW kant van het Belgisch concessiegebied. Het is te verwachten dat door de verdere ingebruikname van de windparken de scheepvaartroutes zich autonoom zullen ontwikkelen tot routes ten ZO en NW rondom de Belgische windparkzone. Daar zal de intensiteit van de scheepvaart dan ook sterk toenemen en zich concentreren in strikte vaarroutes omheen het geheel van de windparken. De routes doorheen de Mermaid en Northwester 2 gebieden zullen zich waarschijnlijk ontwikkelen zoals aangegeven in Figuur 6-9 tot Figuur 6-11 (MARIN-IMDC, 2014).

In Nederland is gebleken dat er een sterke daling van de niet-routegebonden visserijbewegingen heeft plaatsgevonden sinds 2000 (MARIN-IMDC, 2014). Op basis van de VMS-gegevens van 2009 (Vessel Monitoring Through Satellite) is de dichtheid van vissersschepen op het Nederlandse deel van de Noordzee 40% minder dan die op basis van VONOVI (VerkeersOnderzoek NOoordzee Visuele Identificatie) in 2000. Deze inkrimping van 40% in de afgelopen 9 jaar wordt ook voor het Belgische deel van de Noordzee als realistisch ervaren door de experts en is dan ook ingebracht in het doorgerekende numerieke model. Aangezien niet bekend is, hoe de visserij zich verder gaat ontwikkelen, is er geen verder afname van de visserij gemodelleerd (MARIN-IMDC, 2014).



Figuur 6-5 Scheepvaartverkeer in 2012 (bron AIS-data: Beheer- en Exploitatie Team Schelderadarketen, J. Raes, Hoofdbeheerder BET-SRK (VL), A. Descamps, Afdelingshoofd Scheepvaartbegeleiding).



Figuur 6-6 Evolutie van het scheepvaartverkeer rondom en tussen de windparken tussen 2008 en 2011 (bron AIS-data: Beheer- en Exploitatie Team Schelderadarketen, J. Raes, Hoofdbeheerder BET-SRK (VL), A. Descamps, Afdelingshoofd Scheepvaartbegeleiding)

Uit voorgaande studies (Ecolas, 2003; Le Roy *et al.*, 2006, DNV, 2008) blijkt dat de raming van scheepsongevallen in de Belgische territoriale wateren een zeer moeilijke berekening is. De getallen variëren van meerdere aanvaringen per jaar tot minder dan 0,0005/jaar afhankelijk van het beschouwde gebied, het scheepstype en het type accident (aanvaring/aandrijving; met een schip/platform) dat in overweging genomen wordt. Een inzicht in de werkelijke kans op een ongeval op het BDNZ is moeilijk in te schatten. Verder blijken vooral RoRo (Roll on/Roll off) schepen, vrachtschepen en in minder mate ook containers, betrokken te zijn bij een aanvaring tussen 2 schepen (DNV, 2008).

In de RAMA-studie (Le Roy et al., 2006) wordt een risico-inschatting gegeven van 14,5 ongevallen per jaar in het BDNZ, waarvan 12 per jaar door het aan de grond lopen van

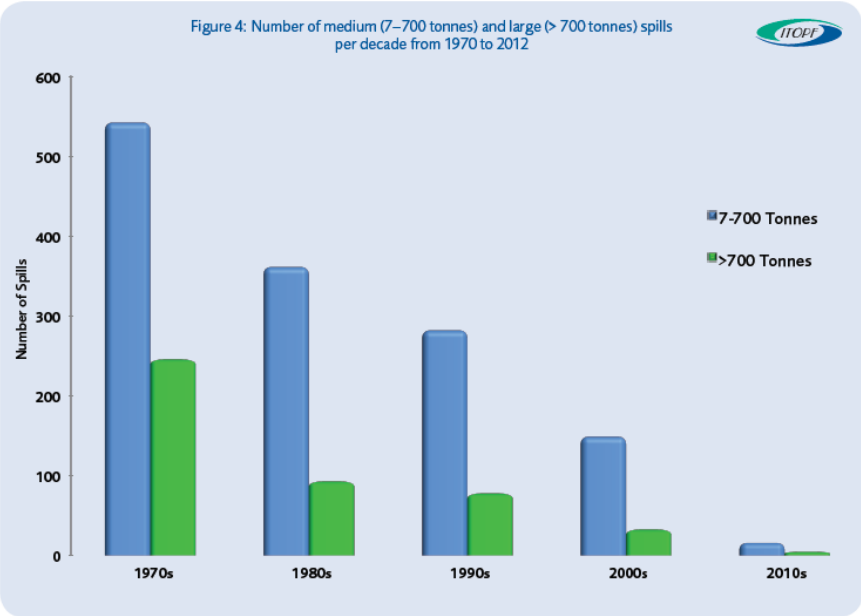
schepen en 1,25 per jaar door aanvaring tussen 2 schepen. Hierbij werden verschillende types van ongevallen en schepen in rekening gebracht. Dit aantal (14,5 ongevallen) wordt in de RAMA-studie eerder als een overschatting beschouwd omwille van allerlei redenen (Arcadis, 2008). Een risico voor aanvaringen tussen 2 schepen in het BDNZ wordt ingeschat op eens om de ca. 2,5 jaar (DNV, 2008). Dit getal wordt echter genuanceerd bij vergelijking met de incidentenhistoriek, als zijnde een overschatting van de werkelijkheid.

Analoog hiermee, blijkt een grote variatie te bestaan voor de inschatting van het aantal accidenten die effectief aanleiding geven tot milieuverontreiniging. In de RAMA-studie (Le Roy *et al.*, 2006) wordt de kans op een accident met een lozing van gevaarlijke goederen (milieuverontreiniging) op eens om de 3 jaar ingeschat. Dit aantal wordt eerder als een overschatting beschouwd omwille van allerlei redenen (o.a. karakteristieken van het model in combinatie met het zandbank-systeem). MARIN (2013) berekende die kans op eens om de 31 jaar. In Ecolas (2003) wordt vermeld dat BMM 3 incidenten met milieuvervuiling per 100 jaar, of eens om de ca. 30 jaar, als een aanvaardbaar risico beschouwd.

Een toetsing van deze inschattingen aan de werkelijkheid toont aan dat er gedurende de laatste 40 jaar een 30-tal incidenten geweest zijn met olie, die een potentieel gevaar opleverden voor de Belgische Kust (Ecolas, 2006). De gelekte volumes variëren tussen de 10.000 ton (Olympic Allience, Dover Street, 1975, Iranean light crude) en minder dan 10 ton (bvb. Noordpas incident, EEZ, 2001, olie niet verder gespecificeerd). De helft van de vervuiling werd veroorzaakt door stookolie, benzine, ‘crudes’, terwijl de andere helft niet geïdentificeerd werd. Dit resulteerde dus in gemiddelde gelekte hoeveelheden van ongeveer 1.500 ton voor het totaal vervuilde gebied en 500 ton voor het BDNZ. Deze grote hoeveelheid is hoofdzakelijk te wijten aan het accident met de British Trent (1993) waarbij ongeveer 5.000 ton in zee terecht kwam. Een analyse exclusief dit accident geeft voor het BDNZ een gemiddelde gelekte hoeveelheid van ongeveer 50 ton.

Historische gegevens van tankers op wereldschaal (periode 1970-2012) tonen bovendien een duidelijk afnemende trend in het aantal grote (> 700 ton) olieverontreinigingen, met een gemiddeld aantal van 3 grote verontreinigingen per jaar voor de periode 2000-2009 (ITOPF, 2013). In 2011, werd slechts 1 grote verontreiniging geregistreerd en slechts 4 gemiddelde verontreinigingen. In 2012 waren er geen grote verontreinigingen, maar wel 7 gemiddelde. Het totaal aantal verontreinigingen boven 7 ton in 2011 is het laagste aantal tot nu toe (Figuur 6-7). Het is dus bemoedigend om vast te stellen dat ondanks het toenemend scheepvaartverkeer (inclusief olietankers) er een dalende trend in olieverontreiniging vast te stellen is.

Uit een overzicht van verontreiniging met olietankers voor de periode 1974 – 2012 (ITOPF, 2013) (Tabel 6-22), blijkt dat de verontreiniging in 95% van de gevallen < 700 ton is (kleine en middelgrote uitstromen). Een groot aandeel van deze verontreinigingen, 40% en 29% respectievelijk, komen voor tijdens laden en lossen in havens en olieterminals. De oorzaak is meestal onbekend, maar materiaalpech en scheuren in de romp gelden voor ca. 46% van de ongevallen als oorzaak van zowel kleine als middelgrote uitstromen (Tabel 6-22). In 5% van de ongevallen is de uitstroom > 700 ton. In 50% van deze gevallen gebeurde de uitstroom onderweg in open water, door toedoen van vooral aandrijvingen/aanvaringen en het aan de grond lopen van het schip (samen 59%).



Figuur 6-7 Aantal olieverontreinigingen tussen 7-700 ton en groter dan 700 ton (ITOPF, 2013)

Tabel 6-22 Aantal verontreinigingen tijdens bepaalde operaties en mogelijke oorzaken van verontreiniging door tankers (1974-2012) (ITOPF, 2013)

	< 7 ton	7-700 ton	> 700 ton	Totaal
Operaties				
Laden/uitladen	3.157	390	41	3.588
Bunkering	564	33	1	598
Andere	1.281	150	332	1.763
Onbekend	2.842	777	81	3.700
Oorzaken				
Aanvaringen	182	350	134	666
Aan de grond lopen	242	273	149	664
Scheuren in de romp	577	99	60	736
Materiaal problemen	1.681	204	18	1.903
Brand, explosie	173	45	53	271
Andere/ongekende	4.989	379	41	5.409
Totaal	7.844	1.350	455	9.649

Wegens de aanduiding van de Noordzee als speciale zone onder MARPOL en de strengere regelgeving wordt een daling vastgesteld in opgemerkte lozingen. Terwijl in de jaren ‘90 jaarlijks ongeveer 50 olielozingen werden opgemerkt, worden er sinds 2000 jaarlijks nog slechts een dertigtal lozingen opgemerkt in de Belgische mariene wateren. Ook het totale volume van de lozingen loopt terug, waarbij de maximale olievlekken tussen de 10-100 m³ bedragen (www.mumm.ac.be – Luchttoezicht). Deze vorm van olievervuiling staat los van de windparken, en zal niet verder in detail behandeld worden.

6.3.8.1.3 Effecten

Door de aanleg van de windparken zal een schip dat nu een route volgt door de toekomstige windparken, in de toekomst zijn route moeten verleggen en de windparken op minimaal 500 m afstand moeten passeren conform het KB van 11 april 2012 (publicatie 1 juni 2012). Naast de rechtstreekse hinder dat het schip hierdoor ondervindt, zijn er ook nog andere gevolgen. Doordat het schip een andere route neemt krijgen de scheepvaartroutes buiten de windparken een hogere intensiteit. Als gevolg van de hogere intensiteiten op deze routes is te verwachten dat het aantal ontmoetingen en dus ook het aantal ongevallen zal toenemen.

De effecten op risico's en veiligheid voor en door de scheepvaart kunnen opgesplitst worden in:

- Directe effecten voor het scheepvaartverkeer: veranderende verkeersstromen en een verhoogde kans op een aanvaring/aandrijving van een windturbine, een WEC of ander schip;
- Gevolgschade:
  - Schade aan het windpark en schade aan het schip ten gevolge van aanvaringen/aandrijvingen;
  - Verontreiniging ten gevolge van een scheepsramp (inclusief de milieueffecten in termen van uitstroom van bunkerolie en ladingsolie als gevolg van een aanvaring met een turbine);
  - Persoonlijk letsel;
  - Impact op rest van de scheepvaart.

Constructiefase

Gedurende de bouwperiode varen dagelijks enkele schepen (maximaal vijf) van en naar het windpark. De meeste van deze vaarbewegingen worden uitgevoerd met normale snelheid en geven daardoor niet meer hinder voor de andere scheepvaart dan een normale scheepsbeweging. Het effect van deze scheepvaart op het totale risico in een gebied hangt af van de drukte in het gebied. Deze vaarbewegingen moeten gezien worden als normale bedrijvigheid. Het verhoogde risico is van tijdelijke aard (MARIN-IMDC, 2014). Figuur 6-6 illustreert de bedrijvigheid in 2008 en 2009 ter hoogte van de ZW C-Power concessiezone, de uitvoeringswerken in het Belwind windpark en de monitoring of vooronderzoeken in het Northwind park in 2010, en de bedrijvigheid ter hoogte van het NO C-Power concessiegebied in 2011. In 2012 werd opnieuw meer bedrijvigheid in het ZW deel van de C-Power concessiezone waargenomen (Figuur 6-5).

Vermoedelijk zal Oostende de uitvalsbasis voor de Mermaid en Northwester 2 projecten worden. Van hieruit naar de windparken is het ongeveer 2u varen. Met vijf schepen zijn dit 5 x 2u x 2 (heen + terug) = 20 extra vaaruren per dag. Tijdens de bouwperiode zijn dus gemiddeld 20/24 = 0,83 extra schepen aanwezig (buiten het park). Op een totaal van 27,78 gemiddeld aanwezige schepen op een moment op de Belgische Noordzee is dit een verhoging van 3,1% (MARIN-IMDC, 2014).

Het aantal van 27.78 schepen is opgebouwd uit 14.98 routegebonden schepen en 12.8 niet–routegebonden schepen. In die verkeersdatabase is het verkeer van bijvoorbeeld Oostende langs de kust naar Nieuwpoort, en verder naar Frankrijk niet opgenomen. Tevens zal vanwege AIS dekking een deel van de scheepsreizen in het westelijke deel op de doorgaande route ontbreken.

Gedurende de bouwperiode is de kans op een aanvaring tussen schepen door de verhoogde verkeersintensiteit daarom 6,2% hoger dan normaal (het aantal aanvaringen tussen schepen neemt kwadratisch met de intensiteit toe). In de praktijk zal dit minder zijn omdat de schepen de meeste tijd in relatief stille gebieden varen. De kans op een ander type scheepsongeval neemt in deze periode toe met 3,1%.

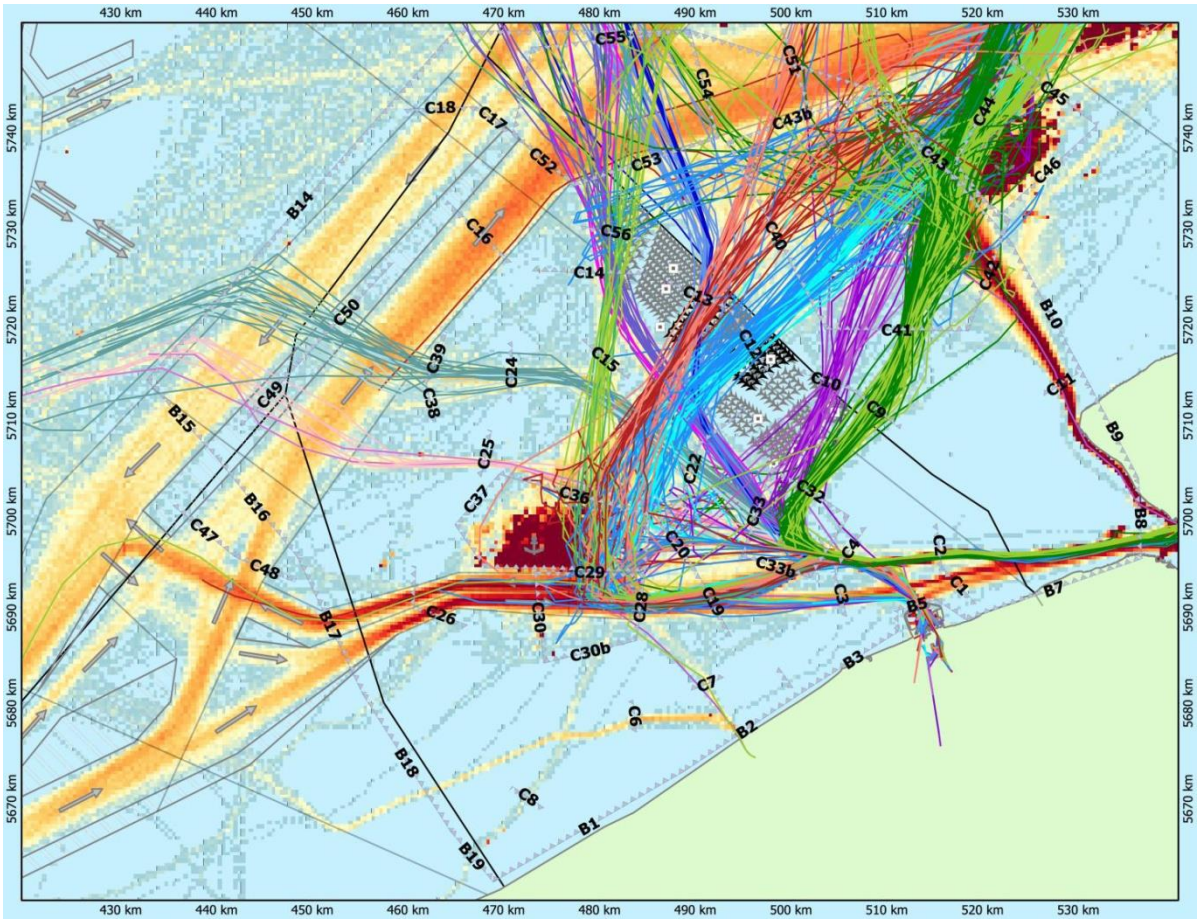
Operationele fase

Directe effecten voor scheepvaartverkeer

Veranderende verkeersstromen

Het gebied van de windparken indien ze eenmaal gebouwd zijn, vormt een 'verboden' gebied voor alle scheepvaart (met uitzondering van reparatie/onderhoudsvaartuigen). Hierdoor verandert het verkeersbeeld rond de windparken.

Het verkeersbeeld in de situatie januari 2012, bij aanwezigheid van de operationele windparken Belwind en C-Power, is weergegeven in Figuur 6-8.



Figuur 6-8 Weergave van routes langs de windparken in januari 2012 (routegebonden verkeer)

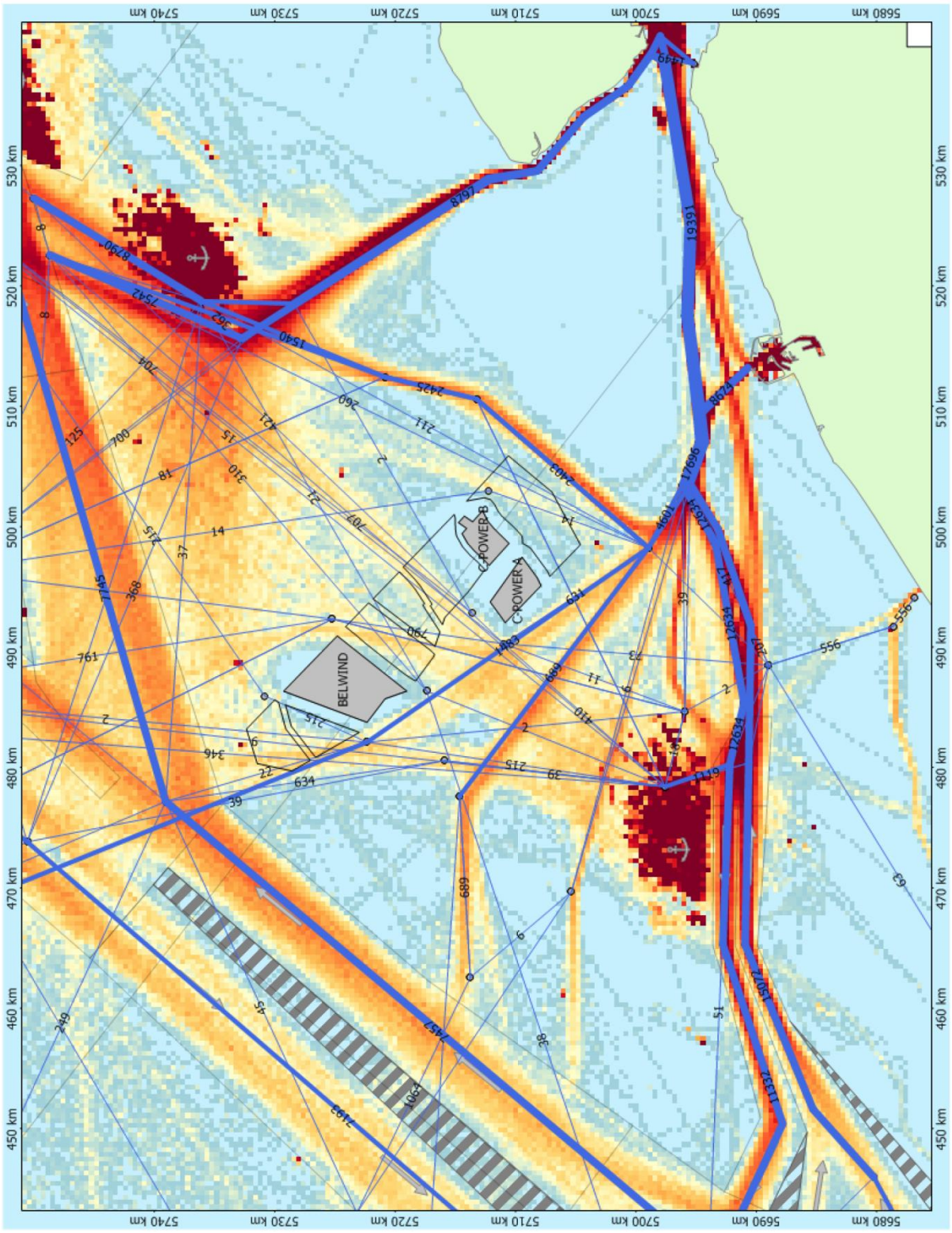
Figuur 6-9 toont een vereenvoudigde weergave van het verkeersbeeld voor de situatie 2012. Na routeren van het verkeer waarbij ook Norther, Northwind, Rentel en SeaStar aanwezig worden verondersteld, ontstaat het verkeer in het basisscenario (i.e. referentiescenario waarbij

Mermaid en Northwester 2 nog niet zijn gerealiseerd) gegeven in Figuur 6-10. De routes tussen Belwind en C-Power worden omgelegd rond Belwind en Norther. De verkeerssituatie in het doorgerekende cumulatieve scenario (waarbij alle voorziene windparken zijn gebouwd) wordt gegeven in Figuur 6-11. In de figuur worden alleen de centrale lijnen van de routes aangegeven. Elke route heeft een zeker spreiding. De spreiding over de route is normaal verdeeld, maar wel tot minstens 500 meter van het windpark (juridische veiligheidsafstand). Het gedeelte van het verkeer dat volgens de normale verdeling binnen die 500 meter zou vallen, wordt op 500 meter neergelegd. De centrale routes liggen op 1 mijl van de concessiezones.

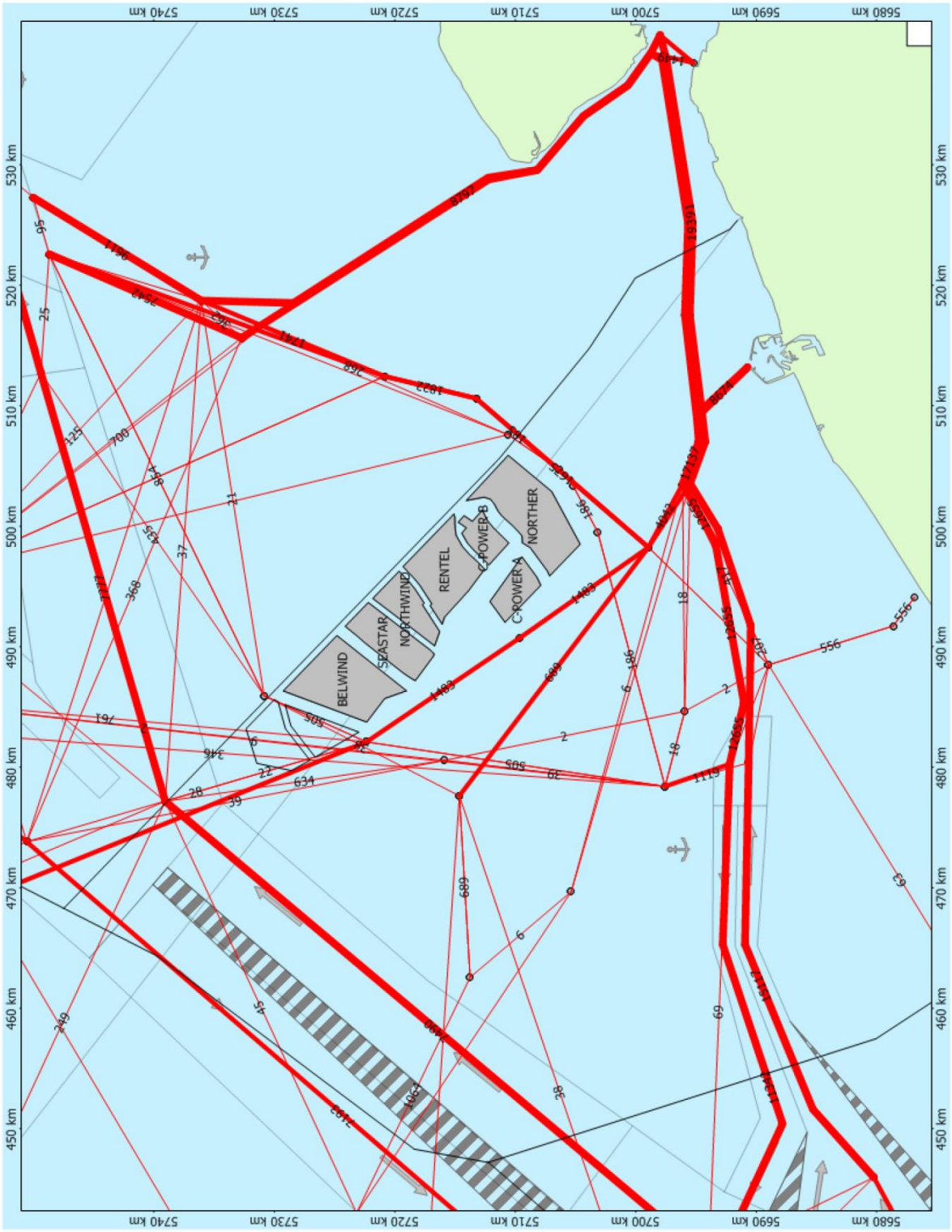
De routes die in het basisscenario doorheen Mermaid en Northwester 2 gaan worden daarbij omgelegd via het noorden omheen Mermaid. Omdat de afstand tussen de windparken en het voorzorgsgebied, waar verplicht ingevoegd moet worden in het verkeersscheidingsstelsel Noordhinder Zuid, veel kleiner wordt, worden de verkeersstromen meer gestroomlijnd. Waar voorheen kruisende routes voorkwamen ten noorden van Belwind, worden na sluiting van Mermaid deze scheepsbewegingen geconcentreerd in een kleiner aantal verkeerslinken. Hierdoor worden risicovolle kruisingen nu herleid naar veiliger inhaalmanoeuvres.

Het aantal afgelegde scheepsmijlen op het BDNZ in het cumulatieve scenario daalt ten opzichte van het basisscenario. Dit komt met name door het meer gestroomlijnde verkeer na routeren om Mermaid heen. In de omliggende Nederlandse, Franse en Britse zeegebieden neemt het aantal afgelegde scheepsmijlen wel toe. De kosten voor de totaal afgelegde zeemijlen op het BDNZ nemen af met 0,02% of ongeveer 27.800 euro.

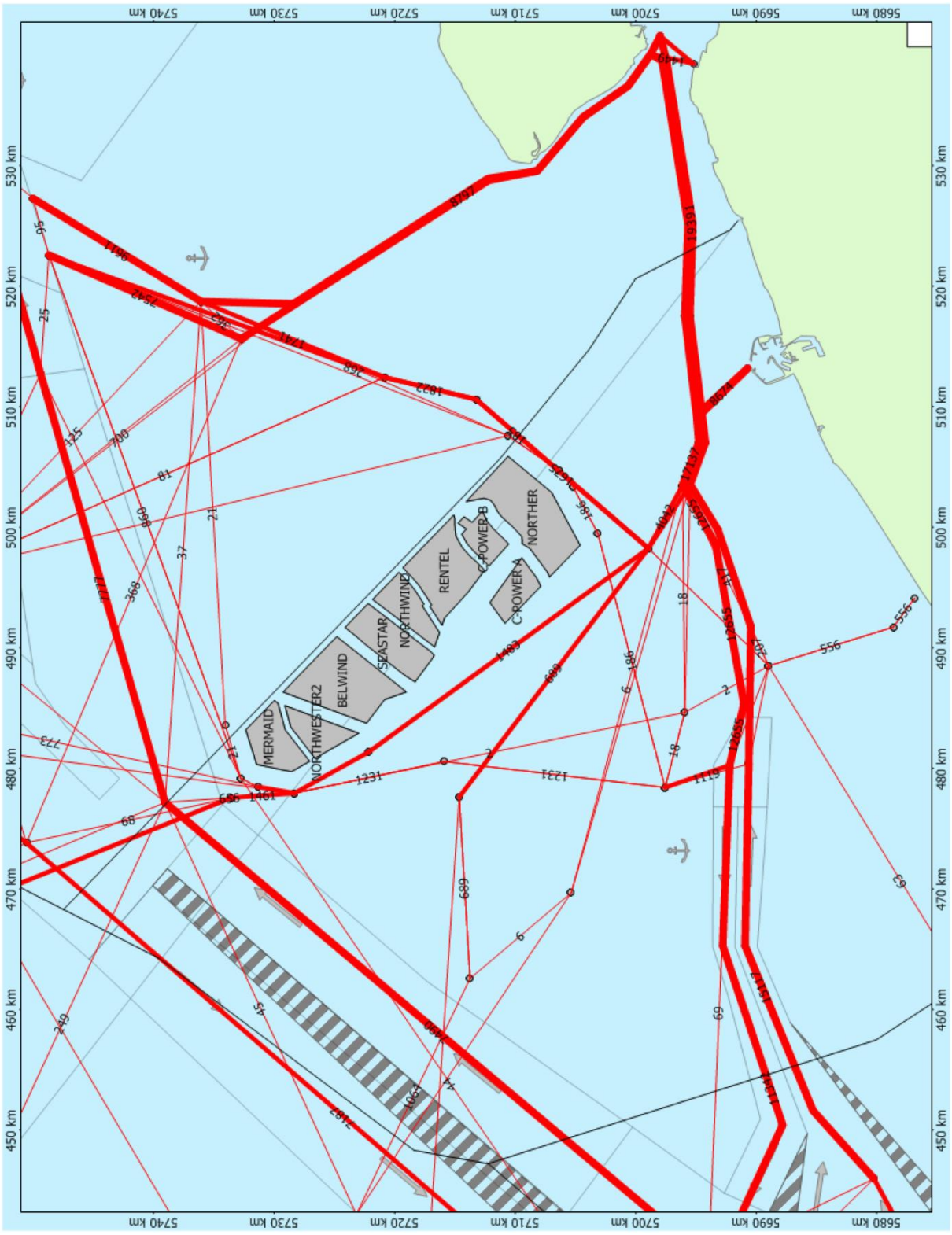
De beperkte veranderingen in aantal afgelegde scheepsmijlen zal ook een effect hebben op emissies afhankelijk van scheepstype en scheepsgrootte. Deze emissies worden besproken in hoofdstuk Klimaat en Atmosfeer § 6.3.3.2.



Figuur 6-9 Verkeersbeeld in de situatie 2012 (volledig jaar 2012), bij aanwezigheid van windparken Belwind en C-Power



Figuur 6-10 Verkeersbeeld in het basisscenario bij aanwezigheid van windparken Belwind, SeaStar, Northwind, Rentel, C-Power en Norther



Figuur 6-11 Verkeersbeeld in het doorgerekende cumulatieve scenario bij aanwezigheid van windparken Mermaid, Northwester 2, Belwind, SeaStar, Northwind, Rentel, C-Power en Norther

Aanvaringen/aandrijvingen met windturbines

Door de aanwezigheid van de windparken is een nieuw type risico ontstaan op die locatie op zee, namelijk de kans dat een schip tegen één van de windturbines of WEC's aanvaart of aandrijft.

De frequenties voor aanvaringen tegen één van de windturbines zijn bepaald met het SAMSON-model. Voor deze berekeningen is de verkeersdatabase gebruikt waarbij de windparklocaties zijn vrijgemaakt van verkeer (Figuur 6-11). De resultaten van deze berekening worden gegeven in termen van het aantal mogelijke aanvaringen per jaar voor elke windturbine afzonderlijk, voor elk windpark afzonderlijk (Mermaid en Northwester 2) en voor de respectievelijke windparken onder het cumulatieve scenario (voor alle tabellen en figuren wordt verwezen naar de volledige studie in bijlage).

Uit de resultaten blijkt dat de windturbines aan de westelijke en zuidwestelijke rand van het Mermaid park relatief hogere aanvaarkansen hebben vergeleken met de overige turbines. In het Northwester 2 park is de aanvaarkans het hoogste aan de zuidwestelijke rand, maar lager dan in Mermaid. Dit is zoals te verwachten was, gelet op de ligging van Mermaid nabij de drukste vaarroutes en de verscholen lokatie van Northwester 2 tussen de naburige windparken.

Uit de resultaten blijkt dat zowel het aantal aanvaringen (rammen) als aandrijvingen vooral wordt bepaald door het routegebonden verkeer, voor beide parken en beide configuraties.

Het aantal turbines heeft een grote invloed op de totale aanvaringskans van een windpark. De configuraties met dubbel zoveel turbines (op een jacket fundering) heeft ongeveer een dubbel zo grote aanvaringskans. De totale aanvaringskans is voor beide configuraties hoger voor Mermaid dan voor Northwester 2. Uit de gemiddelde aanvaringskans per turbine blijkt dat het effect van het type fundering de aanvaarkans nauwelijks beïnvloedt. De grootte van de fundering heeft normaal gezien een invloed op de aanvaringskans (voornamelijk rammen), maar door het kleine verschil in afmeting met de monopiles, is dit in deze studie niet het geval (7,5 x 7,5 m voor JF versus 6 m diameter voor MP).

De gemiddelde aanvarings- en aandrijvingsfrequentie per turbine is voor Mermaid ongeveer eens in de 1639 jaar (ongeacht de configuratie). Voor Northwester 2 is dit eens in de 2128 jaar.

In Tabel 6-23 zijn voor alle windparken en de twee configuraties voor Mermaid en Northwester 2 de aanvarings- en aandrijvingskansen weergegeven. De procentuele bijdrage van de kans per windpark tot de totale aanvaringskans voor alle parken samen is gegeven in Tabel 6-24.

Uit Tabel 6-24 blijkt dat Norther het grootste aandeel heeft, gevolgd door de configuratie 1 van Mermaid en Northwester 2 (resp. 80 en 70 turbines) en Belwind. De basisconfiguraties van Mermaid en Northwester 2 (resp. 38 en 35 turbines) zijn vergelijkbaar met de andere parken. Het grote aandeel van Norther is vooral te wijten aan de relatief lange zuidelijke parkgrens langsheen een drukke vaarroute. De hoge aandelen van Norther en Belwind zijn eveneens te wijten aan de grote aantal turbines in die parken. Wat ook de reden is voor de lagere aandelen van Mermaid en Northwester 2 in de basisconfiguraties met een kleiner aantal turbines.

Tabel 6-23 Verwachte aanvaringen/aandrijvingen voor alle windparken en configuraties

Alle windparken en configuraties	Aantal aanvaringen (rammen) per jaar		Aantal aandrijvingen (driften) per jaar		Totaal aantal per jaar	Eens in … jaar
	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
Mermaid basis (38 x 6 MW MP)	0,008369	0,002514	0,011445	0,001265	0,023593	42
Mermaid config. 1 (80 x 3,3 MW JF)	0,016852	0,005734	0,022886	0,002539	0,048011	21
Northwester 2 basis (35 x 6 MW MP)	0,004553	0,001754	0,009129	0,001076	0,016512	61
Northwester 2 config. 1 (70 x 3,3 MW JF)	0,009289	0,003736	0,017593	0,002108	0,032726	31
Belwind	0,002553	0,002277	0,023781	0,002172	0,030783	32
SeaStar	0,000842	0,002876	0,010493	0,00149	0,015701	64
Northwind	0,000061	0,001278	0,014421	0,001729	0,017489	57
Rentel	0,000051	0,003107	0,013081	0,001994	0,018233	55
C-Power	0,00158	0,000733	0,014546	0,001438	0,018297	55
Norther	0,026138	0,002425	0,034624	0,002767	0,065954	15
Totaal (basis configuratie)	0,044147	0,016964	0,13152	0,013931	0,206562	5

Tabel 6-24 Relatief aandeel per windpark tot het totaal aantal aanvaringen/aandrijvingen voor alle windparken

Alle windparken en configuraties	Aantal aanvaringen (rammen) per jaar		Aantal aandrijvingen (driften) per jaar		Totaal aantal per jaar
	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
Mermaid basis (38 x 6 MW MP)	19,0%	14,8%	8,7%	9,1%	11,4%
Mermaid config. 1 (80 x 3,3 MW JF)	29,4%	25,9%	15,1%	15,6%	19,4%
Northwester 2 basis (35 x 6 MW MP)	10,3%	10,3%	6,9%	7,7%	8,0%
Northwester 2 config. 1 (70 x 3,3 MW JF)	16,2%	16,9%	11,6%	13,0%	13,2%
Belwind	5,8%	13,4%	18,1%	15,6%	14,9%
SeaStar	1,9%	17,0%	8,0%	10,7%	7,6%
Northwind	0,1%	7,5%	11,0%	12,4%	8,5%
Rentel	0,1%	18,3%	9,9%	14,3%	8,8%
C-Power	3,6%	4,3%	11,,1%	10,3%	8,9%
Norther	59,2%	14,3%	26,3%	19,9%	31,9%

De aanvarings- en aandrijfkans voor Mermaid varieert tussen eens in de 42 jaar (basisconfiguratie 38 x MP) en eens in de 21 jaar (configuratie 1 80 x JF). Voor Northwester 2 ligt de aanvarings- en aandrijfkans tussen eens in de 61 jaar en eens in de 31 jaar voor resp. de basisconfiguratie en configuratie 1. De totale aanvarings- en aandrijfkans ten gevolge van alle parken samen wordt geschat als eens om de 5 jaar voor de basisconfiguratie.

Tijdens de operationele fase zal elk jaar een beperkt aantal scheepsbewegingen nodig zijn voor onderhoud en reparaties van turbines en WEC's in Mermaid. Uit ervaring met bestaande parken weet men dat dit in de eerste jaren bijna dagelijks zal zijn. Het is voorzien dat de weersomstandigheden tijdens deze onderhouds- en reparatiewerken voldoende goed moeten zijn om een veilige benadering en uitvoering van de werken te verzekeren. Tijdens de exploitatiefase wordt geen aanzienlijke verhoging van de risico's verwacht door dit scheepsverkeer in verhouding tot de huidige situatie, aangezien de frequentie uiterst beperkt zal zijn in vergelijking met het totale scheepvaartverkeer op het BDNZ.

Aanvaringen/aandrijvingen met WEC's

De aanvaringskansen van twee types golfenergieconvertoren (Wavestar en Seabased) werden berekend op twee plaatsen in de basisconfiguratie van Mermaid. De Wavestar werd gemodelleerd als een platform (80 x 20 m) en de Seabased werd gemodelleerd als een windturbine op een monopile fundering (6 m diameter). De aanvaringskansen werden uitgedrukt ten opzichte van de aanvaringskansen van de vier omringende windturbines.

Voor de Wavestar in het meest westelijke basisveld is de totale aanvaringskans een factor 1,59 hoger dan de gemiddelde kans van de vier omliggende turbines, i.e. een kans van eens in de 826 jaar versus een gemiddelde kans van eens in de 1.475 jaar voor de omringende turbines. Voor de Wavestar in het oostelijke basisveld is de factor 1,55 of een aanvaarkans van eens in de 2.088 jaar (Figuur 6-12). Voor het Seabased type zijn deze factoren resp. 0,87 en 0,97, of een aanvaarkans van resp. eens in de 1.512 en 3.323 jaar (Figuur 6-13). De aanvaarkans van de Seabased is kleiner wegens zijn kleinere afmetingen.

Op basis van de aanvaarkansen van de omringende windturbines kon berekend worden dat een basisveld met 7 Wavestar units een totale aanvaarkans heeft van 0,00846 (eens in de 118 jaar) aan de westelijke kant en eens in de 299 jaar voor een basisveld aan de oostelijke kant van het Mermaid park. Voor een basisveld met 160 Seabased WEC's is de totale aanvaarkans in het westen 0,10576 of eens in de 9 jaar, voor een basisveld in het oosten is dit eens in de 21 jaar.

Merk op dat de aanvaarkans in de modellering enkel afhangt van de afmeting van de WEC en de afstand tot de vaarroutes. De modellering houdt geen rekening met de aanwezigheid van omringende turbines die een afschermende functie kunnen hebben. Het is dus een worst-case benadering, alsof de individuele WEC's zich alleen in het park bevinden.

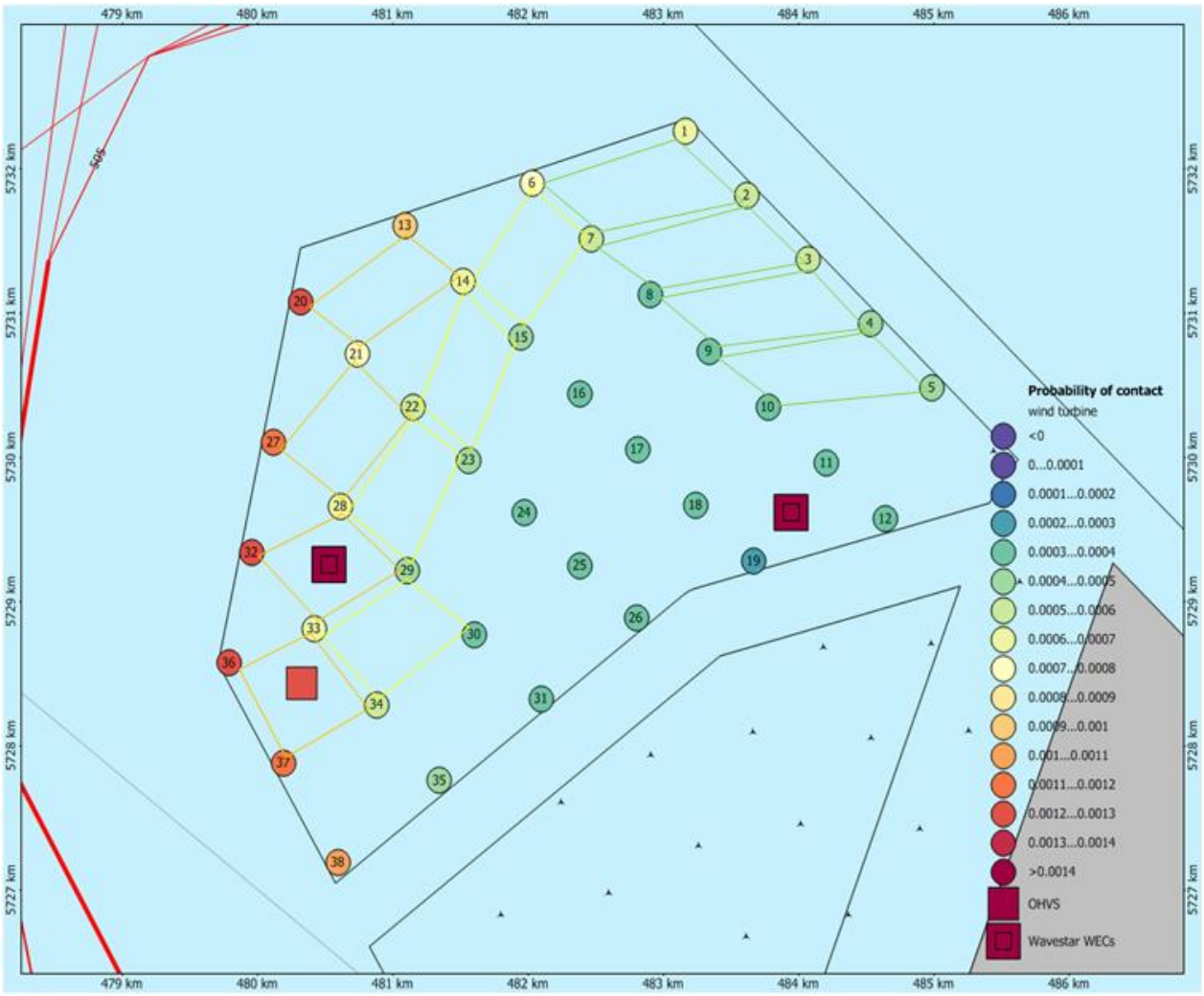
Tabel 6-25 geeft de aanvaarkans voor drie alternatieven van 4 basisvelden met 7 units Wavestar of 160 units Seabased (20 MW) gelegen op de posities weergegeven in respectievelijk Figuur 6-12 en Figuur 6-13. De aanwezigheid van vier velden Wavestar units aan de meest westelijke zijde van het Mermaid park (oranje frames) resulteert in een aanvaarkans van eens in de 27 jaar. Bij een reeks velden meer centraal in het park (gele frames) is de aanvaarkans eens in de 39 jaar. En aan de oostelijke grens is dit slechts eens in de 47 jaar (groene frames). Dit wordt als een aanvaardbaar risico beschouwd voor de locaties aan de oostelijke zijde en meer centraal in het park (-).

De aanwezigheid van vier velden Seabased units aan de meest westelijke zijde van het Mermaid park (oranje frames) resulteert in een totale aanvaarkans van eens in de 2 jaar. Ondanks de kleinere aanvaarkans van een individuele Seabased WEC (wegens zijn kleinere afmetingen ten opzichte van de Wavestar) is door het veel groter aantal units per basisveld de aanvaarkans van een volledig veld en een reeks van vier velden veel groter. Naarmate meer naar het oosten gelegen vermindert de aanvaarkans bijna niet. Aan de meest oostelijke park zijde is de totale aanvaarkans voor vier basisvelden nog steeds eens in de 3 jaar. Dit wordt als een niet aanvaardbaar risico beschouwd (--).

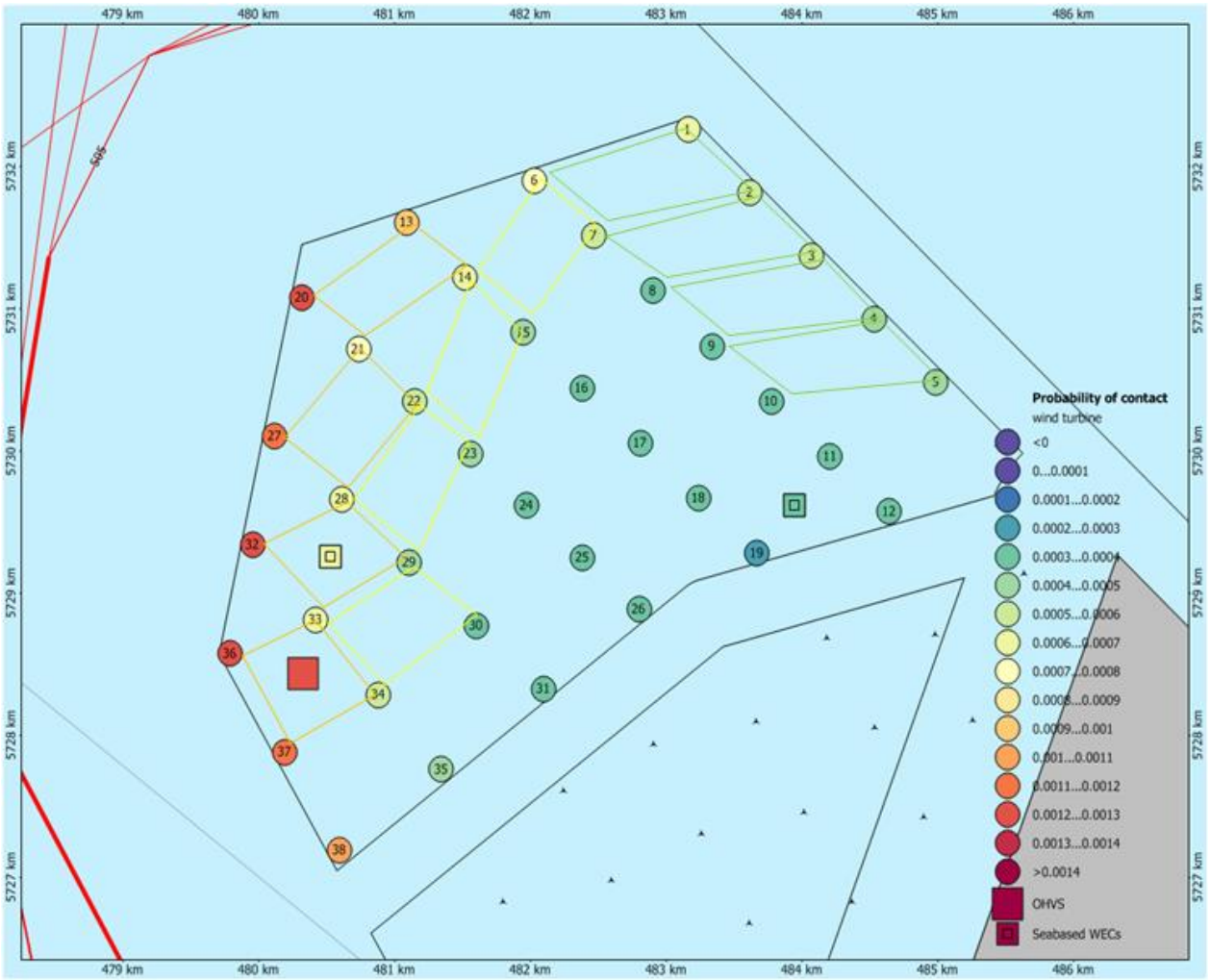
De gevolgschade na aanvaring van een Seabased WEC zal daarentegen wel kleiner zijn dan na aanvaring van een Wavestar WEC. De drijvende boei van de Seabased aan het wateroppervlak zal meebewegen met een aanvarend schip, terwijl de Wavestar verankerd is de bodem met vier monopiles en dus niet zal meegeven.

Tabel 6-25 Aanvaarkansen per basisveld en totaal voor vier basisvelden voor drie alternatieve reeksen (west, centraal, oost) voor zowel Wavestar en Seabased WEC's, voor locatie zie Figuur 6-12

Wavestar (7 units / basisveld)			**Seabased (160 units / basisveld)**		
	Totale aanvaarkans WECs in basisveld	**eens in … jaar**		**Totale aanvaarkans WECs in basisveld**	**eens in … jaar**
Reeks West			**Reeks West**		
basisveld 13-14-20-21	0.009652	104	basisveld 13-14-20-21	0.120721	8
basisveld 21-22-27-28	0.008331	120	basisveld 21-22-27-28	0.104191	10
basisveld 28-29-32-33	0.008459	118	basisveld 28-29-32-33	0.105760	9
basisveld 33-34-36-37	0.010373	96	basisveld 33-34-36-37	0.129734	8
Totaal 4 basisvelden	**0.036815**	**27**	**Totaal 4 basisvelden**	**0.460407**	**2**
Reeks Centraal			**Reeks Centraal**		
basisveld 6-7-13-14	0.007872	127	basisveld 6-7-13-14	0.098449	10
basisveld 14-15-21-22	0.006347	158	basisveld 14-15-21-22	0.079379	13
basisveld 22-23-28-29	0.005743	174	basisveld 22-23-28-29	0.071827	14
basisveld 29-30-33-34	0.005846	171	basisveld 29-30-33-34	0.073115	14
Totaal 4 basisvelden	**0.025808**	**39**	**Totaal 4 basisvelden**	**0.322770**	**3**
Reeks Oost			**Reeks Oost**		
basisveld 1-2-6-7	0.006966	144	basisveld 1-2-6-7	0.099638	10
basisveld 2-3-7-8	0.005477	183	basisveld 2-3-7-8	0.078337	13
basisveld 3-4-8-9	0.004731	211	basisveld 3-4-8-9	0.067667	15
basisveld 4-5-9-10	0.004324	231	basisveld 4-5-9-10	0.061847	16
Totaal 4 basisvelden	**0.021497**	**47**	**Totaal 4 basisvelden**	**0.307490**	**3**



Figuur 6-12 Grafische voorstelling van de aanvaringskans per turbine en per WEC. Groot vierkant = OHVS, twee dubbele vierkanten = Wavestar WEC gekleurde frames = drie alternatieven voor ligging vier basisvelden



Figuur 6-13 Grafische voorstelling van de aanvaringskans per turbine en per WEC. Groot vierkant = OHVS, twee dubbele vierkanten = Seabased WEC, gekleurde frames = drie alternatieven voor ligging vier basisvelden

Aanvaringen tussen schepen onderling

Buiten de mogelijke aanvaringen met windturbines kan de aanwezigheid van de windparken ook op andere gebieden effect hebben op de scheepvaart. Zo zorgt omvaren van schepen voor extra kosten en zal door omvaren het aantal aanwezige schepen in bepaalde geconcentreerde vaarzones op zee significant toenemen. Bovendien heeft het verleggen van de routes en een verandering van intensiteiten ook een mogelijk effect op de onderlinge ontmoetingen van schepen, en daarmee ook op het risico van onderlinge aanvaringen.

Tabel 6-26 geeft de effecten van het bouwen van de Mermaid en Northwester 2 windparken op de scheepvaart buiten de parken op het BDNZ, als gevolg van de veranderingen van vaarroutes ten opzichte van het basisscenario (enkel Belwind, SeaStar, Northwind, Rentel, C-Power en Norther aanwezig). Daar de Belgische windconcessie dichtbij de grens van het BDNZ gelegen is, zullen de effecten ook buiten het BDNZ waarneembaar zijn. Tabel 6-27 geeft daarom de resultaten weer voor het gehele beïnvloedingsgebied, i.e. het gebied dat de

totale verkeersdatabase omvat (BDNZ, klein deel UK, deel NL, klein deel FR, zie omvang in Figuur 6-9 tot Figuur 6-11).

In de tabel worden het absolute aantal aanwezige schepen onder het basisscenario, het absolute verschil ten opzichte van het basisscenario en het relatieve verschil ten opzichte van het basisscenario gegeven.

Bij het operationeel worden van windparken Mermaid en Northwester 2, zullen de concessiezones afgesloten worden voor alle verkeer (uitgezonderd onderhoudsschepen). De verkeerssituatie uit het basisscenario (Figuur 6-10) zal evolueren naar de verkeerssituatie volgens cumulatieve scenario weergegeven in Figuur 6-11.

Door sluiting van de routes doorheen Mermaid en Northwester 2 zullen vooral passagiersschepen en ferries meer tijd spenderen op het BDNZ door het omvaren. Enkele gas tankers en General Dry Cargo schepen besteden minder tijd op het BDNZ (Tabel 6-26). Dit zijn schepen die in de situatie van 2012 tussen Belwind en C-Power doorvoeren, die in het basisscenario omheen Belwind werden omgeleid en in het cumulatieve scenario ten noorden van Mermaid worden omgeleid. Over het gehele gebied bekeken brengen meer schepen meer tijd door op zee (Tabel 6-27), zoals verwacht werd.

In de tabellen staan onder ‘veiligheid’ de effecten van de veranderde routes op het aantal ongevallen weergegeven per ongevaltype. Het aantal schepen betrokken bij een aanvaring zal door de veranderde verkeerssituatie omheen Mermaid en Northwester 2 afnemen met 0,09% op het BDNZ ten opzichte van het basisscenario. Het gebied ter hoogte van Mermaid en Northwester 2 en de zone tot aan het ankergebied is normaal gezien een gebied met veel kruisende verkeersroutes. Door het omleiden om Mermaid heen worden deze routes meer gebundeld, waardoor meer veiliger inhaalmanoeuvres dan kruisingen voorkomen. Dit is enkel geldig voor het BDNZ, voor het gehele beïnvloedingsgebied is er een kleine toename (0,06%).

Windparken Mermaid en Northwester 2 vallen buiten de radardekking naar een Belgische haven. In een aparte studie door Flemtek wordt de problematiek rond radardekking, in nauwe samenwerking met IMDC, nader bestudeerd en uitgewerkt in § 6.3.8.2.

Tabel 6-26 Scoretabel voor de effecten van windparken Mermaid en Northwester 2 ten opzichte van het basisscenario voor de scheepvaart op het BDNZ

Omschrijving	Eenheid	Resultaat voor hele BDNZ na aanpassing van het verkeer met Mermaid + NW2 aanwezig	Absoluut effect windpark t.o.v. basisscenario	Relatieve effect t.o.v. basisscenario
Algemeen				
Gemiddeld aantal aanwezige schepen:				
OBO's		0,004	0,0000	0,00%
Chemicaliën tankers		2,617	0,0000	0,00%
Olietankers		0,863	0,0000	0,00%
Gas tankers		0,822	-0,0020	-0,24%
Bulkers		0,864	0,0000	0,00%
Unitised		5,177	0,0030	0,06%
General Dry Cargo		3,246	-0,0020	-0,06%
Passenger schepen + conv. Ferries		0,355	0,0020	0,57%
High speed Ferries		0,001	0,0000	0,00%
Overig		1,032	-0,0010	-0,10%
Totaal Routegebonden		14,981	0,0000	0,00%
Totaal niet routegebonden (alleen deel dat in VONOVI is waargenomen)		12,801	0,0000	0,00%
Veiligheid				
Aantal schepen betrokken bij een aanvaring	Aantal/jaar	1,080	-0,0010	-0,09%
Stranding als gevolg van navigatiefout	Aantal/jaar	1,606	0,0000	0,00%
Stranding als gevolg van een motorstoring	Aantal/jaar	0,194	0,0000	0,00%
Zinken	Aantal/jaar	0,061	0,0000	0,00%
Gat in scheepshuid	Aantal/jaar	0,000	0,0000	
Brand / explosie	Aantal/jaar	0,000	0,0000	
Totaal		2,941	-0,0010	-0,03%
Economisch effect				
Kosten van afgelegde zeemijlen	M€ / jaar	176,642	-0,0287	-0,02%

Tabel 6-27 Scoretabel voor de effecten van windparken Mermaid en Northwester 2 ten opzichte van het basisscenario voor de scheepvaart in de totale beïnvloedingszone (UK, NL, FR, incl. BDNZ)

Omschrijving	Eenheid	Resultaat voor hele BDNZ na aanpassing van het verkeer met Mermaid + NW2 aanwezig	Absoluut effect windpark t.o.v. basisscenario	Relatieve effect t.o.v. basisscenario
Algemeen				
Gemiddeld aantal aanwezige schepen:				
OBO's		0,011	0,0000	0,00%
Chemicaliën tankers		6,411	0,0000	0,00%
Olietankers		1,983	-0,0010	-0,05%
Gas tankers		1,980	0,0010	0,05%
Bulkers		1,864	0,0000	0,00%
Unitised		10,802	0,0300	0,28%
General Dry Cargo		9,013	0,0060	0,07%
Passenger schepen + conv. Ferries		1,114	0,0060	0,54%
High speed Ferries		0,001	0,0000	0,00%
Overig		2,920	0,0030	0,10%
Totaal Routegebonden		36,099	0,0450	0,12%
Totaal niet routegebonden (alleen deel dat in VONOVI is waargenomen)		210,822	0,0000	0,00%
Veiligheid				
Aantal schepen betrokken bij een aanvaring	Aantal/jaar	4,562	0,0028	0,06%
Stranding als gevolg van navigatiefout	Aantal/jaar	7,231	0,0033	0,05%
Stranding als gevolg van een motorstoring	Aantal/jaar	1,407	0,0001	0,01%
Zinken	Aantal/jaar	1,035	0,0000	0,01%
Gat in scheepshuid	Aantal/jaar	0,000	0,0000	
Brand / explosie	Aantal/jaar	0,000	0,0000	
Totaal		14,236	0,0063	0,04%
Economisch effect				
Kosten van afgelegde zeemijlen	M€ / jaar	383,916	0,03446	0,09%

Gevolgschade aan schip en windturbines

Naast de raming van de kans op een aanvaring of contact tussen een vaartuig en een windturbine/OHVS, moet de gevolgschade van een dergelijk effect ingeschat worden. Deze berekening is afhankelijk van een aantal factoren. De belangrijkste zijn:

- De afmeting en het soort vaartuig;
- De snelheid van het vaartuig bij de botsing;
- De manier waarop het vaartuig het obstakel raakt;
- Het feit of het obstakel een monopile of jacket is, of dat het om het OHVS gaat.

Algemeen geldt dat hoe groter het schip, hoe kleiner de impact van het obstakel op het schip zal zijn, maar hoe groter de impact op het obstakel. Daarnaast zal ook de schade aan het schip en het obstakel vergroten met de snelheid. Uit de MER C-Power (Ecolas, 2003) blijkt dat op basis van inschattingen door experts een schip op drift van 10.000 GT (= 3/4 van de schepen) een windturbine volledig zou overvaren, zodat de windturbine om zou vallen op de zeebodem of het OHVS ernstig zou beschadigen.

Het is duidelijk dat de specifieke kenmerken van het type, en dus de vorm en de bouw van het schip invloed zullen hebben op de effecten van een incident. Er zal verschil zijn in de effecten van het doordringen van de romp van een bulkvrachtschip, een enkelwandige olietanker of een algemeen vracht- of containerschip. De locatie en het volume van bunkertanks zijn ook afhankelijk van het type vaartuig.

Voor de gevolgschade aan het schip worden drie types onderscheiden: schade aan het schip in het geval dat de gondel en mastdeel op het schip valt na de aanvaring, alleen schade aan de scheepshuid en geen schade. De kans op een bepaalde schade soort veroorzaakt door zeven verschillende scheepstypen voor beide configuraties van Mermaid en Northwester 2 is weergegeven in MARIN-IMDC (2014). De resultaten tonen dat voor de basisconfiguratie van Mermaid in 49% van de contacten er geen ernstige schade zal zijn, in 47,5% van de contacten zal er schade zijn aan de scheepshuid. In de overige 3,5% van de gevallen zullen onderdelen van de turbine op het schip vallen. Voor Northwester 2 zijn deze percentages resp. 43,3% (geen schade), 54,0% (schade aan scheepshuid) en 2,8% (onderdelen op schip). Voor beide parken Mermaid en Northwester 2 is bij configuratie 1 het aandeel contacten zonder schade iets groter (resp. 49,9% en 44,8%).

Voor de gevolgschade aan de windturbines worden vier types onderscheiden: geen schade, de turbine kan scheef gaan staan, de turbine kan omvallen, de gondel en mast kunnen op het schip vallen. Voor elke windturbine werden de frequenties van de verschillende soorten schade bepaald. De som voor alle windturbines samen per park is weergegeven in MARIN-IMDC (2014). Uitgaande van de resultaten wordt voor de basisconfiguraties van Mermaid en Northwester 2, resp. eens om de 42 en 61 jaar schade verwacht aan de windparken. Voor configuratie 1 is dit eens om de 21 en 31 jaar voor resp. Mermaid en Northwester 2.

Op basis van de gemiddelde massa van een bepaald scheepstype en scheepsgrootte en de gemiddelde snelheid kan de kinetische energie bepaald worden op het moment van ‘impact’. Uit de tabellen die de verdeling van de aanvaar/aandrijffrequenties voor de verschillende impactenergie-niveaus weergeven kan afgeleid worden dat bij de basisconfiguratie van Mermaid 53,9% van de contacten met turbines door driften wordt veroorzaakt, en 46,1% door

rammen. Verder blijkt dat het voor ongeveer 84% routegebonden schepen betreft. Bij de basisconfiguratie van Northwester 2 wordt 61,8% van de contacten met turbines door driften veroorzaakt, en 38,2% door rammen. Het gaat voor 82,9% om routegeboden schepen. Voor configuraties 1 van Mermaid en Northwester 2 zijn de percentages gelijkaardig.

In MARIN-IMDC (2014) werd afgeleid dat alle aanvaringen (rammen) een impact energie hebben groter dan 0,0001 MJ. Het aantal aanvaringen dat een impact heeft boven een bepaalde energiewaarde, zal afnemen naar mate die drempelwaarde toeneemt. Er vinden nooit aandrijvingen (driften) met een impact plaats van meer dan 100 MJ. Alleen aanvaringen hebben een impact van meer dan 100 MJ.

Schade aan het milieu ten gevolge van een scheepsramp

Lading- en bunkerolie

Aangezien het projectgebied in de Noordzee ligt, valt dit onder de regelingen die van toepassing zijn op de MARPOL ‘speciale zones’, Bijlage I. Het lozen van oliehoudende vloeistoffen is daarbij verboden. De interne regelingen en controle worden verondersteld afdoende te zijn opdat geen lozingen zouden plaatsvinden. In de praktijk echter blijven illegale verontreinigingen een groot aandeel houden in de olievervuiling in de Noordzee (zie bijvoorbeeld OSPAR, 2000).

Olievervuiling kan op verschillende manieren optreden: enerzijds door een incident met een windturbine of OHVS met als resultaat het lekken van olie of olieachtige smeermiddelen en anderzijds door een onvoorzien verlies van olieachtige substanties van een schip (door aanvaring/aandrijving) ten gevolge van schepen die betrokken zijn bij de werkzaamheden rond het project (bouwfase, bekabeling, onderhoudswerken, ontmanteling) of ten gevolge van een ongeval met schepen die geen verband houden met het project.

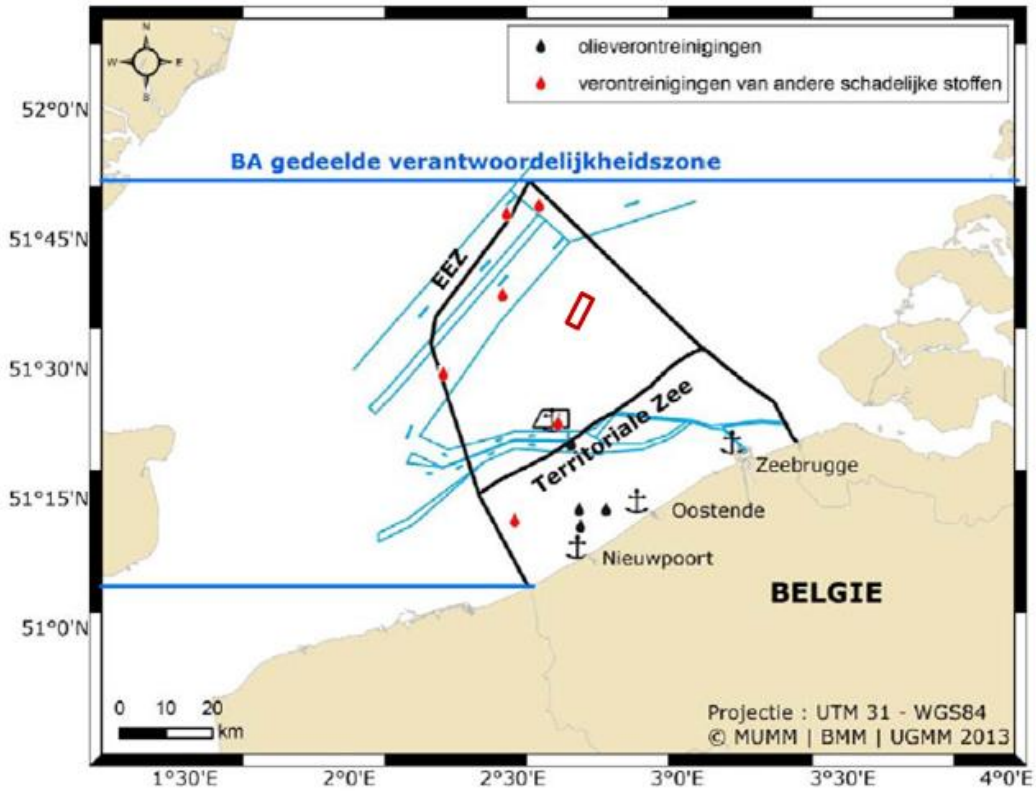
De schade aan het milieu als gevolg van een aanvaring/aandrijving met een windturbine wordt bepaald door de hoeveelheid olie die uit een schip stroomt. Er worden twee hoofdtypes olie onderscheiden: bunkerolie en ladingolie. Door de verplichting waarin vereist wordt dat tankers dubbelwandig zijn, zal de gelekte olie als gevolg van scheepsongelukken in de toekomst waarschijnlijk vooral bestaan uit bunkerolie.

Tussen 1991 en 2010 werden door BMM 18 lozingen opgespoord die door het internationale recht zijn toegestaan (toegelaten scheepslozing van plantaardige oliën of onschadelijke chemische stoffen) en 767 vermoedelijke overtredingen, waarvan 655 werden geïdentificeerd als minerale olieresten en 112 als substanties van chemische of onbekende oorsprong (waaronder ook de nachtelijke detecties) (BMM, 2014a).

In 2012 werden in totaal 11 zeeverontreinigingen waargenomen (Figuur 6-14) waarvan 5 operationele olielozingen en 6 verontreinigingen van andere schadelijke stoffen, zijnde 1 illegale chemische lozing, 2 lozingen van onbekende oorsprong maar vermoedelijk bestaande uit chemische stoffen of plantaardige olie en 3 wettelijk toegelaten scheepslozingen (waarvan 1 plantaardige olie en 2 chemische stoffen) (BMM, 2012b).

Sinds 2000 lopen het aantal en volume van de gedetecteerde olielozingen terug, wat doet vermoeden dat de observatie een ontradend effect heeft (BMM, 2014a). Men kan benaderend uitgaan van een gemiddelde hoeveelheid van 30 ton olie die vrijkomt bij elke olielozing.

Het is weinig verbazend dat vooral in de drukke vaarroutes olielozingen worden vastgesteld. Buiten de drukke vaarroutes werden sinds 1991 slechts enkele heel kleine lozingen gedetecteerd (BMM, 2014a).



Figuur 6-14 Localisatie van de in 2012 waargenomen zeeverontreinigingen (noot: 1 olievlek werd waargenomen iets verder ten ZW in het Kanaal voor de zuid-Britse kust en valt buiten het kader van deze figuur); de locatie van het zandextractiegebied op de Blighbank is rood omlijnd (BMM, 2012b)

De totale kans op een uitstroom van ladingolie en bunkerolie als gevolg van een aandrijving en rammen met een windturbine en de gemiddelde hoeveelheid uitstroom per jaar voor beide configuraties van Mermaid en Northwester 2 is gegeven in Tabel 6-28. Deze tabel bevat ook de resultaten voor de andere windparken. Op basis van de frequenties is de gemiddelde tijd tussen twee uitstromingen van olie 1317 jaar voor basisconfiguratie Mermaid, 1684 jaar voor Northwester 2. Voor configuratie 1 is dit resp. 659 jaar en 875 jaar voor Mermaid en Northwester 2. De gemiddelde uitstroom van 0,81 m³ ladingolie voor de basisconfiguratie van Mermaid in Tabel 6-28 dient alleen als vergelijking. Een gemiddelde van 0,81 m³ ieder jaar geeft immers een heel andere milieubelasting dan een uitstroom van 81 m³ eens in de 100 jaar (of 1067 m³ in 1317 jaar, de verwachte tijd tussen twee uitstromingen).

Om een idee te krijgen van wat dit betekent is ook de uitstroom aan olie ten gevolge van een ongeval (alle verschillende typen) voor het gehele BDNZ weergegeven. Dit getal geldt voor de situatie zonder windparken. Indien geen windparken in de BDNZ aanwezig zijn, wordt de totale uitstroomkans op eens om de 31 jaar geschat. Hierbij zou voor een gemiddelde aan 6,1 m³ bunkerolie en 164,2 m³ ladingsolie uitstromen. Het volume uitstroom van bunkerolie en ladingolie op het BDNZ neemt als gevolg van het risico op aanvaring met een turbine van het Northwester 2 park bij de basisconfiguratie toe met (0,34 + 0,57) / (6,1 + 164,2) ≈ 0,53%. De totale verwachte uitstroom aan olie per jaar wordt voor alle windparken voor de basisconfiguratie samen ingeschat op 10,85 m³ en voor configuratie 1 12,93 m³.

Tabel 6-28 Frequentie en volume uitstroom van bunkerolie en ladingolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine

	Bunkerolie			Ladingolie			Totaal
	Frequentie	Eens in de …. jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m³	Frequentie	Eens in de …. jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m3	Eens in de … jaar
Mermaid basis (38 x 6 MW MP)	0,000612	1633	0,42	0,000147	6804	0,81	1317
Mermaid config. 1 (80 x 3,3 MW JF)	0,001222	818	0,84	0,000295	3394	1,63	659
Northwester 2 basis (35 x 6 MW MP)	0,000489	2043	0,34	0,000105	9500	0,57	1682
Northwester 2 config. 1 (70 x 3,3 MW JF)	0,000941	1062	0,65	0,000202	4948	1,10	875
Belwind	0,001274	785	0,87	0,000147	6804	0,81	704
SeaStar	0,000559	1788	0,37	0,000105	9500	0,57	1505
Northwind	0,000772	1295	0,52	0,000154	6489	0,76	1080
Rentel	0,000694	1440	0,46	0,000127	7886	0,59	1218
C-Power	0,000781	1280	0,53	0,000134	7448	0,61	1092
Norther	0,001865	536	1,35	0,000299	3348	1,27	462
BDNZ zonder windparken	0,023553	42	6,1	0,008280	121	164,2	31

De cijfers betreffende de uitstroomkans en de uitstroom van olie per jaar zijn indicatief en de gevolgen ervan zijn niet gekend: er kan immers niet voorspeld worden welke ongevallen zullen gebeuren en wat de ernst ervan is. Het is dus mogelijk dat er geen schade aan het milieu zal zijn, maar in een worst-case scenario kan die schade aanzienlijk oplopen. Een versterkte waakzaamheid is aangewezen.

Chemicaliën

Naast de uitstroom van olie veroorzaakt ook de uitstroom van chemicaliën schade aan het milieu. Niet alle soorten chemicaliën zijn even schadelijk voor het milieu, de mate waarin een bepaalde stof schadelijk is wordt aangeduid met een ecologisch risico. In Tabel 6-29 worden de frequenties gegeven van uitstroom van chemicaliën als gevolg van een aanvaring/aandrijving van een windturbine voor verschillend ecologisch risico voor configuraties 1 van Mermaid en Northwester 2. Een vergelijking van de frequenties van uitstroom van chemicaliën, als gevolg van een aanvaring/aandrijving van een windturbine, voor verschillend ecologisch risico voor de verschillende varianten, geeft hetzelfde beeld als de uitstroom van olie.

Tabel 6-29 Frequentie van uitstroom van chemicaliën als gevolg van een aandrijving van een windturbine in configuratie 1 van Mermaid en Northwester 2

	Mermaid Configruratie 1		NW2 Configuratie 1	
Ecologische risico-indicator	**Frequentie**	**Eens in de …**	**Frequentie**	**Eens in de …**
Zeer hoog ecologisch risico	0,000000	-	0,000000	-
Hoog ecologisch risico	0,000000	-	0,000000	-
Gemiddeld ecologisch risico	0,000034	29.412	0,000024	41.667
Gering ecologisch risico	0,000021	47.619	0,000015	66.667
Verwaarloosbaar ecologisch risico	0,000196	5.102	0,000144	6.944
Totaal	0,000251	3.981	0,000183	5.463

Verspreiding en impactevaluatie

Voor de verspreidingseffecten van milieuverontreinging afkomstig van mogelijke aanvaringen/aandrijvingen wordt voor voorliggend MER gebruik gemaakt van een overzicht van verspreidingsstudies die ARCADIS (2011) opstelde in het kader van MER Norther, aangevuld met een recente studie van Dulière en Legrand (2011) uitgevoerd in functie van het MEB Norther en aangepast voor MEB SeaStar (in BMM, 2011b, 2013).

Eenmaal een accidentele lozing heeft plaatsgevonden, zal deze zich verspreiden en een mogelijke bedreiging vormen voor het mariene ecosysteem en de kustgebieden. Met het oog op de impact van olievervuiling moet men rekening houden met de weersomstandigheden tijdens de vervuiling, de soort olie, de gelekte hoeveelheid en de plaats waar het lek plaatsvond. Deze kenmerken zullen bepalend zijn voor de omvang van de olievlek, de stroombaan en hoe snel deze uiteen zal vallen, emulgeren, verdampen, verspreiden en zinken.

In het kader van het C-Power project op de Thorntonbank werd een modelstudie uitgevoerd door WL Delft Hydraulics (Kleissen, 2003; Boot, 2003) om de effecten van een accidentele olielozing van 1000 ton HFO (heavy fuel oil) onder verschillende omstandigheden te kunnen schatten. De keuze van 1000 ton is gemaakt op basis van het huidige maximale volume dat nog binnen de capaciteit van de bestrijdingsmogelijkheden ligt voor België.

Hieruit bleek dat bij een windsnelheid van 17 m/s en een windrichting die recht naar de kust blaast (worst case scenario; in ca. 1,2 tot 2,6% van de observaties) een deel van de olie de Belgische kust bereikt. Bij lagere windsnelheden bereikt de olievlek de Belgische kust niet maar spreidt zich uit in noordoostelijke richting. Mogelijk zal de olievlek dan de verderop gelegen Nederlandse kust bereiken. Bijgevolg kunnen zich dan ook effecten voordoen op de avifauna in de Voordelta.

Uit de resultaten van de modellering (Kleissen, 2003; Boot, 2003) blijkt dat er ook verschillen kunnen gevonden worden tussen de oppervlakte die verontreinigd wordt. Een lozing bij springtij blijkt te resulteren in een grotere verspreiding van de olie, wat de bestrijding zou bemoeilijken ten opzichte van een lozing bij dood tij. In het geval van een scenario bij springtij en 5% frictiecoëfficiënt blijkt dat na 6 à 8u de olievlek een lengte heeft bereikt van meer dan 20 km. De olievlek is korter bij 3% frictiecoëfficiënt en nog kleiner bij doodtij.

Uit de simulaties van Dulière en Legrand (2011) voor het SeaStar windpark, dat een stuk verder uit de kust ligt dan het C-Power park, blijkt dat tijdens kalme weerscondities (geen wind) een olievlek, gevormd in de Norther zone, oscilleert tussen de Belgische en Nederlandse wateren met het ritme van de getijden. De olievlek zou in dit scenario geen van de Belgische en Nederlandse beschermde gebieden beïnvloeden (BMM, 2013). Tijdens zwaardere weerscondities (wind van 17 m/s) is de oliedrift vooral afhankelijk van de windsnelheid en –richting. Vanuit SeaStar kan de olie de Nederlandse zone bereiken in minder dan 3u en de Franse kust ongeveer na 9u. De Belgische kwetsbare gebieden (SBZ-V, SBZ-H en het Zwin) kunnen geïmpacteerd worden binnen 3 tot 12u. Eerste stranding kan verwacht worden 12u na lozing in de buurt van Zeebrugge.

Er is dus een relatief korte tijd om tussenbeide te komen in het geval van een olielozing. Hierbij dient wel opnieuw de nadruk gelegd te worden op het feit dat het hier gaat om scenario's met een windsnelheid van 17 m/s of 7 Beaufort. Bij deze weersomstandigheden is interventie hoe dan ook een hachelijke en moeilijke zaak en de efficiëntie van de bestrijding laag (te hoge golven zullen bijvoorbeeld het gebruik van drijflichamen ('booms') sterk bemoeilijken en is het uitvaren van bepaalde schepen problematisch).

Anderzijds geeft dit de minimale tijd weer. In geval van lagere windsnelheden zal er dus meer tijd zijn om interventies op touw te zetten en zal bestrijding op zee eenvoudiger zijn.

De federale overheid beschikt over pollutiebestrijdingsmateriaal dat de Norther zone binnen de 1,5-2u kan bereiken (BMM, 2011b). Voor Mermaid en Northwester 2 is deze afstand veel groter en kan er minder snel ingegrepen worden. Bij een wind van meer dan 8 Bft wordt bestrijding moeilijk, aangezien het materiaal slechts kan gebruikt worden tot 4 Bft. Evenwel zal bij dergelijke omstandigheden de olie reeds deels natuurlijk dispergeren door de krachtige golfslag en de verticale vermenging van waterlagen (BMM, 2011b).

Het voorzorgsprincipe dient toegepast te worden waarbij in de eerste plaats een aanvaring maximaal dient te worden voorkomen en, indien dit niet mogelijk blijkt, een lozing te vermijden of zo snel mogelijk te beperken (BMM, 2011b). Een specifieke Emergency Towing Vessel (ETV) – operationeel direct beschikbaar in de directe omgeving van het windpark – kan hierin maximaal tegemoetkomen.

Uit de veiligheidsstudie (MARIN-IMDC, 2014) blijkt dat aandrijvingen door routegebonden schepen het grootste risico geven. Een aandrijving, als gevolg van een storing in de voortstuwing, wordt voorkomen wanneer het schip voor anker kan gaan of de storing op tijd verholpen wordt. Een derde mogelijkheid waardoor de storing niet tot een aandrijving leidt is wanneer de drifter vroegtijdig wordt opgevangen door een stationssleepboot. De aanwezigheid van een stationssleepboot of ETV in de zone zou de kans op een aanvaring/aandrijving merkbaar verkleinen (MARIN, 2013). Het ETV kan een aandrijving voorkomen wanneer het schip de drifter kan bereiken voordat een windturbine wordt geraakt. De reductie van het aantal aandrijvingen hangt bijgevolg sterk af van de positie van de ETV op het moment van de melding.

In de MARIN (2010b) studie werd Oostende als thuishaven gekozen voor windkracht 0-4 Bft en werd er aangenomen dat dit schip buitengaats bij ankergebied Westhinder op wacht ligt vanaf windkracht 5 Bft. Voor eerdere configuraties en scenario's van Norther zijn berekeningen met en zonder ETV uitgevoerd in voorbereiding van het MER (MARIN, 2010) en werd een reductie van het aantal aandrijvingen met ongeveer 68% verwacht. Dit is een hoge reductie omdat de positie waar de ETV buitengaats ligt bij windkracht vanaf 5Bft, vrij dicht bij

het windpark is gesitueerd. Voor Mermaid of Northwester 2 werden geen berekeningen uitgevoerd met inzet van een ETV. In het kader van MER BOG werd wel gekeken naar de mogelijkheid om een sleepboot te stationeren op het station. De voornaamste conclusie is dat bij stationeren nabij de Alpha-installatie 64,1% van de aandrijvingen voorkomen wordt. Terwijl dit bij stationering in Oostende 50,8% en in Vlissingen 50,5% is. Het effect van de ETV is sterk afhankelijk van het scheepstype op drift. De aandrijffrequenties van windturbines wordt gereduceerd met 69% als gemiddelde voor alle windparken bij stationering nabij de Alpha-installatie. Bij stationering in een kusthaven is deze reductie ca. 57% (MARIN-IMDC, 2013).

Naast het feit van de interventietijd, kunnen er zich verder ook problemen voordoen door het feit dat de windturbines, en in Mermaid bijkomend de WEC's, een obstakel kunnen vormen voor het bestrijden van de olievlek (ARCADIS, 2011). Dit zal vooral het geval zijn als de gelekte volumes groter zijn. Een lek van 20 m³ is voldoende om een cirkelvormig oppervlak met een straal van 500 m te bedekken met een uniforme dikte van 0,1 mm, dit is ongeveer de minimale afstand tussen twee windturbines. Men mag niet vergeten dat de olie zich zelden in een cirkelvorm verspreidt. Het verspreiden van de olie hangt ook af van het soort en de viscositeit: dieselolie verspreidt zich verder en sneller dan zware stookolie of ruwe olie.

Zelfs een olievlek van meer dan enkele tientallen ton, die van buiten het park afkomstig is, kan dus een probleem vormen. Wanneer de olievlek te dicht bij de windturbines en WEC's komt, maakt dit het indammen moeilijker omdat de bestrijdingsschepen hier veel omzichtiger moeten manoeuvreren. De bestrijding zelf gebeurt door het indammen van de olievlek met behulp van drijflichamen. De olie wordt daarna verzameld in een container met behulp van 'skimmers' (boot, vacuüm pomp, absorberend materiaal) en afgevoerd. Eventueel wordt gebruik gemaakt van chemische dispersanten die de olie afbreekt in kleinere partikels die minder schadelijk zijn.

De impact dat een worst-case olielozing bij springtij heeft op de mariene fauna werd eveneens berekend door WL Delft Hydraulics (Kleissen, 2003; Boot, 2003). De belangrijkste resultaten worden hier kort samengevat. Voor meer gedetailleerde beschrijving wordt verwezen naar het MER C-Power (Ecolas, 2003).

De directe verliezen van invertebraten en vissen, bij blootstelling aan de hoogste potentiële concentratie van zware stookolie uit de simulaties, zijn zeer gering. In geval van lagere windsnelheden worden de effecten als nul ingeschat. Eieren en larven van vissen in ondiepe wateren kennen wel een hoge mortaliteit door olieverontreiniging, vooral indien dispersanten gebruikt worden bij de bestrijding van olieverontreiniging (Lindgren & Lindblom, 2004).

De impact van een lozing op het vogelbestand is enerzijds een functie van de aanwezige soorten, hun densiteit en kwetsbaarheid en anderzijds van de vervuilde oppervlakte. Voor het worst-case scenario met een wind van 17 m/s resulterend in een impactgebied van 47 km² kust, verwacht het model tussen de 300 en 400 dode vogels (Ecolas, 2003). Het aantal slachtoffers stijgt tot 669 bij een wind van 10 m/s en tot 1117 bij een wind van 7 m/s (Di Marcantonio *et al.*, 2009). De gemodelleerde verliezen aan strandvogels blijven verwaarloosbaar.

De gemodelleerde verliezen dienen evenwel enigszins genuanceerd te worden. De gehanteerde vogeldensiteiten zijn immers gebaseerd op gemiddelde dichtheden in de winter over een periode van 10 jaar. De invloed van de conditie van de vogels en de milieucondities (seizoen, voedselbeschikbaarheid, meteorologische omstandigheden…) van de simulaties op deze densiteit werd niet in rekening gebracht. De densiteit van de vogels op zee bij een windkracht van 17 m/s zal hoogstwaarschijnlijk afwijken van de gemiddelde winterdensiteit

(vermoedelijk lager liggen). Evenmin werd rekening gehouden met het feit dat de vogels bij stormweer rustig water opzoeken. Gezien olie op het water de golfslag vermindert zien de vogels dit als 'rustig' water, wat leidt tot een grotere impact. Bovendien dient hierbij opgemerkt te worden dat de schatting van strandvogels enkel opgaat voor de soorten die vermeld staan in de kwetsbaarheidindex (Vandenbroele *et al.*, 1997), mortaliteit onder andere mogelijk voorkomende soorten is dus niet in overweging genomen wegens een gebrek aan gegevens. Het gehanteerde model kan bijgevolg nog verfijnd worden door meer invloedsparameters in rekening te brengen.

Vogels die besmeurd zijn met olie gaan veelal dood, aangezien de beschermende waslaag aangetast wordt. Het herstel van de vogelpopulatie hangt af van de resterende aanwezigheid van jonge niet-broedende volwassen vogels die dan nog kunnen broeden, of van de reproductiesnelheid. Volgens Lindgren & Lindblom (2004) is er geen bewijs gevonden dat een accidentele olielozing een zeevogelpopulatie permanent vernietigd heeft. Sommige vogelpopulaties met een lokale verspreiding kunnen evenwel sterk beïnvloed worden.

Ook zeezoogdieren kunnen hinder ondervinden bij potentiële verontreiniging daar zij afhankelijk zijn van de atmosferische lucht voor ademhaling (nauw contact water - lucht oppervlak). Volgens Lindgren & Lindblom (2004) zijn er weinig gegevens beschikbaar over het effect van olieverontreiniging op zeezoogdieren, maar wordt het effect van een olielozing op zeezoogdieren eerder beperkt ingeschat aangezien zeezoogdieren zich voldoende kunnen verplaatsen naar gebieden zonder olieverontreiniging.

Tenslotte zal ook de planktongemeenschap beïnvloed worden, maar deze kan zich in principe snel herstellen. De impact op pelagische vissen is verwaarloosbaar. De benthische fauna zal veelal niet beïnvloed worden door acute toxische effecten, maar zij kunnen wel hinder ondervinden door verstikking door dikke olielagen (Lindgren & Lindblom, 2004).

Er is een gebrek aan goede ecotoxicologische referentiegegevens voor de bepaling van de impact van diverse types oliën op de mariene organismen. Algemeen kan voor de ecotoxiciteit gezegd worden dat lichtere olietypes meer toxisch zijn dan zware olietypes. Pelagische organismen zullen minder beïnvloed worden dan benthische organismen op basis van de gevoeligheid aan blootstelling. Eieren en larven zijn dan weer gevoeliger dan volwassen exemplaren (Lindgren & Lindblom, 2004).

Persoonlijk letsel

Persoonlijk letsel wordt veroorzaakt doordat de gondel en de mast op het dek van een schip vallen. De term groepsrisico wordt gehanteerd bij een kans op een ramp met meer dan 10 dodelijke slachtoffers. Een dergelijke ramp doet zich alleen maar voor wanneer een chemicaliën tanker, een ferry of een gastanker de windturbine aanvaart, waarna deze knikt en op het dek terecht komt. Voor de frequenties wordt verwezen naar de detailberekeningen in het rapport van MARIN-IMDC (2014) in bijlage.

Er bestaan geen echte normen voor het risico op zee, maar voor het schatten van de externe veiligheid is door MARIN aansluiting gezocht bij de risiconormering voor vervoer van gevaarlijke stoffen. Daar is een oriënterende waarde voor het groepsrisico gegeven van 10^{-4} per jaar per kilometer route (vaarweg) voor een ramp met minstens 10 slachtoffers. Het is overigens de vraag of deze norm toegepast mag worden, want het gaat hier om slachtoffers van de vervoerders (die het ongeval veroorzaken) en niet om slachtoffers in de directe omgeving van de route. Toch is deze oriënterende waarde gebruikt voor het beoordelen van het groepsrisico.

Voor de basisconfiguratie van Mermaid is de kans op meer dan 10 doden gelijk aan 1/32.900 ~3,04 x 10^{-5} per jaar. Het Mermaid windpark heeft een lengte van ongeveer 7,8 km aan de noordwestelijke zijde. Per km vaarweg is de kans dus 3,9 x 10^{-6}, wat binnen de standaarden ligt. Voor de basisconfiguratie van Northwester 2 zijn zowel het sociale risico als de lengte van de parkgrens kleiner. Voor beide windparken is het sociale risico dus niet van belang (MARIN-IMDC, 2014).

Naast persoonlijk letsel rechtstreeks veroorzaakt door een vallende turbine, kunnen er zich verder ook onrechtstreekse problemen voordoen door het feit dat de windturbines, en in Mermaid bijkomend de WEC's, een obstakel kunnen vormen bij het uitvoeren van 'search and rescue' operaties zoals het redden van een drenkeling.

Ontmantelingsfase

Tijdens de ontmantelingsfase zal er bijkomend scheepvaartverkeer zijn tussen de werf en de projectsite. De risico's tijdens de ontmantelingfase zullen vergelijkbaar zijn met deze tijdens de constructiefase.

Bekabeling

Er wordt geen bijkomend effect verwacht voor het leggen van de parkbekabeling en de verbindingskabels tot Alpha (opties A en B), in vergelijking met de reeds besproken impact ten gevolge van de plaatsing van de windturbines.

Wat betreft het leggen van het kabeltracé vanaf Alpha tot de kust (optie C) is de situatie enigszins anders. Tijdens het leggen van de kabels worden er werkzaamheden uitgevoerd waarbij de vaargeulen (Westpit, Scheur) gekruist moeten worden. Zoals reeds besproken in de andere disciplines zullen de verstoringen en dus de risico's slechts binnen een korte periode optreden. Indien de nodige regulering en communicatie voor het aangeven van deze activiteiten strikt nageleefd wordt, zal ook hier het risico beperkt blijven.

6.3.8.1.4 Besluit bespreking en beoordeling van de effecten op scheepvaart

De kans op aanvaring van windturbines door routegebonden en niet-routegebonden schepen is voor het Northwester 2 windpark relatief laag (eens in de 61 jaar voor de basisconfiguratie en eens in de 31 jaar voor configuratie 1) in vergelijking met Norther aan het ZO uiteinde van de Belgische windconcessiezone. Dit is eens in de 14 jaar voor Norther op basis van de verkeerssituatie 2012. Op basis van de verkeerssituatie in 2008 was dit nog eens in de 11 jaar voor Norther (MARIN, 2011b). De kans op aanvaring van windturbines door routegebonden en niet-routegebonden schepen is voor het Mermaid windpark hoger dan voor Northwester 2 (eens in de 42 jaar voor de basisconfiguratie en eens in de 21 jaar voor configuratie 1), maar nog steeds significant lager dan voor Norther. In Ecolas (2003) wordt vermeld dat BMM 3 incidenten met milieuvervuiling per 100 jaar, of eens om de ca. 30 jaar, als een aanvaardbaar risico beschouwd (-). Dit is het geval voor beide configuraties van Northwester 2 en de basisconfiguratie van Mermaid (38 turbines). Het worst-case scenario met 80 windturbines zou hier een niet aanvaardbaar risico geven volgens dit criterium (--).

De totale aanvaar- en aandrijfkans van het Northwester 2 windpark is 13,2% van de totale aanvaar- en aandrijfkans van alle windparken in het worst-case scenario configuratie 1. De totale aanvaar- en aandrijfkans van het Mermaid windpark is 19,4% van de totale aanvaar- en aandrijfkans van alle windparken in het worst-case scenario configuratie1. Voor de meer waarschijnlijke basisconfiguraties is dit resp. 8% en 11,4% voor Northwester 2 en Mermaid. De totale aanvarings- en aandrijfkans tengevolge van alle parken samen wordt geschat als

eens om de 5 jaar (MARIN, 2013). Op basis van de verkeerssituatie in 2008 was dit nog eens om de 4 jaar (MARIN, 2011b).

De windturbines aan de westelijke randen van Mermaid en Northwester 2 hebben de hoogste aanvaringskansen. Ook de WEC's aan de westelijke kant van het Mermaid park hebben de hoogste aanvaringskansen. De individuele aanvaringskansen voor een WEC van type Wavestar zijn hoger dan voor type Seabased, en hoger dan de omringende windturbines wegens zijn grotere afmetingen. De aanvarings/aandrijvingskans wordt vooral bepaald door het aantal turbines, in mindere mate door de afmetingen ervan. Dit bleek ook uit de studie van SeaStar (MARIN, 2013), waar het verschil in afmetingen tussen de MP en JF veel groter was dan in deze studie. Zo is ook de aanvaringskans voor een basisveld van 160 Seabased WEC's veel groter (eens in de 9 jaar aan westelijke kant park) dan voor een basisveld van slechts 7 Wavestar WEC's (eens in de 118 jaar jaar). Voor vier basisvelden Wavestar WEC's (20 MW) wordt de totale aanvaringskans eens in 27 jaar voor een reeks aan de westelijke zijde van het park en eens in de 2 jaar voor een reeks van vier velden Seabased WEC's. Dit laatste wordt als een niet aanvaardbaar risico beschouwd (--).

Het cumulatief effect van de verschillende windparken (toename in aantal turbines) op aanvaring van turbines is maximaal gelijk aan de som van de effecten van elk park afzonderlijk. Het cumulatief effect zal waarschijnlijk zelfs kleiner zijn, omdat door de omlopende verkeerstromen bij de afsluiting van een park het aantal windturbines die aangevaren kunnen worden verminderd: naburige parken bieden elkaar bescherming.

In het BDNZ zal het aantal schepen nagenoeg niet toenemen door aanpassing van de verkeerstromen rondom Mermaid en Northwester 2, ten opzichte van een basisscenario (Belwind, SeaStar, Northwind, Rentel, C-Power, Norther). Door sluiting van de routes doorheen Mermaid en Northwester 2 zullen vooral passagiersschepen en ferries meer tijd spenderen op het BDNZ door het omvaren. Enkele gas tankers en General Dry Cargo schepen besteden minder tijd op het BDNZ. Over het gehele beïnvloedingsgebied (BDNZ, deel NL, klein deel UK, klein deel FR) bekeken brengen wel meer schepen meer tijd door op zee zoals verwacht werd.

Het aantal schepen betrokken bij een aanvaring zal door de veranderde verkeerssituatie omheen Mermaid en Northwester 2 afnemen met 0,09% op het BDNZ ten opzichte van het basisscenario. Door het omleiden om Mermaid heen worden immers voorheen kruisende routes meer gebundeld, waardoor meer veiliger inhaalmanoeuvres dan kruisingen voorkomen. Dit is enkel geldig voor het BDNZ, voor het gehele beïnvloedingsgebied is er een kleine toename in aantal schepen betrokken bij een aanvaring (0,06%).

De kans op aanvaring neemt wel exponentieel toe met de intensiteit. Het cumulatieve effect van de bouw van de windparken, waardoor de densiteit in de vaarroutes rond de Belgische windconcessiezone steeds verder toeneemt, zal dus groter zijn dan de som van de effecten van elk park afzonderlijk.

De kans op persoonlijk letsel bij een aanvaring en aandrijving is bijzonder klein. Er wordt dan ook ruimschoots aan de criteria voor het extern risico, zowel het individueel als het groepsrisico, voldaan.

Op basis van de frequenties is de gemiddelde tijd tussen twee uitstromingen van olie 1317 jaar voor basisconfiguratie Mermaid, 1684 jaar voor Northwester 2. Voor configuratie 1 is dit resp. 659 jaar en 875 jaar voor Mermaid en Northwester 2. Het volume uitstroom van bunkerolie en ladingolie op het BDNZ neemt als gevolg van het risico op aanvaring met een

turbine van het Northwester 2 park bij de basisconfiguratie toe met (0,34 + 0,57) / (6,1 + 164,2) ≈ 0,53%, voor Mermaid is dit een toename van ca. 0,72% voor de basisconfiguratie.

De gemodelleerde uitstroom van olie is een 'worst case' benadering. Doordat het percentage tankers met een dubbele huid toeneemt, zal de kans op een uitstroom van olie na een aandrijving met een windturbine afnemen.

Uit simulaties van Dulière en Legrand (2011, in: BMM, 2011b) blijkt dat bij zware weerscondities (wind van 17 m/s) de olie de Nederlandse zone kan bereiken in minder dan 3u en de Franse kust ongeveer 18u na lozing. De Belgische kwetsbare gebieden (SBZ-V, SBZ-H en het Zwin) kunnen geïmpacteerd worden binnen 6u. De Vlakte van de Raan en Voordelta kunnen worden bereikt binnen respectievelijk ongeveer 3 en 6u na lozing. Eerste stranding kan verwacht worden 6u na lozing in de buurt van Zeebrugge en binnen ongeveer 12u elders aan de Belgische kust. De olie kan de Nederlandse en Franse kust bereiken binnen 12u na lozing voor de zones grenzend aan de Belgische zone en later voor de verder gelegen zones (ongeveer 24u voor Duinkerke en 24-36u voor Den Haag). Er is dus een relatief korte tijd om tussenbeide te komen in het geval van een olielozing.

Vooral de avifauna, en mogelijks ook zeezoogdieren, zullen de belangrijkste korte termijn effecten ondervinden door olieverontreiniging. De impact van een lozing op het vogelbestand is enerzijds een functie van de aanwezige soorten, hun densiteit en kwetsbaarheid en anderzijds van de vervuilde oppervlakte. Naast de directe slachtoffers die een ramp veroorzaakt, zijn er ook mogelijks negatieve gevolgen voor de populatie (langdurig effect). Het is evenwel niet altijd eenvoudig het effect van de ramp te onderscheiden van natuurlijke fluctuaties in een populatie.

Bij bovenstaande besluiten moet evenwel rekening gehouden worden met het feit dat dergelijke effecten sterk afhankelijk zijn van geografische, fysiologische, chemische omstandigheden en weersomstandigheden waardoor de olieverontreiniging beïnvloed kan worden. Het cumulatieve effecten van verontreiniging bij de aanwezigheid van meerdere windparken zal mogelijks groter zijn dan de som van de effecten van elk park afzonderlijk. Door de toename van aantal windturbines bij elk nieuw park, zal dit het indammen bemoeilijken omdat de bestrijdingsschepen veel omzichtiger moeten manoeuvreren.

Tabel 6-30 en Tabel 6-31 geven een samenvatting weer van de effecten op scheepvaart tijdens de volledige levenscyclus van resp. Mermaid en Northwester 2 onder het cumulatieve scenario (alle parken gebouwd) t.o.v. een basisscenario. Volgende definities zijn van toepassing: significant positief (++), matig positief (+), gering positief (0/+), (vrijwel) geen effect (0); gering negatief (0/-), matig negatief (-), significant negatief (--). In Tabel 6-32 is aangegeven of het cumulatief effect gelijk is aan, groter dan of kleiner dan de som van de effecten.

Tabel 6-30 Overzicht van de effecten op scheepvaart bij het cumulatieve scenario (Mermaid, Northwester 2, Belwind, SeaStar, Northwind, Rentel, C-Power, Norther) t.o.v. een basisscenario (Belwind, SeaStar, Northwind, Rentel, C-Power, Norther), specifiek voor Mermaid

Effecten op scheepvaart			
Configuratie	**Basis (38 x 6 MW MP)**		**Config. 1 (80 x 3,3 MW JF)**
	Wavestar	**Seabased**	
Constructiefase			
Risico's op aanvaring tussen schepen	0/-		0/-
Operationele fase			
Directe effecten voor scheepvaartverkeer: veranderende verkeersstromen	0/-		0/-
Directe effecten voor scheepvaartverkeer: aanvaringen/aandrijvingen van turbines	-		--
Directe effecten voor scheepvaartverkeer: aanvaringen/aandrijvingen van WEC's	-	--	nvt
Directe effecten voor scheepvaartverkeer: aanvaringen tussen schepen	0/-		0/-
Directe effecten voor scheepvaartverkeer: Bij onderhoud en reparaties	0/-		0/-
Gevolgschade: Schip en windturbines	-		-
Gevolgschade: Verontreiniging en de gevolgen van een scheepsramp	0/-		0/-
Gevolgschade: Persoonlijk letsel	0		0
Ontmantelingsfase			
Risico's op aanvaring	0/-		0/-
Bekabeling			
Risico's op aanvaring	0/-		0/-

Tabel 6-31 Overzicht van de effecten op scheepvaart bij het cumulatieve scenario (Mermaid, Northwester 2, Belwind, SeaStar, Northwind, Rentel, C-Power, Norther) t.o.v. een basisscenario (Belwind, SeaStar, Northwind, Rentel, C-Power, Norther), specifiek voor Northwester 2

Effecten op scheepvaart		
Configuratie	**Basis (35 x 6 MW MP)**	**Config. 1 (70 x 3,3 MW JF)**
Constructiefase		
Risico's op aanvaring tussen schepen	0/-	0/-
Operationele fase		
Directe effecten voor scheepvaartverkeer: veranderende verkeersstromen	0/-	0/-

Directe effecten voor scheepvaartverkeer: aanvaringen/aandrijvingen van turbines	-	-
Directe effecten voor scheepvaartverkeer: aanvaringen tussen schepen	0/-	0/-
Directe effecten voor scheepvaartverkeer: Bij onderhoud en reparaties	0/-	0/-
Gevolgschade: Schip en windturbines	-	-
Gevolgschade: Verontreiniging en de gevolgen van een scheepsramp	0/-	0/-
Gevolgschade: Persoonlijk letsel	0	0
Ontmantelingsfase		
Risico's op aanvaring	0/-	0/-
Bekabeling		
Risico's op aanvaring	0/-	0/-

Tabel 6-32 Overzicht van de cumulatieve effecten op scheepvaart (alle windparken samen)

Effect	Verwaarloosbaar	Cumulatief
Constructiefase		
Risico's op aanvaring tussen schepen	Neen	>S
Operationele fase		
Directe effecten voor scheepvaartverkeer: veranderende verkeersstromen	Neen	S
Directe effecten voor scheepvaartverkeer: aanvaringen/aandrijvingen van turbines en/of WEC's	Neen	<S
Directe effecten voor scheepvaartverkeer: aanvaringen tussen schepen	Neen	>S
Directe effecten voor scheepvaartverkeer: Bij onderhoud en reparaties	Neen	S
Gevolgschade: Schip en windturbines	Neen	S
Gevolgschade: Verontreiniging en de gevolgen van een scheepsramp	Neen	>S
Gevolgschade: Persoonlijk letsel	Ja	n.v.t.
Ontmantelingsfase		
Risico's op aanvaring tussen schepen	Neen	>S

Bekabeling		
Risico's op aanvaring tussen schepen	Neen	>S

(S: cumulatief effect = som van de effecten; >S: cumulatief effect is groter dan de som van de effecten; <S: cumulatief effect is kleiner dan de som van de effecten)

6.3.8.2 Radar en scheepscommunicatie

6.3.8.2.1 Methodologie

In een studie door Flemtek-IMDC (2014) worden de algemene effecten van operationele windparken op radar en scheepscommunicatie uitgebreid besproken. Naast de risico's en effecten door de bouw van Mermaid (met windturbines en WEC's) en Northwester 2 (enkel windturbines) op radar en scheepscommunicatie, worden ook de cumulatieve effecten onderzocht van het volledige Belgische concessiegebied op radar en scheepscommunicatie. Daarbij worden de effecten bekeken vanuit zowel het Belgische als het Nederlandse oogpunt en wordt ook het toekomstig Nederlands windpark Borssele ingetekend dat grenst aan de Belgische concessiezone.

De belangrijkste resultaten in verband met het cumulatief effect van de windparken op radar en scheepscommunicatie worden hieronder opgesomd. Het volledige rapport is terug te vinden als externe bijlage (Flemtek-IMDC, 2014).

6.3.8.2.2 Referentiesituatie en autonome ontwikkeling

In bijlage is een overzicht gevoegd van de actuele gegevens van de SRK radarketen, scheepsradars, marifone installaties en het effect van individuele windturbines op (Flemtek-IMDC, 2014). Het wettelijke werkingsgebied wordt geschetst, maar ook het feitelijk bereik van de SRK radarstations in functie van verschillende hoogtes van de waar te nemen objecten.

6.3.8.2.3 Effecten tijdens operationele fase

Uit een analyse van de beschikbare literatuur werden de volgende zeven effecten op radars en marifone installaties afgeleid (Flemtek-IMDC, 2014):

1. Line of Sight (LoS). Eerst wordt nagegaan of de parken zichtbaar zijn, rekening houdend met de kromming van de aarde en de hoogte van objecten;
2. Mogelijke detectie door sidelobes;
3. Shadowing en mogelijke dode zones;
4. Mogelijke onvoldoende vrije Fresnel doorgangen tussen de windturbines (ook voor de radio communicatie);
5. Meervoudige reflecties en mogelijke valse echo's;
6. Clutter effect door reflecties van de draaiende wieken en reflecties van de windturbines onderling;
7. Diffractie en multipath propagatie, met range en azimuth errors.

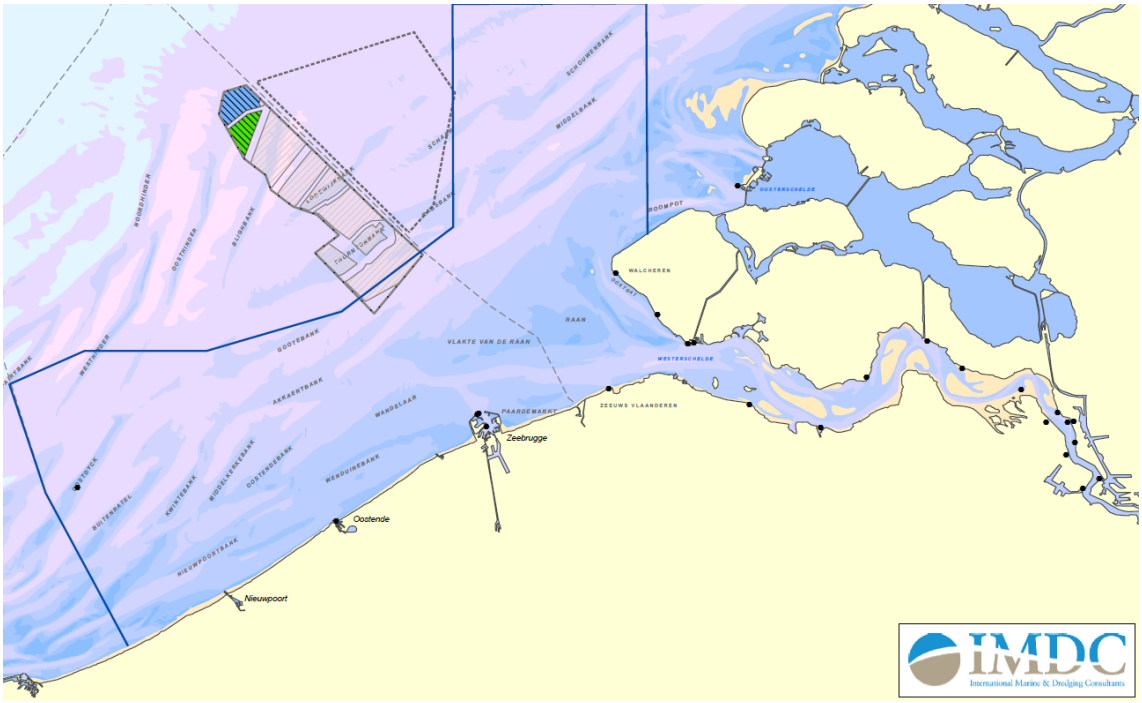
Een gedetailleerde beschrijving van de effecten wordt gegeven in bijlage (Flemtek-IMDC, 2014). Uit de analyses en bijhorende simulaties kunnen de onderstaande conclusies geformuleerd worden, naar zowel de cumulatieve en grensoverschrijdende effecten voor alle

operationele windparken in het concessiegebied, als naar de impact van de projecten Mermaid en Northwester 2 in het bijzonder op de operationele werking van de radarsystemen en de marifonie. De conclusies omvatten tevens de besproken effecten omtrent het gehele Belgische concessiegebied op de SRK radarinstallaties, de scheepsradar en de marifone radiocommunicatiesystemen.

6.3.8.2.4 Impact op de waarnemingen van de SRK walradarstations

Eerst en vooral dient opgemerkt te worden dat nagenoeg het volledige Belgische concessiegebied buiten het wettelijke werkingsgebied van de SRK walradarketen ligt. Enkel een beperkt gedeelte van het project Norther maakt deel uit van het SRK werkingsgebied. Mermaid en Northwester 2 zijn volledig buiten het SRK werkingsgebied gelegen. Dit is duidelijk te zien op de Figuur 6-15 waar zowel het concessiegebied als het SRK werkingsgebied worden weergegeven.

Dit neemt niet weg dat het feitelijk operationele werkingsgebied van de SRK walradarketen zich vandaag verder uitstrekt, en dat het scheepvaartverkeer daar ook opgevolgd wordt.



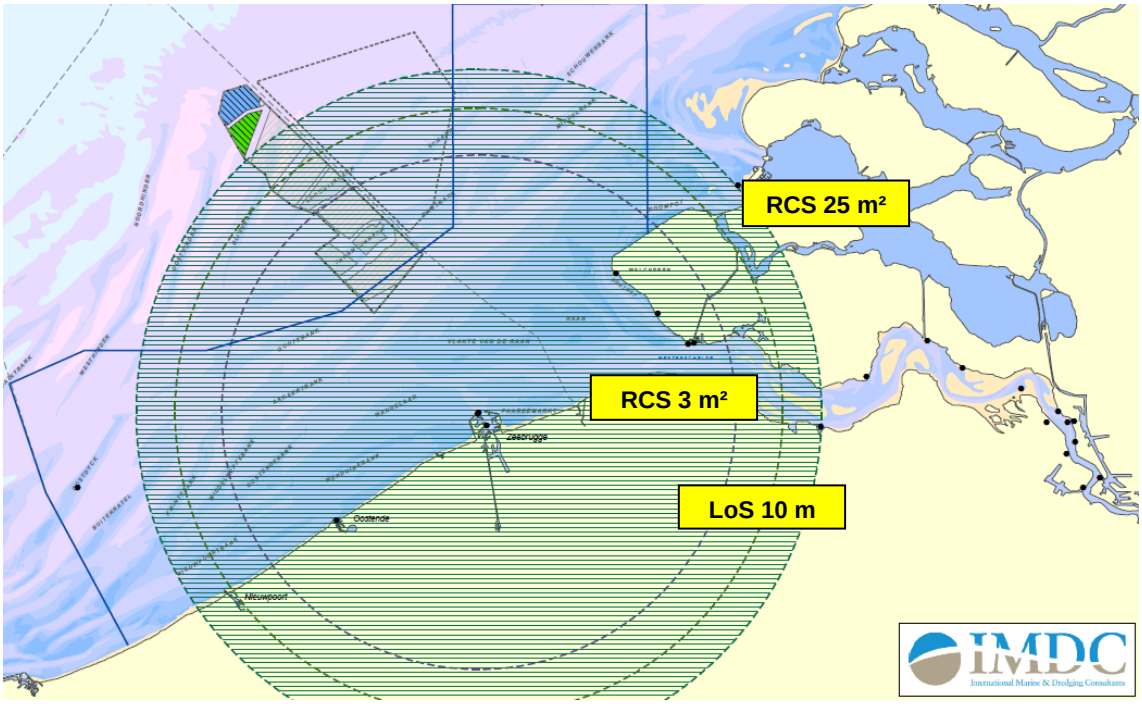
Figuur 6-15 SRK werkingsgebied en Belgische concessiegebied voor offshore windparken (Blauw: Mermaid, groen: Northwester 2)

Reikwijdte van de SRK radarstations

De reikwijdte van de SRK radarstations wordt enerzijds bepaald door de effectieve LoS (Line of Sight), en anderzijds door de RCS (Radar Cross Section) van de schepen.

De LoS hangt af van zowel de hoogte van de radar antennemast aan de wal, als de hoogte van de objecten op zee. Maar binnen deze voorwaarden is ook de RCS van de schepen mee bepalend, omdat het gereflecteerde signaal nog voldoende detecteerbaar moet zijn boven de ruis van de ontvanger (Signal/Noise ratio of S/N). Als voorbeeld toont Figuur 6-16 een combinatie van LoS reikwijdte bij een objecthoogte van 10 m, en het RCS bereik voor een

RCS waarde van 1 m² en 25 m², voor het radarstation van Zeebrugge, en waarbij dus in het ene geval de LoS en in het andere geval de RCS de beperkende factor is.

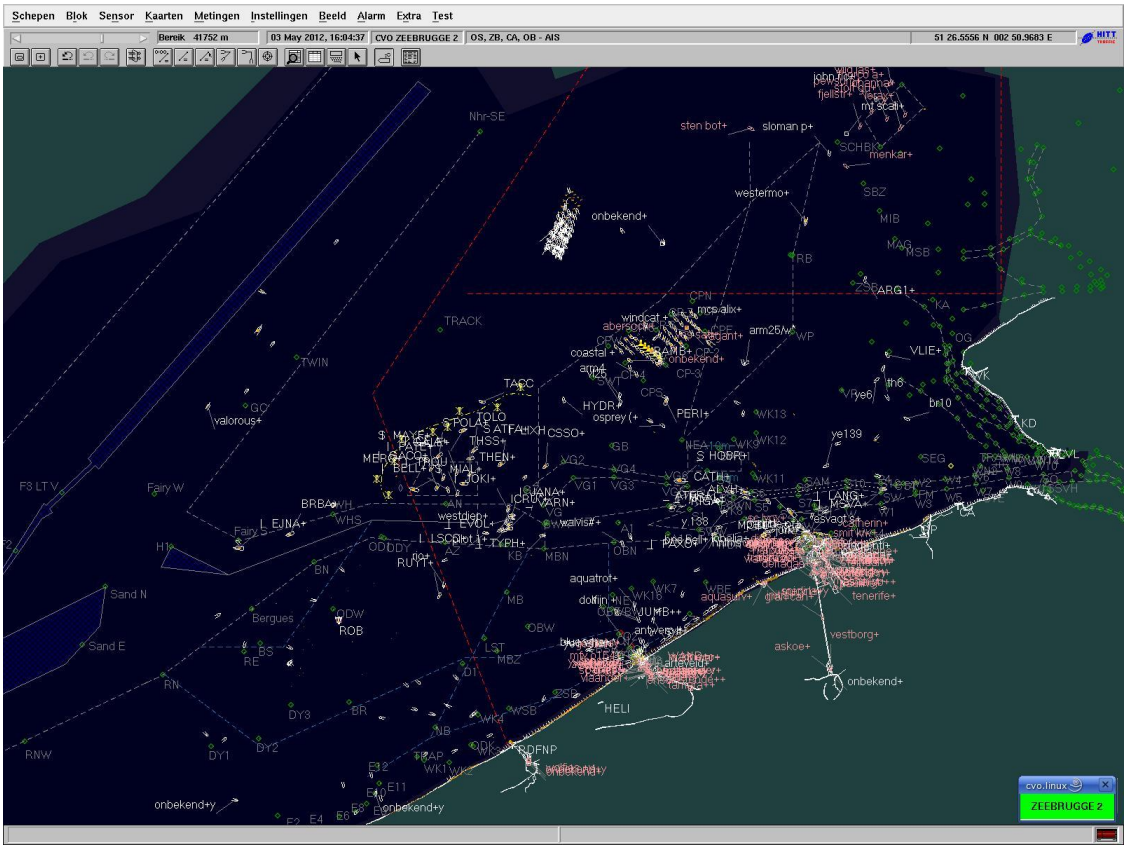


Figuur 6-16 Voorbeeld voor de SRK radar van Zeebrugge omtrent beperking van de reikwijdte in functie LoS en RCS

Hieruit volgt dat grotere schepen met een grotere hoogte boven de zeespiegel en een grotere RCS waarde meteen tot op een grotere afstand kunnen waargenomen worden dan kleinere schepen. Dit verklaart ook dat de verder afgelegen windparken nog zichtbaar blijven op de schermen van de SRK walradar (hoogte meer dan 100 m en relatief grote RCS).

Deze effecten zijn duidelijk waarneembaar op de screenshot van Figuur 6-17, waarbij het vandaag reeds operationele project Belwind duidelijk te zien is (samen met het dichter onder de kust gelegen C-Power windpark), maar nagenoeg alle schepen op grotere afstand “verdwenen” zijn uit het geregistreerde radarbeeld.

Gegeven de typische afmetingen van een WEC (type Wavestar is worst case wat betreft radar) zullen deze – zelfs als een singuliere inplanting in open zee, op de positie van het project Mermaid – niet zichtbaar zijn voor de SRK radars aan de wal. Bij inplanting tussen de windturbines, zullen de WEC’s tegenover de SRK installaties zelfs volledig verdoken liggen tussen de windturbines. Hieruit volgt dat wat betreft de WEC’s enkel de mogelijke effecten ten opzichte van de scheepsradar en de VHF communicatie dienen in aanmerking genomen te worden.

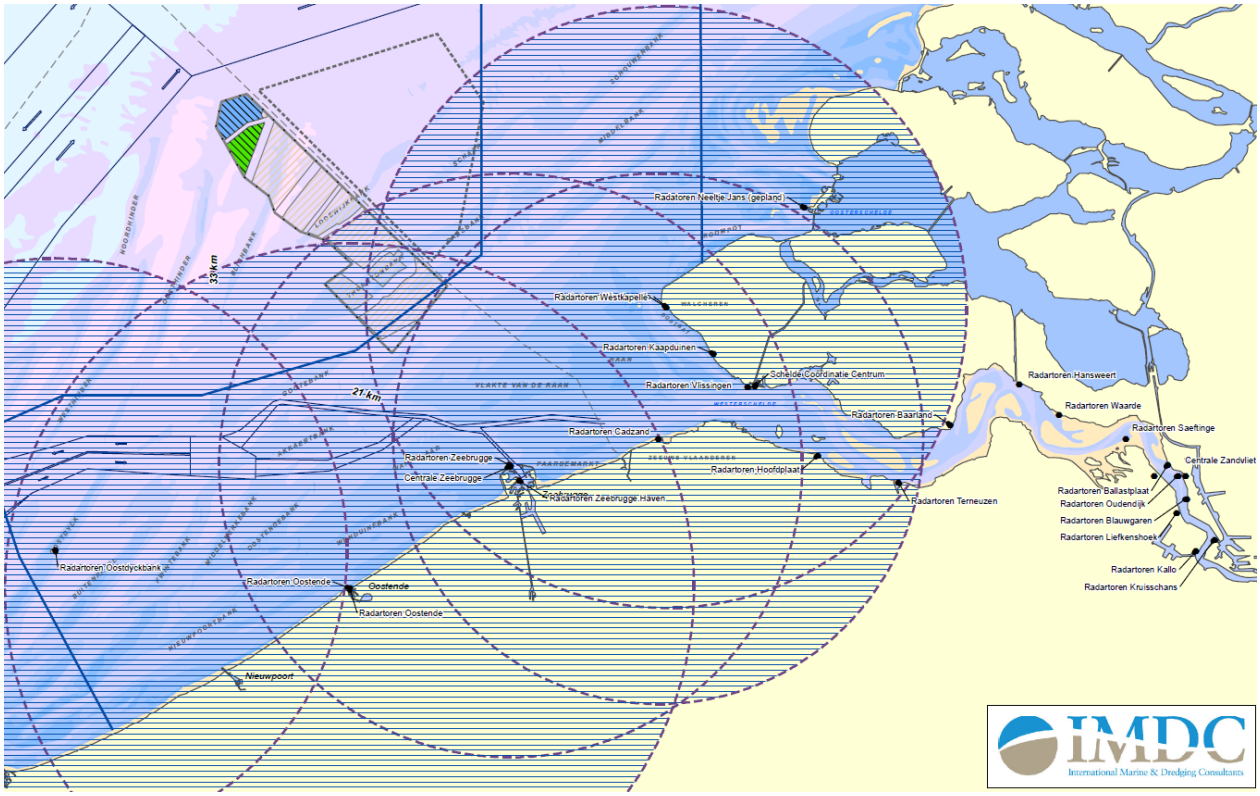


Figuur 6-17 Typisch radar-screenshot van het scheepvaartverkeer (momentopname). Courtesy van "Afdeling Scheepvaartbegeleiding"

Bovendien heeft zelfs de volledige invulling van het Belgische concessiegebied voor offshore windparken geen enkel gevolg op de opvolging van het scheepvaartverkeer op de hoofdnavigatieroutes. Dit is te zien op de Figuur 6-18 waarop het minimale bereik van de SRK radars wordt weergegeven voor een LoS van 3 m hoogte van het object.

Dit bereik wordt weergegeven voor zowel de Vlaamse als de Nederlandse radarinstallaties. Hieruit blijkt dat de dubbele radardekking van de zones ten westen en ten oosten van het Belgische concessiegebied gegarandeerd blijft, ook wanneer de schaduwzones ten gevolge van de offshore windparken mee in rekening gebracht worden (zie verder 'Shadowing en dode zones').

Wel dient opgemerkt te worden dat los van een invulling van het Belgische concessiegebied, het noordelijkste deel op Nederlands grondgebied van het SRK werkingsgebied op dit moment niet optimaal afgedekt wordt. Dit wordt in de toekomst verholpen door de inplanting van een extra radarstation SRK Noord dat op korte termijn (2015-2016) een optimale radardekking zal garanderen.

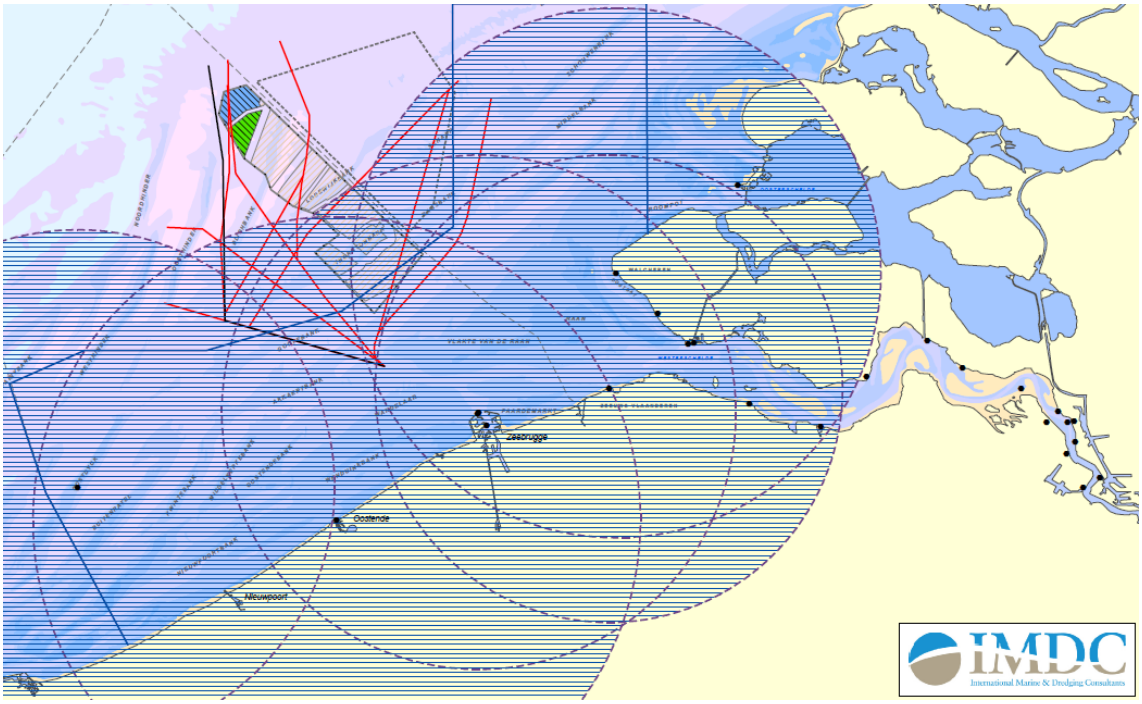


Figuur 6-18 Bereik van de SRK radars bij een LoS van 3 m (Vlaamse en Nederlandse radarsinstallaties)

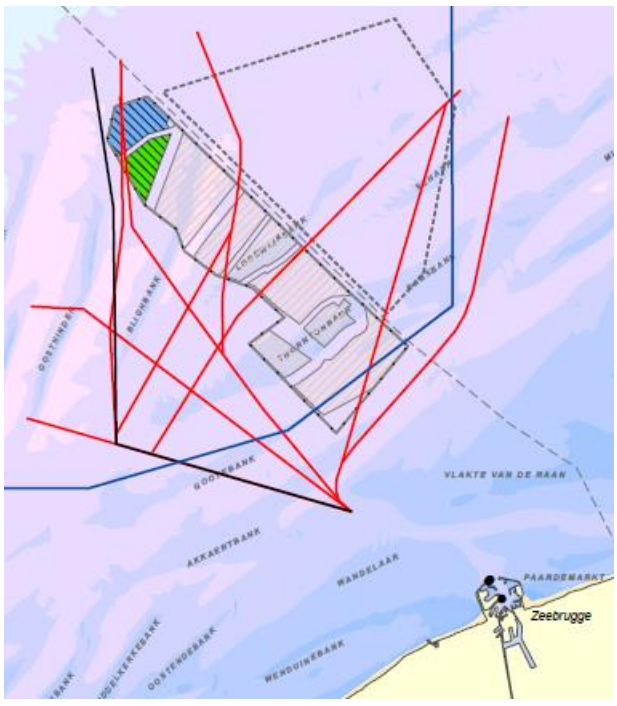
Op Figuur 6-18 is te zien hoe de invulling van de volledige concessie geen gevolgen zal hebben voor de waarneembaarheid van de hoofdnavigatieroutes. De eigenlijke aanlooproutes naar de havens blijven volledig waarneembaar door meerdere radarstations, ook voor kleinere objecthoogtes (3 m). Deze verre routes blijven (gedeeltelijk) opvolgbaar, in functie van de afmetingen (hoogte) van de betreffende schepen, zoals dit ook op heden het geval is.

Voor radarzichtbaarheid van de secundaire navigatieroutes zal de invulling van het volledige concessiegebied wel gevolgen hebben, omdat de gangbare routes tussen de parken door zullen gewijzigd worden. De doorgang tussen de verschillende offshore parken wordt beperkt (KB 11/04/2012) waardoor een corridor tussen de offshore windparken niet meer mogelijk is. Secundaire navigatieroutes zullen enkel nog mogelijk zijn langs en omheen de concessiegebieden, waardoor de noodzaak aan opvolging van deze scheepstrafiek een andere operationele invulling zal krijgen. Dit is een gezamenlijk en algemeen probleem van alle offshore windparken.

Deze gewijzigde situatie van secundair scheepvaartverkeer wordt geschetst in Figuur 6-19 waarbij het SRK bereik voor schepen met een LoS van 3 m als referentie wordt aangehouden. Het is duidelijk dat een deel van de voordien zichtbare secundaire vaarroutes (situatieschets 2012 op basis van AIS 2012, rood op Figuur 6-20), na inplanting van de offshore windparken zullen omgelegd worden (zwart op Figuur 6-20) en soms deels buiten het bereik zal vallen van de SRK radars. Een meer gedetailleerde figuur van de situatie in 2012 en het omvaren rondom de gesloten windconsessie is weergegeven in resp. Figuur 6-9 en Figuur 6-11 (MARIN-IMDC, 2014).



Figuur 6-19 Schematische voorstelling van het omleggen van de secundaire scheepvaartroutes (situatie op basis van AIS 2012) bij invulling van het concessiegebied, tegenover het SRK werkingsgebied en het bereik van de actuele SRK radarstations bij een LoS hoogte van 3 m



Figuur 6-20 Schematische voorstelling (detail) van het omleggen van de secundaire scheepvaartroutes (rood: situatie op basis van AIS 2012, zwart: omvaren) bij invulling van de concessiegebieden

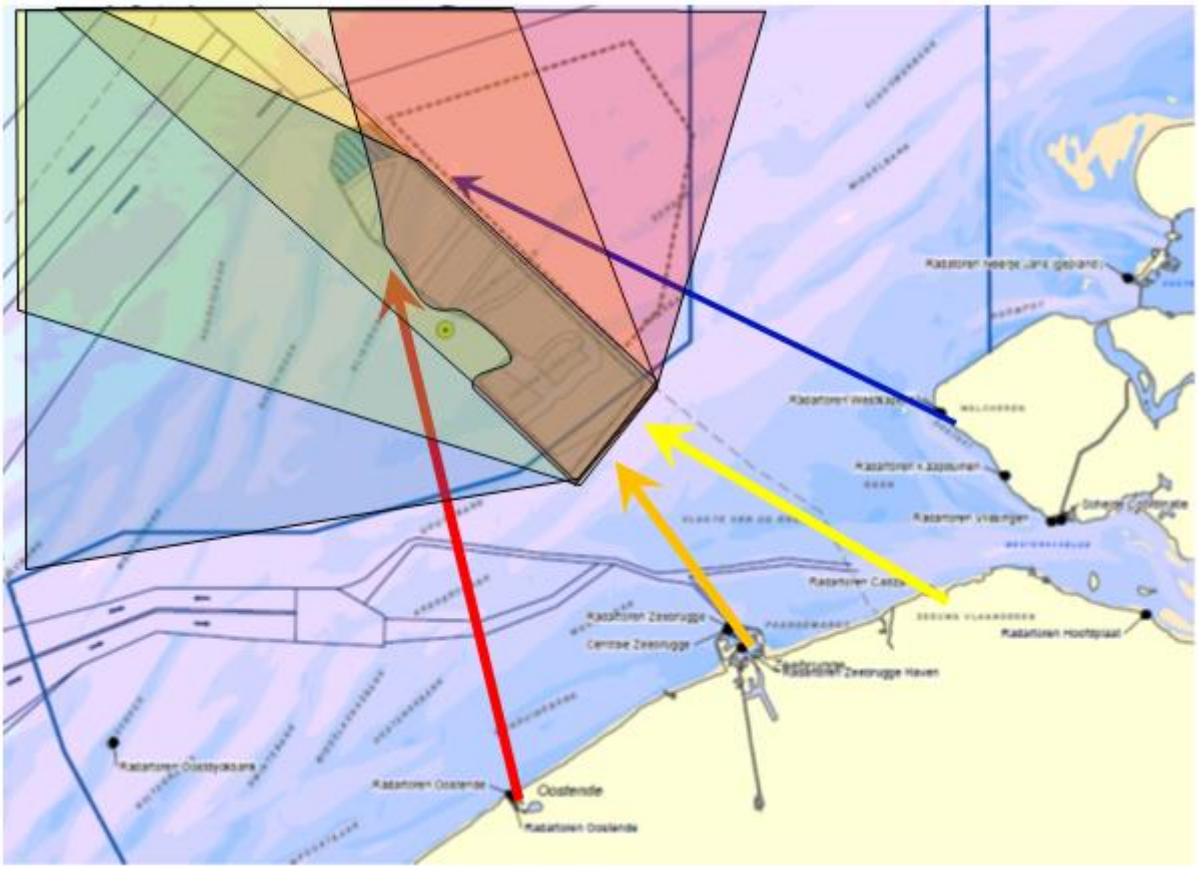
Mogelijke detectie door zijlobes

Uit de voorgaande analyses en simulaties blijkt dat de offshore windparken binnen het Belgische concessiegebied niet door de zijlobes van de SRK radarinstallaties kunnen gedetecteerd worden, waardoor ook geen valse of verkeerde beeldvorming kan ontstaan. De afstand, waarbij een zijlobe detectie mogelijk is, ligt immers op 6 km tussen radar installatie en object.

Shadowing en dode zones

Uit de analyses en simulaties blijkt dat achter de offshore windparken er een radarblinde zone zal ontstaan voor de SRK radar installaties. Dit betekent concreet dat voor de radars van Oostende en Zeebrugge een gedeelte ten oosten van de concessiegebieden en voor de radars van Cadzand en Westkapelle een gedeelte ten westen van het Belgische concessiegebied, niet meer zichtbaar zal zijn (zie ook hoofdstuk 7 Grensoverschrijdende effecten). Zoals echter reeds in ‘Reikwijdte van de SRK radarstations’ aangehaald, zal dit geen repercussie hebben op de goede werking van de SRK radarketen wegens de dubbele Belgisch-Nederlandse dekking (Figuur 6-18).

Mermaid en Northwester 2 liggen verdoken achter alle voorliggende offshore windparken voor wat de radarinstallaties betreft van Zeebrugge en Cadzand en brengen dus geen bijkomende cumulatieve effecten met zich mee (Figuur 6-21). Het project Mermaid ligt ook verdoken voor de radar van Oostende achter Northwester 2, maar blijft in directe lijn deels zichtbaar voor de radarinstallatie van Westkapelle. Northwester 2 daarentegen ligt volledig verdoken voor de radar van Westkapelle achter Seastar en Belwind, maar blijft in directe lijn grotendeels zichtbaar voor de radarinstallatie van Oostende. Zoals eerder gesteld heeft dit geen invloed op de zichtbaarheid ten westen (vanuit Oostende en Zeebrugge) en ten oosten (Cadzand en Westkapelle) van de concessiegebieden door de dubbele radardekking. In Figuur 6-21 wordt schematisch een voorstelling van de richtingen gegeven, waarbij schaduwzones optreden voor de radarstations.



Figuur 6-21 Schematische voorstelling van de richtingen waarin schaduwzones optreden voor de verschillende SRK radarstations door de voorliggende parken, en waardoor de projecten Mermaid en Northwester 2 volledig verdoken liggen achter de offshore windparken van Belwind, SeaStar, Northwind, Rentel, C-Power en Norther voor Zeebrugge en Cadzand (oranje en gele pijlen), of toch nog gedeeltelijk zichtbaar blijven voor Oostende (rode pijl), of Mermaid toch nog gedeeltelijk zichtbaar blijft vanuit Westkapelle (blauwe pijl)

Vrije radarpropagatie onder Fresnel condities

Uit de analyses blijkt dat er geen oplijning mogelijk is van de windturbines tegenover de verschillende SRK radarinstallaties, noch binnen eenzelfde windpark en ook niet tussen de verschillende offshore windparken, en dit om windtechnische redenen. Propagatie van de radarsignalen doorheen de offshore windparken zal dus praktisch niet mogelijk zijn. Zoals reeds in de vorige paragraaf ‘Shadowing en dode zones’ gesteld, zullen er dus achter de windparken radarblinde zones ontstaan voor de verschillende SRK radarposten. Maar dit zal, zoals in de paragraaf ‘Reikwijdte van de SRK radarstations’ reeds aangehaald, geen verdere invloed hebben op de waarnemingen door de SRK radarketen.

Mogelijke valse echo’s door meervoudige reflecties

Valse echo’s door het optreden van meervoudige reflecties zullen zich ten opzichte van de SRK radarketen niet voordoen.

Mogelijke clutter van de draaiende wieken

Fysisch kan een schip zich niet op de plaats van een windturbine bevinden en bijgevolg ook niet in dezelfde radar-waarnemingscel van een windturbine (evenwel met uitzondering voor de

onderhoudsschepen nabij of in een windpark). Daardoor kan er ook geen directe maskering van een schip door een windturbine optreden. De mogelijk variërende reflecties van draaiende wieken is een sterk lokaal effect en van een totaal andere aard dan de clutter afkomstig van de zeegolven. De anti-clutter algorithmes zullen in dit geval geen impact hebben op de waarnemingen om en nabij de windturbines en de mogelijke clutter afkomstig van draaiende wieken speelt dus bij de scheepvaart geen enkele rol.

Fouten door diffractie en multi path propagatie

Uit de voorgaande analyses volgt dat de fouten op range (afstand) zich hoogstens tot één waarnemingscel zullen beperken (maximaal 60 m) en in azimut tot een fout van 0,1°. Deze fouten zijn in de praktijk van de radaropvolging van de scheepvaart dus verwaarloosbaar.

Algemeen kan dus gesteld worden dat er zich geen wezenlijke verandering zal voordoen voor wat de opvolging van de scheepvaarttrafiek betreft bij een realisatie van de offshore windparken binnen het afgebakende Belgische concessiegebied, en dit zowel vanuit de Vlaamse als de Nederlandse SRK radarstations.

Wel dient opgemerkt te worden dat de secundaire navigatieroutes zullen wijzigen, en dat deze wijziging de nodige aandacht verdient in verband met de nautische veiligheid van de scheepvaarttrafiek op deze gewijzigde routes.

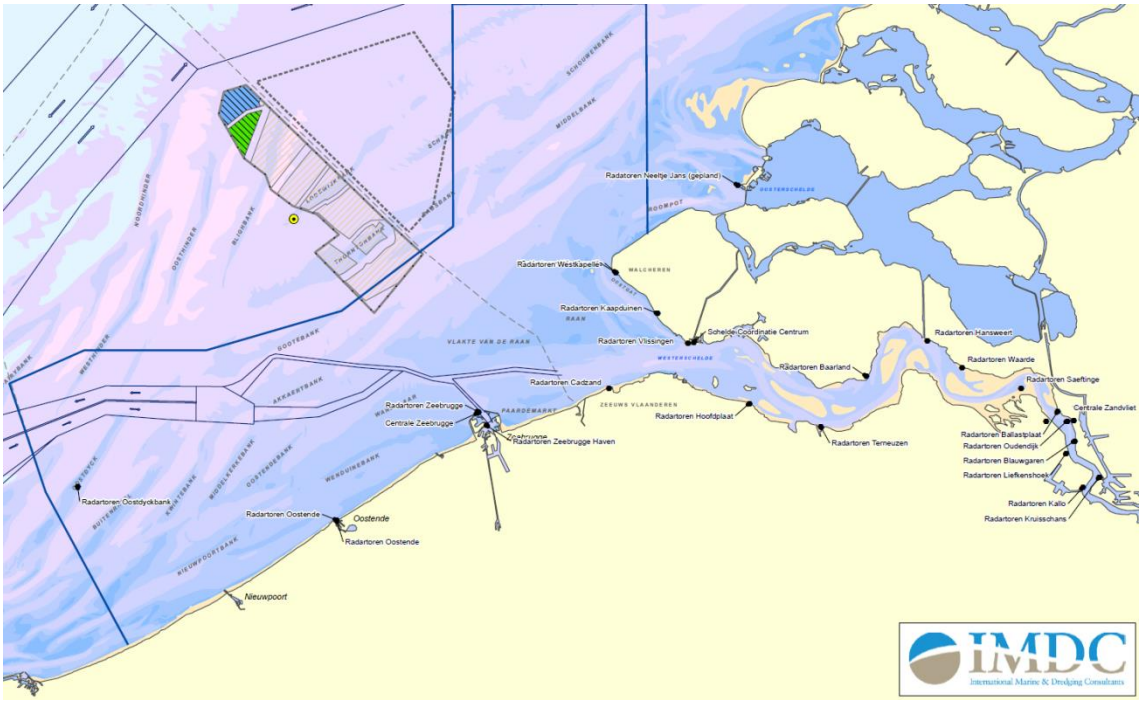
6.3.8.2.5 Impact op de waarnemingen van de scheepsradar

De impact op de scheepsradar heeft te maken met het feit dat de afstanden tussen een scheepsradar en de offshore windparken relatief klein kan worden. De mogelijke effecten manifesteren zich inderdaad binnen afstanden die zich beperken tot ten hoogste enkele km.

Reikwijdte van een typische scheepsradar

De reikwijdte van een typische scheepsradar kan ingeschat worden op ongeveer 25 km en wordt hoofdzakelijk bepaald door de effectieve LoS.

Het is duidelijk dat voor de hoofdnavigatieroutes, de aanwezigheid van de offshore windparken geen verschil zal uitmaken in vergelijking met de huidige situatie (Figuur 6-22).



Figuur 6-22 Ligging van de hoofdnavigatieroutes ten opzichte van de concessiegebieden

Voor wat de secundaire navigatieroutes betreft, wordt verwezen naar de opmerkingen geformuleerd in paragraaf 'Reikwijdte van de SRK radarstations' en meer specifiek geschetst in Figuur 6-19. In verband met de veiligheid van deze scheepstrafiek kan verder verwezen worden naar de betreffende hoofdstukken in de MER studie:

- Hoofdstuk 6.3.8.1. cumulatieve effecten: risico's en veiligheid – scheepvaart
- Hoofdstuk 7.6 Grensoverschrijdende effecten – risico's en veiligheid

Het is duidelijk dat voor deze nieuwe secundaire routes, en ook voor het scheepvaartverkeer van en naar de offshore windparken, aandacht dient besteed te worden aan die effecten die zich op korte afstand van de windparken manifesteren. Deze worden in de volgende paragrafen besproken.

Mogelijke detectie door zijlobes

Uit de analyses en enkele gelijkaardige buitenlandse ervaringen blijkt dat detectie van een windturbine via de zijlobes van de scheepsradarantenne, mogelijk is binnen een typische afstand tot 1,5 km van de windturbines. Dit betekent dat er zich een "valse echo" kan voordoen met een virtueel offshore park op het radarscherm. Er dient hierbij opgemerkt te worden dat een dergelijk verschijnsel niet eigen is aan de aanwezigheid van een windturbine, maar zich kan voordoen bij alle grotere objecten. Radaroperatoren aan boord kennen normaal gezien dit verschijnsel en zullen meestal de gevoeligheid van de ontvanger kortstondig verminderen, zodat detectie via zijlobes zich niet meer voordoet.

Voor een scheepsradar ligt de afstand tussen radarantenne (schip) en object waarbij een detectie via de zijlobes (met een zijlobe onderdrukking van 25 dB), mogelijk is, op een afstand van 750 m voor objecten met een typische RCS van 25 m². Dit kan oplopen tot 1.250 m à 1.500 m voor grotere objecten. Er zal zich dus alleen een valse beeldvorming van de WEC/windparken op zee kunnen voordoen via een mogelijke zijlobe detectie van de radar op voldoende korte afstand van de WEC/windparken.

Shadowing en dode zones

Shadowing en radar blinde zones kunnen optreden voor objecten die in lijn liggen van de scheepsradar en een windturbine. Dit verschijnsel is ook maar van belang voor schepen op relatief korte afstand van een offshore windpark (tot 2,5 km). Uit de analyses blijkt dat de zichtbaarheid van buitenaf in het windpark en van binnenuit naar het scheepvaartverkeer in de omgeving van de windparken toch mogelijk blijft, wanneer de betreffende schepen zich niet in die directe shadowing zone bevinden, zoals dat a priori het geval is bij het buitenvaren van een windpark.

Het probleem van mogelijke shadowing en dode zones bij WEC's stelt zich hoofdzakelijk naar de zichtbaarheid van schepen die zich in het windpark bevinden (o.a. voor onderhoudswerk), schepen achter een windpark (botsingsgevaar) en schepen die het windpark verlaten.

Een oorspronkelijke vrij radiopad tussen windturbines zal gehinderd worden door de inplanting van WEC's. Door de beperkte hoogte van een WEC (hier ca. 6-10 m), zal de verzwakking van het radarsignaal echter vergelijkbaar zijn met deze van een windturbine. Bij een windturbine is het de kleinste afmeting die telt, nl. de breedte van ca. 6 m. Bij een WEC wordt de 'verstoorde hoogte' bepaald door het snijpunt van de twee raaklijnen (lijn hoogste zichtbare punt van zender én ontvanger).

Uit de analyses volgt dat een schip op een afstand van 1 km objecten achter zowel een windturbine als een WEC nog kan waarnemen. Voor een schip op een afstand van 5 km tot het windpark worden nagenoeg geen objecten binnen in het windpark waargenomen, behalve de windturbines en de WEC's zelf met een voldoende grote RCS waarde. Voor een afstand van 5 km tussen schip en windpark, zullen er dode zones ontstaan, precies in lijn achter een windturbine of WEC. Een schip dat zich in het windturbinepark bevindt, op een afstand van 350 m van een windturbine/WEC kan schepen in het buitengebied waarnemen tot op een afstand van meer dan 1.500 m (om veilig te kunnen buitenvaren).

Vrije radarpropagatie onder Fresnel condities

Zoals in de studie (Flemtek-IMDC, 2014) wordt aangehaald, blijft zichtbaarheid vanuit de windparken naar het scheepvaartverkeer erbuiten en van buitenaf naar binnen mogelijk onder de Fresnel condities, die op korte afstand slechts een tiental meter vrije radiodoorgang vooropstelt. Dit vormt geen probleem gegeven de tussenafstanden tussen de windturbines in de, omwille van windtechnische redenen, voorziene inplanting van de windturbines.

Voor schepen op kortere afstand tot een windpark is er een open ruimte voor de radarsignalen bij afstanden tussen de windturbines en/of WEC's van ongeveer 15 m. Dit houdt dus in dat schepen in de nabijheid van de windparken met WEC's nog steeds op een voldoende manier de eventuele trafiek binnen het windpark zullen kunnen waarnemen en opvolgen, en dus ook bij het binnenvaren ervan het botsingsrisico kunnen elimineren.

Mogelijke valse echo's door meervoudige reflecties

Meervoudige reflecties kunnen optreden, maar enkel op een relatief korte afstand van maximaal 1,5 km tussen scheepsradar en windturbines. Dit is geen verschijnsel dat zich specifiek voordoet rond windturbines, maar ook tussen verschillende schepen onderling.

De radaroperatoren kennen dit verschijnsel en kunnen desgevallend de gevoeligheid van de scheepsradar voor korte tijd verminderen, zodat de beeldvorming op het scherm niet verstoord wordt.

Er zullen gemiddeld slechts meervoudige reflecties optreden indien een waarnemingsschip zich binnen een afstand tot 1.500 m van de windturbines en WEC's bevindt, en een tweede object in de directe omgeving ervan.

Mogelijke clutter door de draaiende wieken

Er zijn geen specifieke clutter algorithmes geïmplementeerd bij de signaalverwerking van een scheepsradar en de mogelijke clutter zal zich dus slechts manifesteren in de waarnemingscel waarin een windturbine zich bevindt. In de praktijk stelt de bijhorende maskering geen probleem, want een schip kan zich niet in dezelfde waarnemingscel bevinden.

Fouten door diffractie en multipath propagatie

Op korte afstand kunnen zich fouten voordoen ten opzichte van een exacte azimuth bepaling van een object. Gegeven de korte afstand waarbinnen zich grotere fouten dan de eigen resolutie van de radarbundel kunnen voordoen (tot ongeveer 0,5 km), blijft de resulterende fysische fout in azimuthale afstand toch voldoende klein. Vanaf afstanden tussen scheepsradar en objecten van 1 km en meer, worden de fouten verwaarloosbaar tegenover de eigen resolutie van de radarantenne.

Algemeen kan gesteld worden dat met betrekking tot de operationele werking van de scheepsradar er zich geen wezenlijke verandering zal voordoen voor wat de opvolging van de scheepvaarttrafiek betreft bij een volledige realisatie van alle offshore windparken binnen het afgebakende concessiegebied op het BDNZ. De meeste fenomenen zijn nu reeds bekend vanuit een gelijkaardige situatie wanneer zich een voldoende groot object (in casu ander schip) in de nabijheid van de eigen scheepsradar bevindt. In de meeste gevallen betreft het zelfs een mast of ander object aan boord van het eigen schip dat de oorzaak van foutieve beeldvorming is. De radaroperatoren aan boord zijn dan ook met deze verschijnselen voldoende vertrouwd. Enkel voor de opvolging van het scheepvaartverkeer in een windpark zelf of voor de opvolging vanuit een windpark dient de opmerking gemaakt dat er zich direct achter windturbines dode zones kunnen voordoen, maar dat tussenin de transparantie voldoende gegarandeerd blijft.

6.3.8.2.6 Impact op de VHF communicatie en aanverwante marifone systemen (AIS, RDF)

Vooreerst dient gesteld te worden dat de hieronder geformuleerde conclusies zowel gelden voor de VHF communicatie zelf, als voor de AIS en RDF systemen, die ook gebruik maken van een aantal eigen VHF radiokanalen. Er wordt opnieuw onderscheid gemaakt tussen de communicatie van schip naar wal en van schip naar schip.

Hierbij dient ook aangestipt te worden dat slechts een beperkt aantal fenomenen van belang of van toepassing zijn bij de marifone communicatiesystemen, en dat zijlobe detectie en meervoudige reflecties een gelijkaardig verschijnsel opleveren als multipath propagatie. Clutter door de draaiende wieken is voor de VHF radiocommunicatie niet van toepassing.

Nagenoeg alle communicatie in en rond een windpark met WEC's zal mogelijk blijven, gegeven de technische vereisten qua tussenafstanden (minimaal 150 m) tussen de windturbines en WEC's onderling, in de optimale inplanting binnen het gebied. Toch dient er in de praktijk vanuit gegaan te worden dat propagatie doorheen één (of meerdere) windpark(en) moeilijk en zelfs onmogelijk zal zijn, door de mogelijke oplijning van de verschillende objecten.

Reikwijdte van de VHF systemen.

Zoals voor de radarinstallaties zal hier de LoS afstand de feitelijke reikwijdte van de VHF systemen bepalen. Dit betekent in de praktijk een typische afstand van 40 km voor de communicatie van schip/wal en 25 km voor schip/schip.

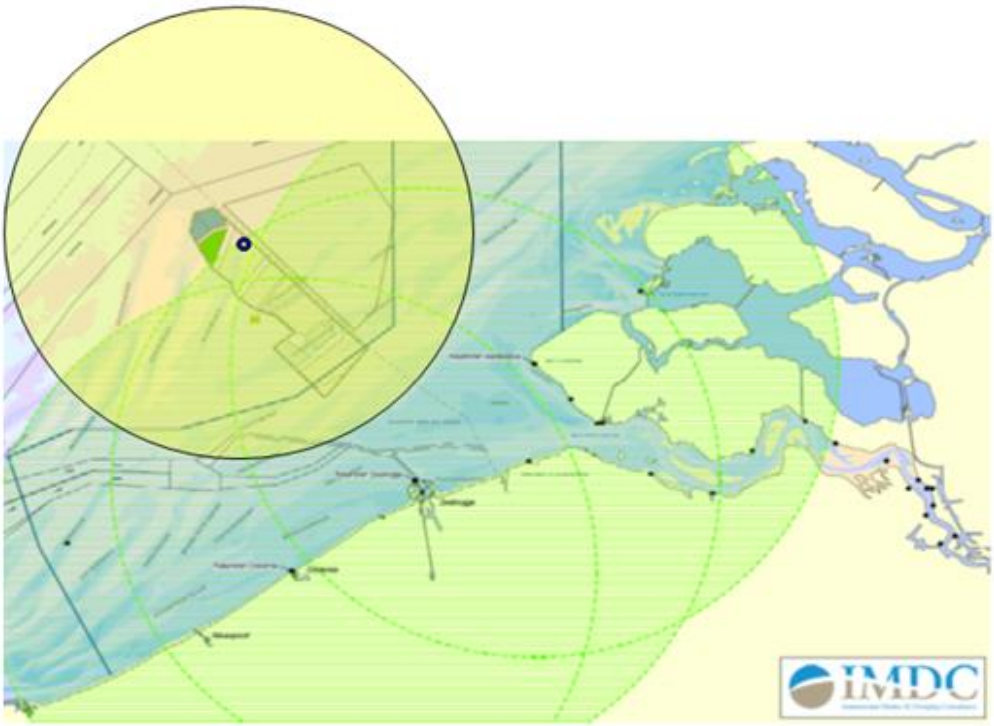
Net als voor de SRK radarstations en de scheepsradar, zal het scheepvaartverkeer op de hoofdnavigatieroutes bij de realisatie van de offshore windparken geen direct operationeel gevolg hebben en geen verschil uitmaken met de huidige werking en mogelijkheden van de VHF systemen. Voor de secundaire navigatieroutes zal een volledige invulling van het concessiegebied ook voor de VHF systemen gevolgen hebben, omdat de gangbare vaarroutes zullen gewijzigd worden. Een deel van de voordien door VHF bereikbare secundaire vaarroutes zullen na inplanting van de offshore windparken, door de omlegging van deze secundaire vaarroutes buiten het bereik van de huidige VHF radiostations vallen.

Shadowing en dode zones, en vrije radiopropagatie onder Fresnel condities

Uit de analyses blijkt dat achter de offshore windparken er een radioblinde zone zal ontstaan voor de VHF systemen. Dit betekent concreet dat voor de VHF radiostations van Oostende en Zeebrugge een gedeelte ten oosten van het concessiegebied en voor het VHF radiostation van Westkapelle een gedeelte ten westen van het Belgische concessiegebied, niet meer bereikbaar zal zijn. Dit zal geen repercussie hebben op de goede werking van de VHF radiostations wegens de dubbele dekking van uit België en Nederland. De situatie is analoog als voor de radarstations, zoals op Figuur 6-18 weergegeven.

Mermaid en Northwester 2 liggen verdoken achter alle dichter bij de kust gelegen offshore windparken voor wat het VHF radiostation betreft van Zeebrugge en zullen dus geen bijkomende cumulatieve effecten met zich zal meebrengen. De Mermaid en Northwester 2 projecten hebben daarbij geen invloed op de VHF radiocommunicatie ten westen van het Belgische concessiegebied (bereikbaar van uit Oostende). Het gebied ten oosten van de concessiegebieden blijft volledig bereikbaar voor het VHF radiostation in Westkapelle.

Toch dient de nodige aandacht besteed aan de verder afgelegen gebieden, zowel voor de communicatie naar de te verwachten secundaire scheepvaartroutes en voor de nooddiensten Search and Rescue (SAR). Sinds 2013 is er een extra AIS relaisstation operationeel op het OHVS platform van Belwind (Figuur 6-23). Via dezelfde installatie is er ook een relaisstation voor de VHF kanalen 16 en 97 voor SAR beschikbaar. Momenteel bereikt dit ondersteunend relaisstation het gebied met de verre scheepvaartroutes. Bij een realisatie van de windparken Mermaid en Northwester 2 mag men een behoorlijke schaduwwerking verwachten in noordwestelijke en westelijke richting, zodat enkel een gebied in noordelijke en noordoostelijke richting ondersteund zal blijven



Figuur 6-23 Uitbreiding van het AIS bereik na installatie van het bijkomend relaisstation "Belwind"

Het zou aangewezen zijn om te voorzien in een volwaardig AIS/VHF station op de locatie Alpha van het Belgian Offshore Grid en/of het ondersteundende AIS/SAR station te verplaatsen van Belwind naar de noordelijke punt van het project Mermaid.

Voor de communicatie tussen de schepen onderling zal er zich geen noemenswaardig verschil voordoen voor de schepen op de hoofdnavigatieroutes. Radiocommunicatie blijft mogelijk voor schepen die zich in en nabij de offshore windparken (onderhoud) bevinden, maar communicatie doorheen de windparken zal gestoord tot tijdelijk onmogelijk zijn.

Mogelijke effecten van multipath propagatie

Mogelijke effecten op de kwaliteit van de radio ontvangst kunnen zich voordoen binnen een afstand van ongeveer 1 km rond de windparken (incl. WEC's). Dit type effect doet zich ook voor door reflecties op andere objecten (aan boord) of andere schepen binnen eenzelfde afstand en zijn dus niet eenzijdig toe te schrijven aan de aanwezigheid van de offshore parken. Dit geldt zowel voor de communicatie tussen schip en wal, en schip naar schip.

Verder kan expliciet gesteld worden dat de realisatie van de offshore windparken (met WEC's) geen directe invloed zal hebben op zowel de werking van de AIS systemen, als van de RDF systemen. Zoals hierboven aangehaald wordt de reikwijdte hiervan evenzeer beperkt door de LoS afstanden van de VHF communicatie systemen en blijven de mogelijke fouten beperkt binnen de specificaties van beide systemen.

Algemeen kan dus gesteld worden dat met betrekking tot de VHF radiostations er zich geen wezenlijke verandering zal voordoen op Belgisch of Nederlands grondgebied voor wat de opvolging van de scheepvaarttrafiek betreft bij een volledige realisatie van alle offshore

windparken binnen het afgebakende concessiegebied op het BDNZ. Dit geldt evenzeer voor de werking van het AIS systeem als voor het RDF systeem.

*Opnieuw verdienen de aangepaste secundaire navigatieroutes rondom de offshore windparken de nodige aandacht in verband met de veiligheid van de scheepvaarttrafiek, waarbij de radio communicatie **doorheen** de windparken tussen schip en schip quasi onmogelijk zal zijn.*

6.3.8.2.7 Besluit bespreking en beoordelingen van de effecten op radar en scheepscommunicatie

Windturbines

Algemeen kan dus gesteld worden dat de realisatie en inplanting van de offshore windparken Mermaid en Northwester 2 geen noemenswaardige invloed zal hebben op de bewaking van en communicatie met het scheepvaartverkeer, zoals het zich momenteel voordoet. Mogelijke cumulatieve effecten van meerdere windparken binnen het afgebakende concessiegebied op het BDNZ, zullen in eerste instantie bepaald worden door de effecten van de dichtst onder de kust gelegen projecten Norther en C-Power voor en op de Thorntonbank. Deze gebieden zijn immers nog binnen de actieve zone van zowel de Vlaamse en Nederlandse SRK radarstations, als de VHF radiostations gelegen.

Verder dient er op gewezen te worden dat in deze studie enkel de effecten van de SRK radarbewaking van de scheepvaart, de radarwaarneming door de scheepsradar en de VHF radio communicatie (schip/wal en schip/schip) besproken zijn. De bewaking van het hier beschouwde windparken zelf (en van de diverse andere windparken) is in deze studie niet aan bod gekomen. Hiervoor dienen er uiteraard gepaste maatregelen getroffen te worden, vooral om de scheepvaarttrafiek om en rond de meer zeewaarts gelegen zijde van het afgebakende concessiegebied op het BDNZ adequaat op te volgen.

Hierbij kan gedacht worden aan een bijkomende radarinstallatie, op een gepaste locatie. Het is evident dat een dergelijke extra radarinstallatie meteen alle offshore windparken (Norther, C-Power, Rentel, Northwind, SeaStar, Belwind, Northwester 2 en Mermaid) kan en zal “bedienen”. Verder is het aangewezen om te voorzien in een bijkomend relaisstation voor zowel de AIS als de VHF communicatie, zodat de dekking naar de verre scheepvaartroutes behouden en gegarandeerd blijft na bouw van Mermaid en Northwester 2.

Golfenergieconvertoren

Algemeen kan gesteld worden dat de invloed op de radar/radio communicatie bij de realisatie en inplanting van WEC’s in een offshore windturbinepark afhankelijk zal zijn van het type WEC. Bij een worst case scenario (Wavestar) zal het effect het meest uitgesproken zijn. Bij een type WEC dat hoofdzakelijk onder water wordt ingeplant zal de invloed minimaal zijn.

Bij het inplanten van WEC’s in de open ruimte tussen windturbines, wordt deze open ruimte meer beperkt, zodat vrije radio propagatie tussen de verschillende objecten minder gemakkelijk zal verlopen. Hetzelfde geldt voor de Fresnel verzwakking achter elk object, zodat er grotere zones met verminderde radargevoeligheid zullen gevormd worden. De grootte van deze effecten is afhankelijk van het type WEC en zal in een worst case scenario ten hoogste - afhankelijk van hoogte en breedte van de WEC - vergelijkbaar zijn met deze zelfde effecten van een windturbine met dezelfde zijdelingse afmetingen of diameter.

De algemene conclusie is dat de bijkomende inplanting van WEC’s kan gezien worden als een offshore windpark, met een grotere densiteit van de ingeplande objecten. Voor een

bijkomende inplanting van WEC's, zal er geen noemenswaardige bijkomende invloed zijn op de SRK radars, gezien de afstand tot de SRK installaties en de beperkte hoogte van de WEC's.

De ligging van de WEC's is van belang voor de zichtbaarheid bij het binnen- en buitenvaren van schepen in het park. De inplanting van WEC's op de randen van een windpark zal een belangrijkere impact hebben dan een ligging intern in het windpark, omdat de radarzichtbaarheid en de radiocommunicatie bij het buitenvaren van een schip van een windpark naar de zee, door de grotere dichtheid van objecten, meer beperkt zal worden. Deze zichtbaarheid naar buiten toe is wel cruciaal naar de veiligheid om botsingen te vermijden tussen uitvarende schepen en andere scheepvaart in de omgeving van een windpark.

6.4 LEEMTEN IN DE KENNIS

Door het toenemende aantal offshore windenergie projecten groeit het bewustzijn dat er meer aandacht moet besteed worden aan het mogelijke milieueffect tengevolge van de combinatie van meerdere initiatieven en neemt het aantal wetenschappelijke studies rond cumulatieve en grensoverschrijdende effecten toe. De monitoringsresultaten van het C-Power windpark (6 turbines) en het Belwind windpark (55 turbines) zijn gepubliceerd, maar laten nog niet toe om eventuele cumulatieve effecten te identificeren. Er bestaat dus nog steeds veel onzekerheid over de mogelijke cumulatieve effecten van verschillende windparken onderling en in combinatie met andere mariene activiteiten.

De leemten in de kennis zijn reeds besproken in de afzonderlijke hoofdstukken binnen dit MER.

6.5 MILDERENDE MAATREGELEN

Naarmate meer parken worden gerealiseerd zowel in binnen- als buitenland, is er een grotere kans op het optreden van cumulatieve effecten. Deze groei in windenergie-initiatieven wereldwijd zou in de eerste plaats veel baat kunnen halen uit een gesynchroniseerde ruimtelijke planning op internationale schaal om de mogelijke cumulatieve effecten over de grenzen heen beter te beheren, te bemeten, te evalueren en te mitigeren. Om het ruimtebeslag van de kabeltracés te beperken en zodoende zo veel mogelijk ruimte beschikbaar te houden voor overige gebruiksfuncties, wordt voorgesteld om de kabels waar mogelijk gebundeld aan te leggen. Initiatieven zoals het Belgian Offshore Grid van Elia zijn in deze context alleen maar toe te juichen. Een vermaasd net op zee uitbouwen met centrale aansluitingspunten, biedt voordelen naar betrouwbaarheid, dankzij redundantie door de gecreëerde vermazing, optimalisering in de investeringen bij aanleg van exportkabels en een reductie van het aantal aanlandingen van exportkabels en aansluitingen op het landnet.

Gezien de onzekerheid en leemtes in de kennis moeten de eerste resultaten met de nodige voorzichtigheid beoordeeld worden en is de eerste en vandaag de beste mitigerende maatregel bijkomende monitoring van mogelijke cumulatieve effecten.

6.6 MONITORING

Monitoring is noodzakelijk om de geïdentificeerde leemtes in de kennis weg te werken. Als basis voor de monitoring wordt verwezen naar de verschillende hoofdstukken. De BMM past momenteel reeds een hoge mate van afstemming toe van de monitoringsprogramma's van de verschillende windparken zodat men met een efficiënte financiële inspanning tot een waardevol resultaat kan komen. Een verdere internationale afstemming kan de waarde en praktische bruikbaarheid van deze monitoringsresultaten verder verhogen op zich en een duidelijker beeld genereren rond de cumulatieve en grensoverschrijdende milieueffecten van meerdere windparken in een groter geheel (van de Noordzee bijvoorbeeld) plaatsen.

7. GRENSOVERSCHRIJDENDE EFFECTEN IN HET KADER VAN HET ESPOO-VERDRAG

7.1 INLEIDING

Het Verdrag van ESPOO (1991) wijst op de verplichtingen van de verschillende lidstaten inzake grensoverschrijdende milieueffecten van bepaalde activiteiten, waaronder de ontwikkeling van offshore energie. Het Verdrag werd opgenomen in het KB van 07 september 2003 (art. 19). Gezien de positie en de afstand van de inplanting van Mermaid en Northwester 2 ten opzichte van de buurlanden kunnen er effecten verwacht worden naar Nederland, Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk toe.

Door de beperkte afstand tot het Nederlands grondgebied kan verwacht worden dat vrijwel alle effecten die tot buiten het concessiegebied waarneembaar zijn, ook zullen optreden op het Nederlands grondgebied (BMM, 2013). Voor een uitgebreide bespreking van de relevante effecten wordt dan ook verwezen naar de desbetreffende hoofdstukken in dit MER.

Gezien de relatief grote afstand tot het Frans grondgebied kan verwacht worden dat slechts een paar van de effecten die tot buiten de concessiegebieden van Mermaid en Northwester 2 waarneembaar zijn, ook gevolgen kunnen hebben tot in het Frans grondgebied. Hierbij worden enkel effecten op migrerende zangvogels en mobiele populaties van zeezoogdieren als relevant beschouwd. De Northwester 2 concessie ligt op een afstand van ca. 46 km tot het dichtstbijzijnde Franse Natura 2000 gebied: Bancs des Flandres; Mermaid is net iets verder verwijderd. Dit gebied wordt gekenmerkt door ondiepe zandbanken en is vooral van belang voor gewone zeehond, bruinvis en grijze zeehond.

De afstand tot de Britse wateren bedraagt ca. 16 km vanuit Mermaid en 20 km vanuit Northwester 2. Het dichtstbijzijnde Britse Natura 2000 gebied, het vogelrichtlijngebied Outer Thames Estuary, bevindt zich op ca. 70 km van Mermaid en Northwester 2. Door de grotere afstand worden in de Britse wateren enkel mogelijke effecten verwacht op de avifauna en de scheepsveiligheid.

7.2 BODEM EN WATER

Uit literatuurstudie blijkt dat de invloedsfeer van de turbines op de hydrodynamica en het sedimenttransport beperkt is tot de directe omgeving van de turbines en waarschijnlijk niet reikt tot aan de Belgisch-Nederlandse grens (zie § 5.1).

In het kader van dit project werd een pluimmodelleringsstudie uitgevoerd om de turbiditeit tijdens het baggeren van een funderingsput voor een GBF te begroten (IMDC, 2014b, cf. externe bijlage). Het baggeren van een funderingsput van 90.000 m³ - als ‘worst case’ illustratie bij het potentieel vertroebelen van het heldere Kanaal zeewater - werd ingeschat op 14 cycli van baggeren en dumpen, wat in totaal ongeveer 1,5 dag duurt. De simulaties werden uitgevoerd tijdens een springtij om de worst-case effecten te benaderen.

Er werden vier scenario's doorgerekend:

- Scenario 1: baggeren en dumpen aan de zuidwest zijde van het Northwester 2 projectgebied tijdens eb;
- Scenario 2: baggeren en dumpen aan de noordoost zijde van het Mermaid projectgebied, dicht bij de Nederlandse grens, tijdens vloed;
- Scenario 3: het cumulatieve effect van 2 baggerpluimen aan de oostelijke grens van beide concessiegebieden tijdens vloed, waarbij de baggersites opgelijnd zijn volgens de stromingsrichting;
- Scenario 4: het cumulatieve effect van de 2 baggerpluimen aan de westelijke grens van beide concessiegebieden tijdens eb, waarbij de baggersites opgelijnd zijn volgens de stromingsrichting.

De modelresultaten tonen dat de achtergrondwaarde in de regio van ongeveer 4 mg/l (Van den Eynde, 2010) in alle scenario's niet langer dan 2,6u (7,5% van de tijd) overschreden wordt binnen de concessiezones tijdens de volledige baggerwerken van één funderingsput en minder dan 3% van de tijd (<1u) buiten de concessiezones. Het is vooral de dumpactiviteit die de hoogste turbiditeit veroorzaakt.

Bij dumpen aan de noordoost zijde van Mermaid tijdens vloed (Scenario 2) wordt de achtergrondwaarde van 4 mg/l overschreden tot maximum 500 m over de Nederlandse grens. Een gelijkaardige situatie wordt verwacht wanneer er gebaggerd en gedumpt wordt aan de noordoost zijde van Northwester 2. In Scenario 3, wanneer dumpen plaatsvindt op 1.000 en 2.250 m van de grens, wordt de achtergrondwaarde (4 mg/l) nauwelijks overschreden in Nederlandse wateren. Ook wanneer dumpen plaatsvindt aan de zuidwest zijde van de concessiezones (Scenario 1 en 4) worden de Nederlandse wateren niet beïnvloed. Gelijktijdig baggeren en dumpen in de Mermaid en Northwester 2 zones hebben geen grote invloed op de turbiditeit.

7.3 KLIMAAT EN ATMOSFEER

Er zijn sterke indicaties dat vlak achter een windpark de windsnelheid tot 40% kan dalen. Indien de turbines dichter dan 500 m van elkaar geplaatst worden, neemt de windschaduw zelfs zodanig toe dat vlak achter het park geen wind meer is (Brand, 2009). Op een onderlinge afstand van 1.400 m (14 rotordiameters) tussen de windturbines, is er vlak achter het park een verlies van 6% in windsnelheid.

Indien men in de toekomst in het nabijgelegen Nederlandse windenergiegebied 'Borssele' windturbines zou plaatsen, dan zou de Belgische windconcessiezone potentieel de wind in dit gebied significant verstoren (Figuur 7-1). Om het verlies in absolute windsnelheid achter een windpark te beperken tot minder dan 0,5 m/s dient een tussenafstand van 10 tot 30 km in acht genomen te worden tussen de parken in de overheersende windrichting (WZW) (Brand, 2009). Daar de windenergie evenredig is met de derde macht van de windsnelheid is een verlies van meer dan 0,5 m/s betekenisvol. De afstand van de windturbines in de projectgebieden van Mermaid en Northwester 2 tot de Nederlandse grens waarlangs het Borssele windenergiegebied ligt is ca. 600 m.

Momenteel bestaat er echter nog geen duidelijkheid over de invulling van windparken in de Nederlandse zone. Tot op heden zijn er nog geen concrete plannen om het Borssele

windenergiegebied in te richten. Verder onderzoek naar de 'schaduweffecten' van de Belgische windparken is vandaag niet expliciet beschikbaar. Bij een uitbouw van deze Nederlandse zone zal een nader onderzoek dan ook aangewezen kunnen zijn.

Tijdens de constructie en ontmantelingsfase wordt een lichte verhoging van emissies verwacht ten gevolge van de toename in scheepsactiviteiten. Tijdens de operationele fase zal door het afsluiten van Mermaid en Northwester 2 het scheepvaartverkeer expliciet verder noordwaarts moeten omvaren. In het BDNZ leidt dit tot een vermindering van de uitstoot, maar inclusief het omliggende Nederlands grondgebied, een klein deel van het Frans en een deel van het Brits grondgebied (totale beïnvloedingszone) zou dit leiden tot een lichte verhoging van de emissies door scheepvaart (minder dan 0,2% ten opzichte van de situatie zonder Mermaid en Northwester 2) (MARIN-IMDC, 2014 in externe bijlage). Deze toename wordt als verwaarloosbaar beschouwd.

7.4 GELUID EN ZEEZICHT

Gezien de grote afstand van beide parken tot de Nederlandse kust (ca. 50 km) zullen de windturbines van deze projecten geen visuele hinder noch geluidshinder veroorzaken tijdens de operationele fase. Het specifieke bovenwatergeluid van windturbines berekend ter hoogte van een waarnemer aan de kust bedraagt ca. 8-10 dB(A) (richtwaarde voor het SeaStar windturbinepark, IMDC, 2013e) en bevindt zich ruim onder het huidig achtergrondgeluidsniveau van 30 tot 40 dB(A) tijdens de nachtperiode. Voor de nog verder gelegen parken Mermaid en Northwester 2 wordt dan ook geen effect op bovenwatergeluid aan de kust verwacht.

Op zee kan er wel geluidshinder verwacht worden tijdens de operationele fase, maar deze zal zeer beperkt zijn. Boven water aan de rand van de veiligheidszone rondom elk park (zone van 500 m) op de offshore Belgisch-Nederlandse is het geluidsniveau ca. 50 dB(A). Dit is vergelijkbaar met het geluidsniveau veroorzaakt door licht autoverkeer op 30 m, regen, koelkast, afwasmachine, omgevingsgeluid in het bos.

Heiactiviteiten tijdens de constructiefase kunnen wel gedetecteerd worden boven water tot een afstand van 10 km van de bron (Norro et al., 2013) maar zullen dus in het geval van Mermaid en Northwester 2 evenmin vanaf de kust gehoord worden.

Op basis van de literatuurgegevens uit geluidsmetingen onder water tijdens het heien van palen (diameters tussen 4 en 5 m, met verschillende lengte en bij verschillende waterdieptes) en de geluidsoverdrachtsformule opgenomen in de literatuurstudies van Nedwell *et al.* (2007) en Norro *et al.* (2010), werd het piekniveau van het onderwatergeluid berekend op grote afstanden (0,5 km tot 80 km) tot de paal. Daaruit volgt dat er tijdens het heien van de funderingen op 20 km nog geluidsniveaus waargenomen kunnen worden die hoger zijn dan het achtergrondgeluidsniveau van 105 dB (re 1µPa). Op 80 km wordt het achtergrondgeluidsniveau nagenoeg nergens meer overschreden. Gezien de nabijheid van beide parken tot de Nederlandse grens (ca. 600 m) zal heien van funderingen tijdens de constructiefase, een effect hebben tot over de grens.

Monitoring van het onderwatergeluid tijdens de constructiefase van het Belwind park op de Blighbank (Norro *et al.*, 2010) heeft aangewezen dat het voorgestelde criterium voor impulsgeluiden voor een behoud van een goede milieutoestand (Kaderrichtlijn Mariene Strategie, nl. het niveau van antropogene impulsgeluiden dient kleiner te zijn dan

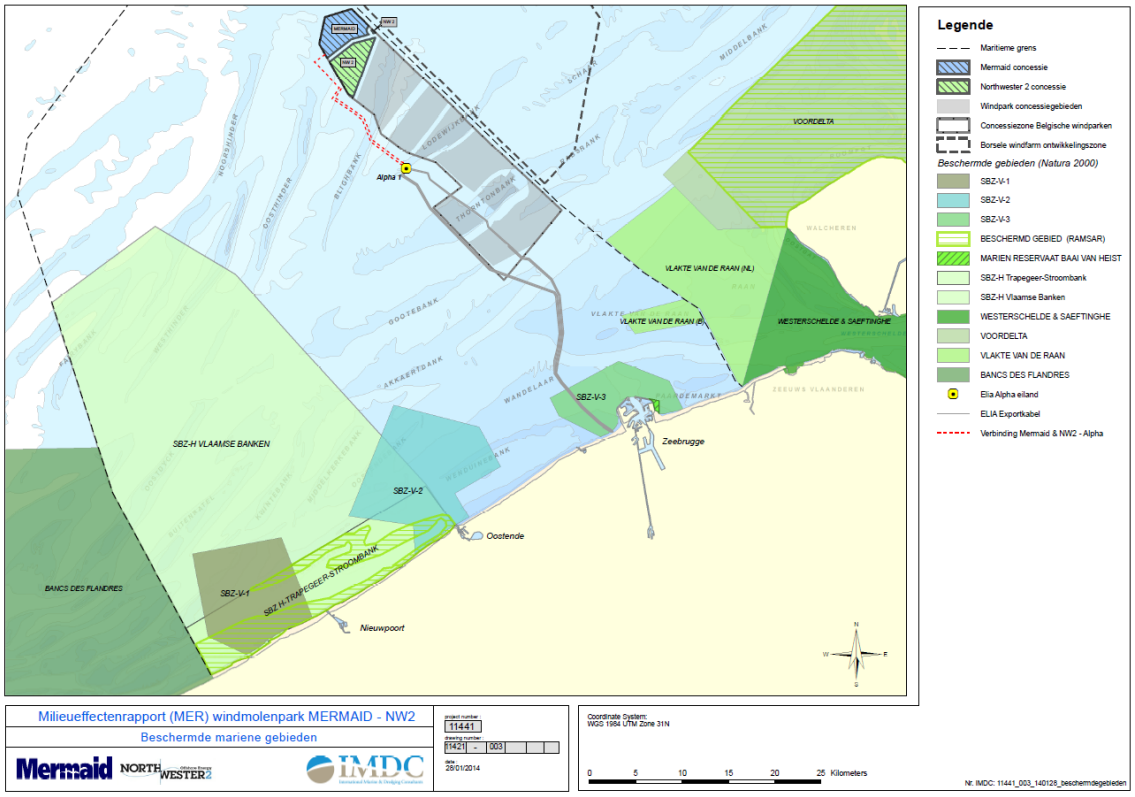
185 dB re 1µPa (nul tot max. SPL) op 750 m van de bron) niet gerespecteerd werd tijdens het heien van de daar voorziene monopile. Het maximaal toelaatbaar piekgeluidsniveau van 185 dB re 1µPa werd slechts bereikt op een afstand van 1580 m van de paal.

Ook het baggeren van funderingsputten tijdens de constructiefase zal een effect hebben op het onderwatergeluid tot over de Nederlandse grens. In een studie van de BMM (2007) werden op 430 m en 1.500 m afstand van een baggerschip geluidsniveaus van 138 dB, respectievelijk 131 dB (re 1 µPa) opgemeten. Het onderwatergeluid bij gunstige weersomstandigheden zal tot op enkele kilometers van de bron significant hoger zijn dan het aanwezig achtergrondgeluidsniveau.

7.5 FAUNA, FLORA & BIODIVERSITEIT

7.5.1 Nederland

Momenteel bevinden zich twee Natura 2000 gebieden over de grens met Nederland op meer dan 33 km van de Mermaid en Northwester 2 windparken: de Vlakte van de Raan (Habitatrichtlijngebied) en de Voordelta (Vogel- en Habitatrichtlijngebied en aangewezen wetland) (Figuur 7-1). Op 30 december 2010 werd het Nederlandse gedeelte van de Vlakte van de Raan definitief als Natura 2000 gebied aangewezen. Het gebied Voordelta werd door Nederland bij aanwijzingsbesluit aangewezen als Natura 2000 gebied op 19 februari 2008. In het noordelijk deel van de Voordelta zijn er rustgebieden voor zeehonden en vogels aangewezen en is er een zone waar de bodem extra wordt beschermd.



Figuur 7-1 Overzicht van de Nederlandse beschermde natuurgebieden binnen de mogelijke beïnvloedingszone van de 8 parken (Zie Bijlage E voor groot formaat)

7.5.1.1 Benthos en vissen

De Vlakte van de Raan en de Voordelta werden in Nederland onder meer aangewezen voor het habitattype 'permanent overstroomde zandbanken' (H1110 en H1110B). De instandhoudingsdoelstelling van deze habitattypes beoogt een behoud van de kwaliteit en de oppervlakte van dit habitattype. Over de staat van instandhouding van dit subtype in de Vlakte van de Raan is nauwelijks iets bekend. Ook heeft de Vlakte van de Raan slechts een beperkte bijdrage aan het landelijk (NL) areaal van dit subtype. Om deze redenen is ingezet op de doelstelling 'behoud' (BMM, 2013).

Tijdens de constructie- en operationele fase van de Mermaid en Northwester 2 windparken worden geen veranderingen in de bodemdichtheid of bodemsamenstelling verwacht in de Nederlandse Natura 2000 gebieden. De BMM (2012a en 2011b) stelt dat ook de instandhoudingdoelstellingen voor dit habitattype op Nederlandse bodem niet worden gehypothekeerd bij de aanleg van het Norther en Rentel windpark. Aangezien deze parken veel dichter bij de Vlakte van Raan en de Voordelta zijn gelegen, zal dit ook gelden voor de Mermaid en Northwester 2 windparken.

Van de beschermde vissen - zeeprik, rivierprik en fint - in de Voordelta en de Vlakte van De Raan zijn geen kwantitatieve data bekend (Jak *et al.,* 2009). Alle in de Voordelta en de Vlakte van de Raan beschermde vissoorten zijn migrerende diadrome vissen. Voor zowel de Voordelta als de Vlakte van de Raan bestaan de instandhoudingsdoelstellingen uit het behoud van de omvang en de kwaliteit van het leefgebied voor uitbreiding van de populatie van deze vissen.

De instandhoudingdoelstellingen zullen door de constructie- en exploitatie van de windparken Mermaid en Northwester 2 niet aangetast worden. De belangrijkste beperkende factor in de ontwikkeling van deze beschermde vissoorten wordt bepaald door de kwaliteit en beschikbaarheid van zoetwaterhabitats en de moeilijke passeerbaarheid van sluizen (Jak *et al.*, 2009). Hier hebben windparken en hun constructie en exploitatie geen effect op (BMM, 2013).

7.5.1.2 Vogels en vleermuizen

De Voordelta is aangewezen habitat voor 30 niet broed-vogelsoorten, waaronder de zeevogels roodkeelduiker, kuifduiker, dwergmeeuw, grote stern en visdief. Voor deze soorten geldt de doelstelling: 'behoud omvang en kwaliteit van het leefgebied en behoud van de populatie'. De Voordelta is voor deze soorten vooral van belang als foerageergebied (voor dwergmeeuw is dit meer specifiek tijdens de trekperiode). De Voordelta heeft voor grote stern en visdief een belangrijke functie als foerageergebied van de broedkolonies in de aangrenzende Natura 2000-gebieden (zie Figuur 7-1) (BMM, 2013).

Tijdens de constructiefase zijn volgende effecten geïdentificeerd binnen de MER-analyse: verstoring door geluid en trillingen ten gevolge van het heien van palen, het kabelleggen en de toegenomen scheepvaart, en een verhoogde turbiditeit in de waterkolom door baggerwerken. De effecten blijken vooral soortspecifiek te zijn, waardoor de constructiefase voor verstoringsgevoelige soorten gepaard gaat met tijdelijk habitatverlies op Nederlands grondgebied (Christensen *et al.*, 2003; Petersen *et al.*, 2006).

Wat betreft de verstoring ten gevolge van het heien, is er, naast de verstoring van lokale en foeragerende vogels, ook een mogelijk negatief effect op vislarven, die het voedselaanbod voor visetende vogelsoorten uitmaken. In Nederland wordt aangenomen dat binnen een straal

van 1 km van de heilocatie alle vislarven gedood worden (Prins *et al.*, 2009). Dit is echter een worst case scenario en is waarschijnlijk overschat. Zo werden er geen significante effecten gevonden op de larvale stadia van tong in een laboratoriumopstelling waar heigeluid tot op een minimum van 100 m werd nagebootst (Bolle *et al.*, 2013, BMM, 2013). Ook uit in situ experimenten blijkt dat de larven van zeebaars geen directe of uitgestelde mortaliteit noch macroscopische effecten aan hun skelet vertonen tot 14 dagen na blootstelling aan het geluid door heiactiviteiten (op 45 m afstand van de geluidsbron) (Debusschere *et al*., 2013a, 2013b). Er werd wel een verminderde respiratie geregistreerd ten opzichte van de controlegroep, wat tevens een stress indicatie is. Heiactiviteiten veroorzaken dus geluidsdrukniveaus onder de letale, maar boven de stress geluidsdrempel voor jonge zeebaars (Debusschere *et al.*, 2014). Momenteel is er ook weinig geweten over de positie van kraamgebieden van vissen in deze regio. Indien heien significant negatief is voor vislarven dan kan dit een verminderd voedselaanbod betekenen voor visetende vogelsoorten na het heien en dus zorgen voor een verminderde kwaliteit van het foerageergebied (BMM, 2013).

De turbiditeitspluimen die ontstaan bij de creatie van de funderingsputten overschrijden de natuurlijke achtergrondconcentraties tot maximum 500 m over de Nederlandse grens in het worst-case scenario wanneer gebaggerd en gedumpt wordt aan de NE concessiegrens. Bij gelijktijdig baggeren en dumpen in Mermaid en Northwester 2 op locaties aan de oostelijke concessiegrens, in het verlengde van elkaar volgens de dominante vloedstroming, overschrijdt de cumulatieve pluim de Belgisch-Nederlandse grens nauwelijks.

Wat de effecten tijdens de operationele fase betreft, kunnen er enerzijds directe gevolgen optreden door aanvaringen van vogels met de turbines, en anderzijds indirecte gevolgen door fysische wijzigingen van het habitat. Recente resultaten van Vanermen *et al.* (2013b) suggereren dat het windpark op de Blighbank een aantrekkende werking heeft op stormmeeuwen en kleine mantelmeeuwen. Camphuyzen (2011) toonde aan dat de Nederlandse windparken erg aantrekkelijk zijn als rustgebieden voor verschillende meeuwensoorten, waaronder kleine mantelmeeuwen. In het Nederlandse OWEZ park werd vastgesteld dat er een aantrekkend effect is op aalscholvers. Die gebruiken de structuren in het windpark als uitvalsbasis om te foerageren (Leopold *et al.,* 2009). Hoewel deze bevindingen positief zijn in het licht van habitatverlies, zorgt een verhoogde activiteit van deze soorten in het windpark voor een hoger aanvaringsrisico (Vanermen *et al.*, 2013b). Rekening houdend met deze foerageerafstanden is het niet ondenkbaar dat meeuwen, sternen en aalscholvers vanuit de vogelrichtlijngebieden SBZ-V3 Zeebrugge (BE), Voordelta (NL), Westerschelde – Saeftinghe (NL), Oosterschelde (NL) en Grevelingen (NL) tot in de projectlocatie komen om te foerageren (BMM, 2011b). Van deze soorten zal kleine mantelmeeuw het gevoeligst zijn voor aanvaringen doordat ze vaak op rotorhoogte vliegen (22% van de vogels waargenomen op rotorhoogte op de Thorntonbank; Vanermen *et al.,* 2013a) en doordat ze groot en weinig wendbaar zijn (BMM, 2011b). De aanvaringskans voor sternen wordt laag ingeschat (Vanermen *et al.*, 2009).

Het is hier ook van belang om de mogelijke aanvaringen van vleermuizen met turbines te vermelden, aangezien de vaststellingen in Nederland doen vermoeden dat vleermuizen ook in de windparken in het BDNZ voorkomen. Van windturbines op land is reeds enige tijd geweten dat ze ernstige schade kunnen veroorzaken aan lokale vleermuizenpopulaties. Ahlèn *et al*. (2009) maken ook melding van vleermuizen die foerageren rond de wieken van offshore windturbines. Deze waarnemingen leiden tot bezorgdheid omtrent het in aanvaring komen van vleermuizen met de turbines, wat zorgt voor additionele mortaliteit in de populaties. Meer

onderzoek is dan ook aangewezen om na te gaan of vleermuizen ook ter hoogte van de windparken in het BDNZ voorkomen.

7.5.1.3 Zeezoogdieren

De dichtstbijzijnde zeehondenkolonies bevinden zich in de Voordelta op meer dan 60 km van de Mermaid en Northwester 2 projecten (Geoloket Provincie Zeeland, 2014). In de Voordelta heeft men de laatste jaren een toename in aantallen grijze zeehonden waargenomen. Het is niet duidelijk of het huidige leefgebied geschikt genoeg is voor een duurzame populatie als er geen immigratie meer zou optreden. De gewone zeehond heeft in het Deltagebied een te laag geboortecijfer waardoor de populatie zich niet in stand kan houden. Er wordt gestreefd naar een populatie van tenminste 200 exemplaren in zuidwest Nederland, waarbij de Voordelta de grootste bijdrage levert. Hiertoe zal in het Voordelta gebied het areaal rustig gebied moeten toenemen waardoor het gebied meer geschikt wordt voor voortplanting (BMM, 2013).

De aantallen zeehonden in de kolonies in de Voordelta en de Westerschelde leken in 2011 niet lager dan de jaren daarvoor, hoewel vanaf 7 april tot bijna de hele maand augustus 2011 palen geheid werden voor funderingen voor een windpark op de Thorntonbank (C-Power fase 2 en 3). De diameter van de geheide palen was relatief beperkt (1,7 m), en de geluidsemissie onder water tijdens het heien was lager dan vastgesteld bij palen met een grotere diameter. Er werd geen hogere sterfte waargenomen onder zeehonden tijdens de heiwerkzaamheden en er werden een aantal pups geboren zowel in de Voordelta als in de Westerschelde (BMM, 2013). De propagatie van het geluid tot de Westerschelde – Saeftinghe of de Oosterschelde werd niet onderzocht, maar wordt als niet relevant beschouwd, gezien de grote afstand. Er wordt vastgesteld dat veel van de zeehonden die zich dicht bij de kust en in de Westerschelde ophouden aan relatief hoge geluidsniveaus blootgesteld worden door scheepvaart; vooral de Westerschelde is een druk bevaren gebied, en het is niet gekend in welke mate de zeehonden die daar verblijven daar hinder van ondervinden (BMM, 2013).

De mogelijke effecten van de constructie en exploitatie van de Mermaid en Northwester 2 parken op de bruinvis zijn in de Nederlandse Natura 2000 gebieden gelijkaardig als in Belgische wateren. Door de grote afstand zal de verstoring door het heien tijdens de constructiefase zeer beperkt zijn voor bruinvissen die zich in het gebied van de Vlakte van de Raan of de Voordelta bevinden. Mogelijk zouden er wel indirecte gevolgen kunnen zijn ten gevolge van het heien zoals een tijdelijke verhoging van densiteiten door een toevloed van dieren die de zone van verstoring ontvluchten. Er wordt bijgevolg verwacht dat de eventuele verstoring tijdelijk zal zijn, en dat een volledig herstel zal optreden (BMM, 2013).

7.5.1.4 Besluit grensoverschrijdende effecten op fauna en flora in Nederland

De effecten op benthos, vissen, vogels, vleermuizen en zeezoogdieren in Nederlandse Natura 2000 gebieden worden als aanvaardbaar geacht omwille van volgende redenen:

- De verstoring is tijdelijk en lokaal;
- De grote afstand tot zeehondenkolonies in de Nederlandse Delta;
- Het uitgebreide foerageergebied van zeehonden en vogels;
- Het ruime verspreidingsgebied van bruinvissen.

7.5.2 Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk

De Franse en Britse NATURA 2000 gebieden Bancs des Flandres en Outer Thames Estuary liggen te ver van de projectgebieden om enig effect te verwachten op benthos en vissen. Ook voor zeezoogdieren worden er geen directe impact verwacht. Eventueel kunnen er, net zoals voor de Nederlandse Natura 2000 gebieden indirecte gevolgen zijn door een tijdelijke verhoging van densiteiten door een toevloed van dieren die de zone van verstoring ontvluchten.

Wat vogels betreft, kunnen er barrière-effecten optreden voor migrerende vogels. Van enkele soorten is gekend dat ze windparken zullen vermijden, waardoor de migrerende vogels een langere weg moeten afleggen, wat zorgt voor een verhoogde energieconsumptie. De Zuidelijke Noordzee vormt een zeer belangrijke corridor voor ca. 1 – 1,3 miljoen migrerende zeevogels en niet-zeevogels (Vanermen *et al.*, 2006; Stienen *et al.*, 2007). Op zich zullen Mermaid en Northwester 2 een verwaarloosbaar effect hebben op het barrière-effect en het aanvaringsrisico, maar als het BDNZ en de omringende landen in de Noordzee wordt bekeken, zou er zich een enorme barrière kunnen vormen door de aanwezigheid van offshore windparken. Voor de bespreking van deze effecten wordt verwezen naar § 6.3.5.3.2 “Cumulatieve effecten”.

7.6 RISICO’S EN VEILIGHEID

7.6.1 Scheepvaart

Vanaf de constructiefase van de Mermaid en Northwester 2 windparken zullen de gebieden niet langer toegankelijk zijn voor scheepsverkeer. Omdat de parken aan de rand van het BDNZ liggen, beperken de scheepsroutewijzigingen en verhoogde scheepsdensiteiten zich niet alleen tot de Belgische Noordzee. Ook op het Nederlandse en Britse deel zullen enkele routes verschuiven waardoor de afgelegde scheepsmijlen, kosten en CO_2 uitstoot zullen toenemen.

Het economisch effect komt tot uitdrukking in het aantal toegenomen afgelegde zeemijlen door omvaren rond de windconcessies. Op het BDNZ resulteert dit in een afname in zeemijlen ten opzicht van het basisscenario met alle andere windparken gerealiseerd (Belwind, SeaStar, Northwind, Rentel, C-Power en Norther) (MARIN-IMDC, 2014 in bijlage). Dit komt onder andere doordat gas tankers en cargo schepen minder tijd doorbrengen op het Belgisch deel, ondanks dat passagiersschepen en ferries meer tijd doorbrengen op het BDNZ door het omvaren rond Mermaid en Northwester 2. In het omliggende Noordzeegebied echter, resulteert het omvaren in een toename van 0,09% van de kosten van de afgelegde zeemijlen. Wat neerkomt op een economisch effect van ongeveer 345.000 euro/jaar.

Door de bijkomende scheepvaart zal ook de emissie van broeikasgassen toenemen in het omliggende Noordzeegebied. De toename aan CO_2 uitstoot door omvaren is echter beperkt tot 0,18% of ca. 4 kton/jaar en 0,08% voor NO_x en SO_2 ten opzichte van het basisscenario. Op het BDNZ wordt er een kleine afname verwacht (minder dan 0,03%).

Op het BDNZ neemt het aantal schepen betrokken bij een ongeval af. Door sluiten van Mermaid en Northwester 2 zullen verschillende kruisende routes meer gebundeld worden waardoor er minder kruisingen zijn en meer inhaalbewegingen wat de veiligheid verhoogt. Het

aantal ongevallen neemt af met 0,03% ten opzichte van het basisscenario. Inclusief het omliggende deel van de Noordzee zal het aantal ongevallen evenwel licht toenemen met 0,04% of 0,0063 per jaar (ten opzichte van het basisscenerio). De kans op aanvaring neemt wel exponentieel toe met de scheepsintensiteit. Het cumulatieve effect van de bouw van de windparken, waardoor de densiteit in de vaarroutes rondom steeds verder toeneemt, zal dus groter zijn dan de som van de effecten van elk park afzonderlijk.

De kans op aanvaring van windturbines door routegebonden en niet-routegebonden schepen is voor het Northwester 2 windpark iets lager (eens in de 31 jaar voor het worst-case scenario met 70 windturbines) dan voor het Mermaid park (eens in de 21 jaar voor het worst-case scenario met 80 windturbines) (MARIN-IMDC, 2014). Dit is ook lager dan de aanvaarkansen van de parken die voorheen aan de NW en ZO uiteindes van de Belgische windparkzone gelegen waren (eens in de 18 jaar voor Belwind en eens in de 14 jaar voor Norther) (MARIN, 2013 op basis van scheepsverkeer 2012). Dit omdat door het omvaren rond Mermaid en Northwester 2 de routes meer gebundeld zijn dan voorheen door de beperktere ruimte tussen de parken en het Verkeersscheidingsstelsel Noordhinder. De totale aanvaar- en aandrijfkans van het Mermaid windpark is 19,4% van de totale aanvaar- en aandrijfkans van alle windparken in het worst-case scenario met 80 turbines, voor Northwester 2 is dit 13,2% (bij 70 turbines). In de basisconfiguraties met resp. 38 and 35 turbines is het aandeel van de respectievelijke windparken Mermaid en Northwester 2 sterk gelijkaardig aan dat van de ander parken, met name zo'n 8-10% (uitgezonderd Norther dat een deel van 30% vertegenwoordigt). De totale aanvarings- en aandrijfkans tengevolge van alle parken samen wordt geschat als eens om de 5 jaar (MARIN-IMDC, 2014).

De kans op uitstroom van bunkerolie en ladingolie op het BDNZ (zonder windparken) neemt als gevolg van het risico op aanvaring met een turbine van het Mermaid windpark onder worst-case scenario met 80 turbines toe met 4,8%, voor Northwester 2 is dit met 3,6%. Ter vergelijking, voor het Norther windpark was dit 7,4% toename (MARIN, 2011b). In het basisscenario neemt de kans op uitstroom van bunkerolie en ladingolie toe met resp. 2,4% en 1,9% voor Mermaid en Northwester 2.

De gemodelleerde uitstroom van olie is een 'worst case' benadering. Doordat het percentage tankers met een dubbele wand toeneemt, zal de kans op een uitstroom van olie na een aandrijving met een windturbine afnemen.

In de milieueffectenbeoordeling van SeaStar (BMM, 2013) werden olielozingen gesimuleerd in het SeaStar park met het 'Oil Spill drift model' van Dulière en Legrand (2011). Uit de gevoerde simulaties kan worden besloten dat tijdens kalme weerscondities (geen wind) de olievlek oscilleert tussen de Belgische en Nederlandse wateren met het ritme van de getijden. De olievlek zou in dit scenario geen van de Nederlandse beschermde gebieden beïnvloeden. Tijdens zwaardere weerscondities (wind van 17 m/s) is de oliedrift vooral afhankelijk van de windsnelheid en –richting. De olie kan de Nederlandse zone bereiken in minder dan 3u en de Franse zone ongeveer 9u na lozing. Er is dus een relatief korte tijd om tussenbeide te komen in het geval van een olielozing.

Vooral de avifauna, en mogelijks ook zeezoogdieren, zullen de belangrijkste korte termijn effecten ondervinden door olieverontreiniging. De impact van een lozing op het vogelbestand is enerzijds een functie van de aanwezige soorten, hun densiteit en kwetsbaarheid en anderzijds van de vervuilde oppervlakte. Naast de directe slachtoffers die een ramp veroorzaakt, zijn er ook mogelijks negatieve gevolgen voor de populatie op langere termijn

(langdurig effect). Het is echter niet altijd eenvoudig het effect van een singuliere ramp (in plaats en tijd) te onderscheiden binnen de natuurlijke fluctuaties in een populatie.

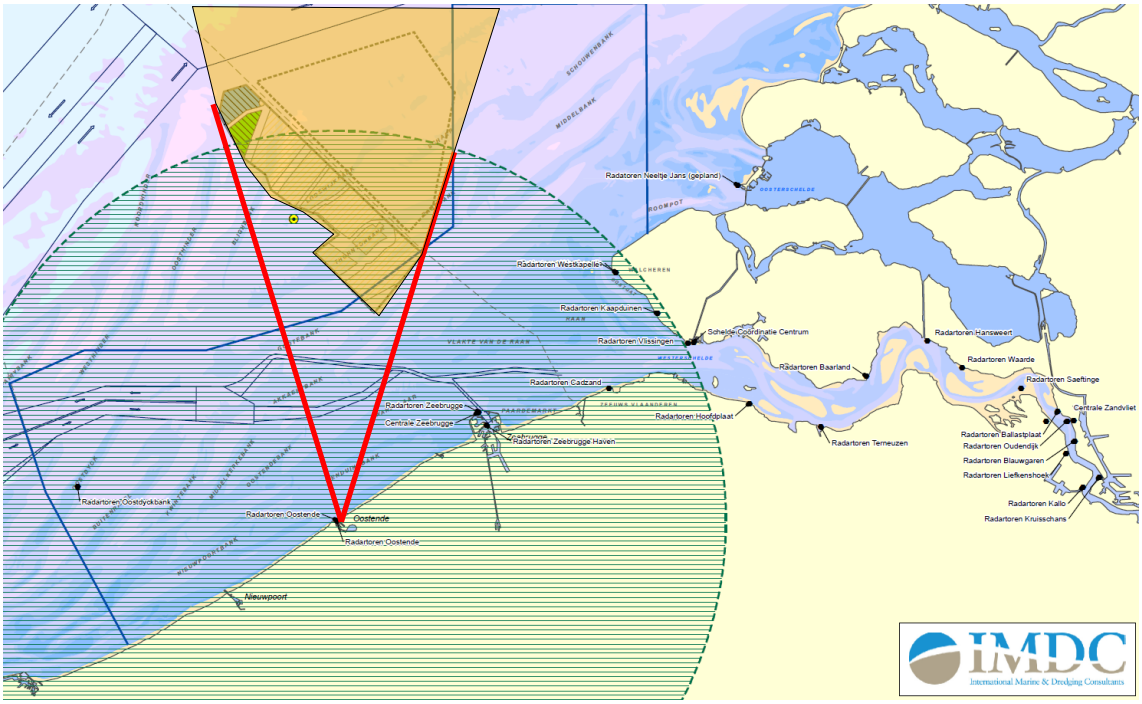
Bij bovenstaande besluiten moet rekening gehouden worden met het feit dat dergelijke effecten sterk afhankelijk zijn van de lokale en tijdelijke geografische, fysische, chemische omstandigheden en weersomstandigheden tijdens het singuliere event waardoor de olieverontreiniging beïnvloed kan worden. De cumulatieve effecten van verontreiniging bij de aanwezigheid van meerdere windparken zal mogelijks groter zijn dan de som van de effecten van elk park afzonderlijk. Door de toename van aantal windturbines bij elk nieuw park, zal dit het indammen bemoeilijken omdat de bestrijdingsschepen veel omzichtiger moeten manoeuvreren.

7.6.2 Radar en scheepscommunicatie

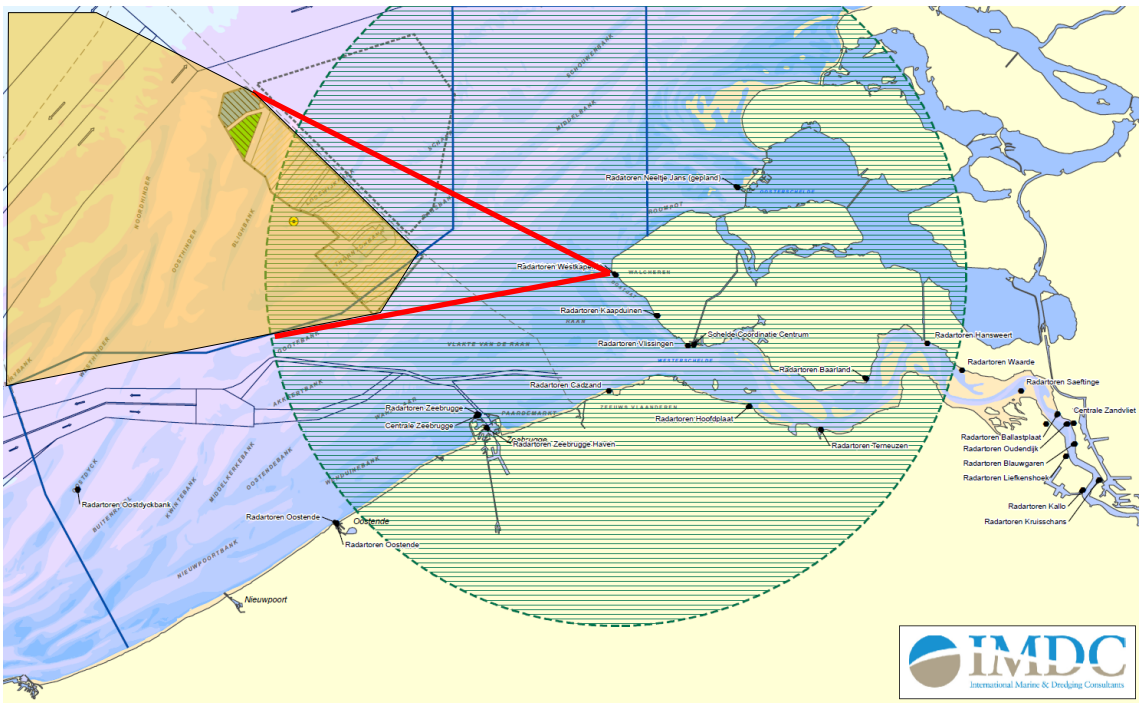
In het kader van voorliggend MER werd een radarstudie uitgevoerd, specifiek naar de situatie van Mermaid (met turbines en WEC's) en Northwester 2 (enkel windturbines). Het rapport is bijgevoegd als externe bijlage (Flemtek-IMDC, 2014).

Er dient a priori opgemerkt te worden dat los van een invulling van het Belgische concessiegebied, het meest noordelijke deel op Nederlands grondgebied van het SRK werkingsgebied op dit moment niet optimaal afgedekt wordt. Dit wordt in de nabije toekomst verholpen door de inplanting van een extra radarstation "SRK Noord", dat op korte termijn (2015-2016) een optimale radardekking zal garanderen.

Uit de analyses en simulaties blijkt dat achter de offshore windparken er een radarblinde en radioblinde zone zal ontstaan voor de SRK radar installaties (Flemtek-IMDC, 2014). Dit betekent concreet dat voor de radars van Oostende en Zeebrugge een gedeelte ten oosten van het Belgische concessiegebied (t.h.v. Borssele aangewezen windenergiegebied, Figuur 7-2) en voor de radars van Cadzand en Westkapelle (Figuur 7-3) een gedeelte ten westen van het Belgische concessiegebied, niet meer zichtbaar zal zijn. Dit zal geen gevolg hebben op de goede werking van de SRK radarketen, omdat de Vlaamse en Nederlandse radarstations elkaar aanvullen en het wettelijke SRK bereik (blauwe polygoon) (als een gemeenschappelijke-integrale werking tussen Nederland en België) in ieder geval gedekt blijft, uitgezonderd ter hoogte van het meest kustnabije deel van het Norther gebied.



Figuur 7-2 Schaduweffecten voor de radar van Oostende (LoS zone 20 m hoogte) door totaal concessiegebied

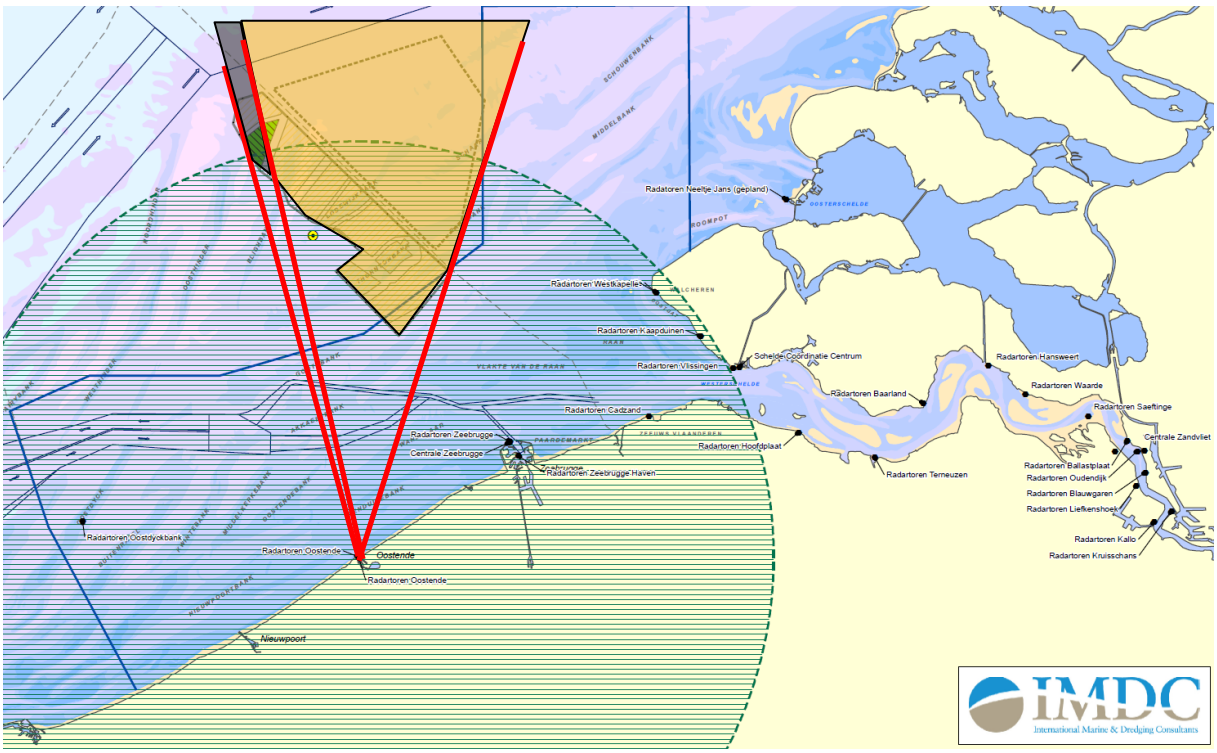


Figuur 7-3 Schaduweffecten voor de radar van Westkapelle (LoS zone 20 m hoogte) door totaal concessiegebied

De meer landwaarts gelegen offshore projecten van Belwind, SeaStar, Rentel, Northwind, C-Power en Norther vormen de dominante elementen bij de verminderde reikwijdte en het ontstaan van mogelijk blinde radarzones voor de radarstations.

De projecten van Mermaid en Northwester 2 hebben daarop weinig invloed, want Mermaid ligt reeds volledig en Northwester 2 grotendeels (uitgezonderd voor Oostende) in de radarblinde zones tengevolge van de meer landwaarts gelegen windparken.

Figuur *7-2* toont het schaduweffect door de voorliggende parken voor de radar van Oostende (oranje deel) en het bijkomend effect van Northwester 2 op Mermaid en het achterliggende, deels grensoverschrijdend gebied (grijze zone). Er is geen bijkomend effect van Mermaid voor de radar van Oostende op het achterliggende gebied omdat Mermaid reeds volledig in de schaduwzone van Northwester 2 ligt. Voor alle andere radarstations liggen Mermaid en Northwester 2 in de schaduw van de voorliggende parken.



Figuur 7-4 Schaduweffecten op Northwester 2 voor de radar van Oostende (LoS zone 20 m hoogte) door voorliggende parken (oranje), met het bijkomend effect door Northwester 2 op Mermaid
(grijze zone)

Algemeen kan gesteld worden dat er zich geen wezenlijke verandering zal voordoen voor wat de radar- en radio-opvolging van de scheepvaarttrafiek betreft bij een realisatie van de offshore windparken binnen het afgebakende Belgische concessiegebied, en dit zowel vanuit de Vlaamse als de Nederlandse SRK radarstations. Het gemeenschappelijk beleid zorgt hier voor een optimale dekking. Wel dient opgemerkt te worden dat de secundaire navigatieroutes zullen wijzigen, en dat deze wijziging de nodige aandacht verdient in verband met de veiligheid van de scheepvaarttrafiek op deze gewijzigde routes, waarbij de radio communicatie doorheen de windparken tussen schip en schip quasi onmogelijk zal zijn.

Met betrekking tot de operationele werking van de scheepsradar zullen er zich geen wezenlijke veranderingen voordoen voor wat de opvolging van de scheepvaarttrafiek betreft bij een volledige realisatie van alle offshore windparken binnen het afgebakende

concessiegebied op het BDNZ. De meeste fenomenen betreffende foutieve beeldvorming bij de scheepsradar zijn al goed gekend bij de schippers en operatoren.

Zo is de foutieve beeldvorming wanneer zich een voldoende groot object (in casu ander schip) in de nabijheid van de eigen scheepsradar bevindt een gekend fenomeen. De radaroperatoren aan boord zijn dan ook met deze verschijnselen voldoende vertrouwd. Enkel voor de opvolging van het scheepvaartverkeer in een windpark, of voor de opvolging vanuit een windpark dient de opmerking gemaakt dat er zich direct achter windturbines lokaal dode zones kunnen voordoen, maar dat tussenin de transparantie voldoende gegarandeerd is.

8. SYNTHESE EN CONCLUSIES

8.1 CONFIGURATIES WINDPARKEN

8.1.1 Mermaid

8.1.1.1 Windturbines

Doorheen het MER voor de ontwikkeling (inclusief de voorbereidende en begeleidende in situ surveys), de bouw en de exploitatie van het windpark Mermaid – met inbegrip van de elektrische transportinfrastructuur – werden de effecten besproken voor zowel de basisconfiguratie als drie configuratiealternatieven (Tabel 8-1).

Het gezamenlijk geïnstalleerd vermogen voor het windpark varieert tussen 224 MW en 320 MW in de beschouwde van concessiezone en inplanting. Het park zal jaarlijks een opbrengst van ca. 900 GWh tot 1.200 GWh genereren.

Tabel 8-1 Weerhouden combinaties van configuratie en type fundering (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering)

Omhullend scenario met typevoorbeeld configuratie	Aantal turbines	Rotordiameter	Individueel vermogen	Totaal geïnstalleerd vermogen	Funderingstype	Erosiebescherming
Basisconfiguratie	57-32 38	120-155 m 150 m	4-7 MW 6 MW	228-224 MW 228 MW	Monopile	Ja: Statisch/dynamisch
					Jacket	dynamisch
					GBF	ja
					Suction bucket	Idem MP en JF
Configuratie 1	80-64 80	110-130 m 112 m	3-5MW 3,3 MW	240-320 MW 264 MW	Monopile	Ja: Statisch/dynamisch
					Jacket	dynamisch
					Suction bucket	Idem MP en JF
Configuratie 2	61-38 38	150-180 m 164 m	5-8 MW 8 MW	305-304 MW 304 MW	Jacket	optioneel
					GBF	ja
					Suction bucket	Idem MP en JF
Configuratie 3	29-24 24	165-190 m 190 m	8-10 MW 10 MW	232-240 MW 240 MW	Jacket	dynamisch
					GBF	ja
					Suction bucket	Idem MP en JF

8.1.1.2 WEC's

Naast windenergie worden er in het Mermaid windpark ook voor 20 tot 61 MW aan golfenergieconvertoren (WEC's) geplaatst in de vrije ruimte tussen de windturbines. Deze vrije ruimte wordt omgeven door een corridor van 2 x 75 m rond de WTG-funderingen die fungeert als toegangskanaal ten behoeve van onderhoudswerkzaamheden en controle. In de WTG basisconfiguratie (38 x 6 MW) is hiertoe een basisveld van 750 x 450 m als vrije zone voor WEC's ingetekend. Binnen dit basisveld wordt dan – in functie van het respectievelijke WEC-

systeem- getracht een dusdanige configuratie in te tekenen zodat per basisveld een streefwaarde van 5 MW aan geïnstalleerd vermogen wordt gehaald.

De maturiteit van de actueel voorliggende WEC-systemen is absoluut niet zo ver ontwikkeld als de technologie rond windturbines en hun fundering. Doordat de technologie van de WEC's relatief nieuw is en er nog onvoldoende onderzoek is gebeurd naar de efficiëntie, de rendabiliteit en de milieueffecten, is het aangewezen dat er in het Mermaid park eerst een testfase wordt uitgevoerd.

In kader van dit MER worden vandaag, op basis van de beschikbare gegevens en kennis terzake, enkele mogelijke typevoorbeelden geselecteerd als meest haalbaar op het BDNZ die zouden kunnen worden ingezet in het Mermaid park. Bovendien werd er getracht om de typevoorbeelden zo te selecteren dat ze qua te verwachten milieu-impact de worst case scenario's omvatten.

Tabel 8-2 Overzicht van de kenmerken van de 6 WEC-typevoorbeelden

	Wavestar	Poseidon	Weptos	FlanSea	Seabased	Lifesaver
						
Fabrikant	Wave Star Energy	Floating Power Plant	Weptos SA	UGent + 6 partners	Seabased AB	BOLT technology Fred Olsen
WEC-type	C6	P60	WEPTOS WEC	Wave Pioneer	Seabased	Lifesaver (5 PTO's)
Model/versie	Multipoint absorber (float arm)	Multipoint absorber	Multipoint absorber (salter duck)	Single point absorber	Single point absorber	Single point absorber
Dimensies	80 x 20 m + 20 floats ϕ 6 m	60 x 60 m	2 angled legs ≈ 70 m	ϕ 8 m	ϕ 6 m	ϕ 16 m toroidal
Verankering	4 monopiles (jackup legs)	Turret mooring – 3 mooring Lines – plow anchors	3 mooring lines – central anchor – survival lines	Single mooring line – concrete anchor blocks (or piles) – 3 survival lines	Concrete gravity mounting plate	5 individual mooring lines/anchors – 3 survival lines
Drift	N/A	15 m	25 m	10 m	10 m	25 m
Tussen-afstand	Wake effect	150 m (drift cirkel)	190 m (drift cirkel)	>80 m (≈ 10 x ϕ)	>60 m (≈ 10 x ϕ)	66 m (drift cirkel)
Device rated power	800 kW	600 kW	350 kW	80 kW	30 kW	400 kW
Aantal per basisveld (750 x 450 m)	7	9	8	60	160	13
Total rated power	5,6 MW	5,4 MW	2,8 MW	4,8 MW	4,8 MW	5,2 MW

8.1.2 Northwester 2

Ook voor Northwester 2 (Northwester 2) werden de effecten besproken voor zowel de basisconfiguratie als drie configuratiealternatieven (Tabel 8-3) voor de ontwikkeling (inclusief de voorbereidende en begeleidende in situ surveys), de bouw en de exploitatie– met inbegrip van de elektrische transportinfrastructuur. Er zijn geen WEC's voorzien in het Northwester 2 concessiezone.

Het gezamenlijk geïnstalleerd vermogen voor het windpark varieert tussen het minimale 210 MW uit de initiële concessie en de maximale 296 MW in de beschouwde potentiële

uitbreiding van concessiezone en inplanting. Het park zal jaarlijks een opbrengst van ca. 850 GWh tot 1.100 GWh genereren.

Tabel 8-3 Weerhouden combinaties van configuratie en type fundering voor het Northwester 2 windpark (MP: monopile, JF: jacket fundering, GBF: gravitaire fundering)

Omhullend scenario met typevoorbeeld configuratie	Aantal turbines	Rotor diameter	Individueel vermogen	Totaal geïnstalleerd vermogen	Funderingstype	Erosiebescherming
Basisconfiguratie	53-30 35	120-155 m 150 m	6 MW	212-210 MW 210 MW	Monopile	Ja: Statisch/dynamisch
					Jacket	dynamisch
					GBF	ja
					Suction bucket	Idem MP en JF
Configuratie 1	70-56 70 (67+3*)	110-130 m 112 m	3-5 MW 3,3 MW	210-280 MW 231 MW	Monopile	Ja: Statisch/dynamisch
					Jacket	dynamisch
					Suction bucket	Idem MP en JF
Configuratie 2	59-37 37 (28+9*)	150-180 m 164 m	5-8 MW 8 MW	295-296 MW 296 MW	Jacket	dynamisch
					GBF	ja
					Suction bucket	Idem MP en JF
Configuratie 3	27-22 22	165-190 m 190 m	8-10 MW 10 MW	216-220 MW 220 MW	Jacket	dynamisch
					GBF	ja
					Suction bucket	Idem MP en JF

*in de uitbreiding van Northwester 2 zone

8.2 INGREEP-EFFECTRELATIES

In dit MER werden de geassocieerde milieueffecten van beide windparken geïdentificeerd en geëvalueerd op basis van de projectbeschrijving, de beschikbare literatuur en door overleg met de belanghebbende partijen. Hierbij werd telkens een onderscheid gemaakt tussen de constructie-, operationele en ontmantelingsfase van de projecten (inclusief de in situ surveys), alsook de elektrische bekabelingsinfrastructuur. Om de significantie van een impact te bepalen, werd rekening gehouden met de grootteorde, de omvang of reikwijdte en de duur (tijdelijk of permanent karakter). De beschreven effecten worden in de vorm van een relatieve plusmin-beoordeling weergegeven (Tabel 8-4). Positieve effecten duiden op een verhoging, ondersteuning of versterking van de betrokken (natuurlijke of gewenste) eigenschap van het milieu, een negatieve beoordeling wijst op het verdwijnen, een verlaging of een aantasting van een bepaalde (natuurlijke of gewenste) eigenschap.

Tabel 8-4 Gehanteerde definities voor de beschrijving en beoordeling van de milieueffecten

Symbool	Effect niveau	Beschrijving	Beoordeling milieu/organismen
++	Significant positief	Meetbaar positieve verbetering in de kwaliteit van de milieuomstandigheden op grote schaal (BDNZ). Tijdelijk of permanent karakter.	Zeer positief
+	Matig positief	Meetbaar positieve verbetering in de kwaliteit van de milieuomstandigheden op beperkte schaal (projectgebied). Tijdelijk of permanent karakter.	Positief
0/+	Gering positief	Meetbaar kleine positieve verbetering in de kwaliteit van de milieuomstandigheden op beperkte schaal (projectgebied). Tijdelijk karakter.	Neutraal
0	Geen	Onmeetbaar effect of niet relevant.	Geen
0/-	Gering negatief	Meetbaar kleine negatieve modificatie op de kwaliteit van de milieuomstandigheden op beperkte schaal (projectgebied). Tijdelijk karakter.	Verwaarloosbaar
-	Matig negatief	Meetbaar negatieve modificatie op de kwaliteit van de milieuomstandigheden op beperkte schaal (projectgebied). Tijdelijk of permanent karakter.	Aanvaardbaar
--	Significant negatief	Meetbaar negatieve modificatie op de kwaliteit van de milieuomstandigheden op grote schaal (BDNZ). Tijdelijk of permanent karakter.	Onaanvaardbaar

8.3 VERWACHTE EFFECTEN

8.3.1 Mermaid

Volgende tabellen geven een overzicht van de verwachte effecten tijdens de constructie- (**Tabel 8-5**), operationele (**Tabel 8-6**) en ontmantelingsfase (Tabel 8-7), de WEC's (**Tabel 8-8**) alsook de bekabeling (**Tabel 8-9**).

Tabel 8-5 Overzicht van de ingreep-effecten voor de verschillende disciplines tijdens de constructiefase

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	MP	JF	GBF	MP	JF	JF	GBF	JF	GBF
ABIOTISCHE OMGEVING									
Effecten op de bodem	0/-	0/-	-	0/-	0/-	0/-	-	0/-	-
Effecten op het water	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op het klimaat	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op de atmosfeer	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op geluid en trillingen	-	0/-	0/-	-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op zeezicht	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op cultureel erfgoed	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BIOTISCHE OMGEVING									
Effecten op benthos	0/-	0/-	-	0/-	0/-	0/-	-	0/-	-
Effecten op vissen	-	-	0/-	-	-	-	0/-	-	0/-
Effecten op vogels	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op zeezoogdieren	-	-	0/-	-	-	-	0/-	-	0/-
Effecten op fauna van harde substraten	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
MENSELIJKE ACTIVITEITEN									
Effecten op visserij	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op maricultuur	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op militaire activiteiten	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op kabels en pijpleidingen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op zand- en grindontginning	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op andere windparken	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op wetenschappelijk onderzoek	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Effecten op toerisme en recreatie	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
VEILIGHEID									
Effecten op radar en scheepscommunicatie	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op hinder voor luchtverkeer	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 8-6 Overzicht van de ingreep-effecten voor de verschillende disciplines tijdens de operationele fase

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	MP	JF	GBF	MP	JF	JF	GBF	JF	GBF
ABIOTISCHE OMGEVING									
Effecten op de bodem	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op het water	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op het klimaat	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op de atmosfeer	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Effecten op geluid en trillingen	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op zeezicht	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op cultureel erfgoed	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BIOTISCHE OMGEVING									
Effecten op benthos	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op vissen	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
Effecten op vogels	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op zeezoogdieren	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
Effecten op fauna van harde substraten	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
MENSELIJKE ACTIVITEITEN									
Effecten op visserij	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
Effecten op maricultuur	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op militaire activiteiten	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op kabels en pijpleidingen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op zand- en grindontginning	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op andere windparken	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op wetenschappelijk onderzoek	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Effecten op toerisme en recreatie	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
VEILIGHEID									
Effecten op radar en scheepscommunicatie	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op hinder voor luchtverkeer	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 8-7 Overzicht van de ingreep-effecten voor de verschillende disciplines tijdens de ontmantelingsfase

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	MP	JF	GBF	MP	JF	JF	GBF	JF	GBF
ABIOTISCHE OMGEVING									
Effecten op de bodem	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op het water	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op het klimaat	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op de atmosfeer	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op geluid en trillingen	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op zeezicht	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op cultureel erfgoed	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BIOTISCHE OMGEVING									
Effecten op benthos	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op vissen	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op vogels	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op zeezoogdieren	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op fauna van harde substraten	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
MENSELIJKE ACTIVITEITEN									
Effecten op visserij	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op maricultuur	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op militaire activiteiten	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op kabels en pijpleidingen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op zand- en grindontginning	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op andere windparken	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op wetenschappelijk onderzoek	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op toerisme en recreatie	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VEILIGHEID									
Effecten op radar en scheepscommunicatie	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op hinder voor luchtverkeer	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 8-8 Overzicht van de ingreep-effecten voor de verschillende disciplines voor de WEC's

Configuratie	Wavestar	Seabased	Poseidon	Weptos	FlanSea	Lifesaver
ABIOTISCHE OMGEVING						
Effecten op de bodem	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op het water	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op het klimaat	0	0	0	0	0	0
Effecten op de atmosfeer	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
Effecten op geluid en trillingen	-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op zeezicht	0	0	0	0	0	0
Effecten op cultureel erfgoed	0	0	0	0	0	0
BIOTISCHE OMGEVING						
Effecten op benthos	0	0/-	0	0	0/-	0
Effecten op vissen	-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op vogels	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op zeezoogdieren	-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op fauna van harde substraten	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
MENSELIJKE ACTIVITEITEN						
Effecten op visserij	0	0	0	0	0	0
Effecten op maricultuur	0	0	0	0	0	0
Effecten op militaire activiteiten	0	0	0	0	0	0
Effecten op kabels en pijpleidingen	0	0	0	0	0	0
Effecten op zand- en grindontginning	0	0	0	0	0	0
Effecten op andere windparken	0	0	0	0	0	0
Effecten op wetenschappelijk onderzoek	+	+	+	+	+	+
Effecten op toerisme en recreatie	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
VEILIGHEID						
Effecten op radar en scheepscommunicatie	0	0	0	0	0	0
Effecten op hinder voor luchtverkeer	0	0	0	0	0	0

Tabel 8-9 Overzicht van de ingreep-effecten voor de verschillende disciplines voor de bekabeling

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	MP	JF	GBF	MP	JF	JF	GBF	JF	GBF
ABIOTISCHE OMGEVING									
Effecten op de bodem	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op het water	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op het klimaat	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op de atmosfeer	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op geluid en trillingen	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op zeezicht	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op cultureel erfgoed	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BIOTISCHE OMGEVING									
Effecten op benthos	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op vissen	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op vogels	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op zeezoogdieren	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op fauna van harde substraten	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
MENSELIJKE ACTIVITEITEN									
Effecten op visserij	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op maricultuur	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op militaire activiteiten	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op kabels en pijpleidingen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op zand- en grindontginning	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op andere windparken	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op wetenschappelijk onderzoek	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op toerisme en recreatie	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VEILIGHEID									
Effecten op radar en scheepscommunicatie	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op hinder voor luchtverkeer	0	0	0	0	0	0	0	0	0

8.3.2 Northwester 2

Volgende tabellen geven een overzicht van de verwachte effecten tijdens de constructie- (Tabel 8-10), operationele (Tabel 8-11) en ontmantelingsfase (Tabel 8-12), alsook de bekabeling (Tabel 8-13).

Tabel 8-10 Overzicht van de ingreep-effecten voor de verschillende disciplines tijdens de constructiefase

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	MP	JF	GBF	MP	JF	JF	GBF	JF	GBF
ABIOTISCHE OMGEVING									
Effecten op de bodem	0/-	0/-	-	0/-	0/-	0/-	-	0/-	-
Effecten op het water	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op het klimaat	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op de atmosfeer	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op geluid en trillingen	-	0/-	0/-	-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op zeezicht	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op cultureel erfgoed	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BIOTISCHE OMGEVING									
Effecten op benthos	0/-	0/-	-	0/-	0/-	0/-	-	0/-	-
Effecten op vissen	-	-	0/-	-	-	-	0/-	-	0/-
Effecten op vogels	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op zeezoogdieren	-	-	0/-	-	-	-	0/-	-	0/-
Effecten op fauna van harde substraten	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
MENSELIJKE ACTIVITEITEN									
Effecten op visserij	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op maricultuur	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op militaire activiteiten	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op kabels en pijpleidingen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op zand- en grindontginning	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op andere windparken	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op wetenschappelijk onderzoek	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Effecten op toerisme en recreatie	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
VEILIGHEID									
Effecten op radar en scheepscommunicatie	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op hinder voor luchtverkeer	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 8-11 Overzicht van de ingreep-effecten voor de verschillende disciplines tijdens de operationele fase

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	MP	JF	GBF	MP	JF	JF	GBF	JF	GBF
ABIOTISCHE OMGEVING									
Effecten op de bodem	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op het water	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op het klimaat	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op de atmosfeer	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Effecten op geluid en trillingen	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op zeezicht	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op cultureel erfgoed	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BIOTISCHE OMGEVING									
Effecten op benthos	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op vissen	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
Effecten op vogels	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op zeezoogdieren	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
Effecten op fauna van harde substraten	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
MENSELIJKE ACTIVITEITEN									
Effecten op visserij	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
Effecten op maricultuur	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op militaire activiteiten	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op kabels en pijpleidingen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op zand- en grindontginning	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op andere windparken	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op wetenschappelijk onderzoek	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Effecten op toerisme en recreatie	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+	0/+
VEILIGHEID									
Effecten op radar en scheepscommunicatie	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op hinder voor luchtverkeer	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 8-12 Overzicht van de ingreep-effecten voor de verschillende disciplines tijdens de ontmantelingsfase

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	MP	JF	GBF	MP	JF	JF	GBF	JF	GBF
ABIOTISCHE OMGEVING									
Effecten op de bodem	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op het water	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op het klimaat	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op de atmosfeer	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op geluid en trillingen	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op zeezicht	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op cultureel erfgoed	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BIOTISCHE OMGEVING									
Effecten op benthos	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op vissen	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op vogels	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op zeezoogdieren	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op fauna van harde substraten	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
MENSELIJKE ACTIVITEITEN									
Effecten op visserij	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op maricultuur	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op militaire activiteiten	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op kabels en pijpleidingen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op zand- en grindontginning	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op andere windparken	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op wetenschappelijk onderzoek	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op toerisme en recreatie	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VEILIGHEID									
Effecten op radar en scheepscommunicatie	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op hinder voor luchtverkeer	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 8-13 Overzicht van de ingreep-effecten voor de verschillende disciplines voor de bekabeling

Configuratie	**Basis**			**1**		**2**		**3**	
Funderingstype	MP	JF	GBF	MP	JF	JF	GBF	JF	GBF
ABIOTISCHE OMGEVING									
Effecten op de bodem	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op het water	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op het klimaat	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op de atmosfeer	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op geluid en trillingen	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op zeezicht	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op cultureel erfgoed	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BIOTISCHE OMGEVING									
Effecten op benthos	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op vissen	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op vogels	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op zeezoogdieren	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-	0/-
Effecten op fauna van harde substraten	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
MENSELIJKE ACTIVITEITEN									
Effecten op visserij	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op maricultuur	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op militaire activiteiten	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op kabels en pijpleidingen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op zand- en grindontginning	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op andere windparken	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op wetenschappelijk onderzoek	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op toerisme en recreatie	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VEILIGHEID									
Effecten op radar en scheepscommunicatie	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effecten op hinder voor luchtverkeer	0	0	0	0	0	0	0	0	0

8.4 CUMULATIEVE EFFECTEN

In Tabel 8-14 wordt een overzicht gegeven van de evaluatie van de cumulatieve effecten per discipline ten gevolge van de ontwikkeling van de volledig Belgische concessiezone voor de opwekking van energie (Norther, C-Power, Rentel, Northwind, SeaStar en Belwind) in combinatie met Mermaid en Northwester 2. Aangezien voor Norther, Rentel en SeaStar vandaag noch het aantal turbines, noch het funderingstype al expliciet gekend is, is men voor elke discipline net zoals voor Mermaid en Northwester 2 uitgegaan van een worst case scenario.

Momenteel zijn reeds 54 windturbines (6 GBF en 48 JF) van het C-Power windpark operationeel. Ter hoogte van het Belwind windpark werden reeds 55 turbines geïnstalleerd (met monopile funderingen) en in 2014 wordt de constructie van de 2de fase voorzien. Het Northwind park is sinds mei 2014 volledig operationeel en bestaat uit 72 turbines met monopile fundering. Voor Norther, Rente en SeaStarl tenslotte zijn de uiteindelijke configuraties nog niet gekend.

Tabel 8-14 Overzicht van de cumulatieve ingreep-effecten voor de verschillende disciplines

Fase	Constructie	Exploitatie	Ontmanteling	Bekabeling
ABIOTISCHE OMGEVING				
Effecten op de bodem	-	0/-	0/-	0/-
Effecten op het water	0/-	0	0	0/-
Effecten op het klimaat	0	0/+	0	0
Effecten op de atmosfeer	0/-	+	0/-	0/-
Effecten op geluid en trillingen	0/-	0/-	0/-	0
Effecten op zeezicht	0/-	0/-	0/-	0
Effecten op cultureel erfgoed	0	0	0	0
BIOTISCHE OMGEVING				
Effecten op benthos	-	0/- of 0/+	0/-	0/-
Effecten op vissen	-	0/- of 0/+	0/-	0/-
Effecten op vogels	0/-	0/-	0/-	0
Effecten op zeezoogdieren	-	0/- of 0/+	0/-	0
Effecten op fauna van harde substraten	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+	0/- of 0/+
MENSELIJKE ACTIVITEITEN				
Effecten op visserij	0	0/+	0	0
Effecten op maricultuur	0	0/+ (?)	0	0
Effecten op militaire activiteiten	0	0	0	0
Effecten op kabels en pijpleidingen	0	0	0	0
Effecten op zand- en grindontginning	0	0	0	0
Effecten op andere windparken	0	0	0	0
Effecten op wetenschappelijk	0/+	+	0	0

Fase	Constructie	Exploitatie	Ontmanteling	Bekabeling
onderzoek				
Effecten op toerisme en recreatie	0	0/+	0	0
VEILIGHEID				
Risico's op scheepvaartaccidenten	0/-	- of --	0/-	0/-
Effecten op radar en scheepscommunicatie	0	0/-	0	0
Effecten op hinder voor luchtverkeer	0	0	0	0

8.5 CONCLUSIES

In dit overzicht volgt een opsomming van de belangrijkste conclusies per fase van het project. Enkel effecten die op basis van de uitgebreide analyse als betekenisvol werden geïdentificeerd worden hier herhaald. Indien voor bepaalde effecten relevante verschillen worden gevonden tussen de verschillende configuraties, worden deze afzonderlijk vermeld.

Voor leemten in de kennis, milderende maatregelen en voorgestelde monitoring maatregelen wordt verwezen naar de specifieke hoofdstukken.

8.5.1 Constructiefase

8.5.1.1 Bodem

- Bij monopiles zal voor de helft van de funderingen – ongeacht de configuratie – een nivellering van de zeebodem moeten gebeuren. Het gebaggerd zand wordt hierbij permanent gestockeerd (13.300 m³/MP).
- Voornamelijk bij GBF moet een aanzienlijk zandoverschot (90.000 m³/ turbine) als gevolg van de benodigde uitgraving, tijdelijk gestockeerd worden; de keuze voor de stockagelocatie binnen het projectgebied is een belangrijk punt van aandacht.
- Bij het hergebruiken van het gestockeerde materiaal bij GBF, treden opnieuw bagger- en dumpingsverliezen op. Dus voor het opvullen van de funderingsputten en de GBF zal meer materiaal nodig zijn dan wat gestockeerd werd.
- De maximale hoogte van de stockage is best in dezelfde grootteorde als de natuurlijke zandduinen in het gebied, en op een zo klein mogelijk oppervlak zodat de oppervlakte waarbinnen het benthos verstoord wordt, minimaal is. Door te kiezen voor een stockage hoogte van 5 m wordt voldaan aan beide voorwaarden.
- Bij de aanleg van de erosiebescherming wordt enerzijds grind (kaliber 2-120 mm) gebruikt, anderzijds breuksteen (kaliber 50-540 mm). Bij het gebruik van geologisch zuivere materialen voor de erosiebescherming worden (vrijwel) geen effecten verwacht op de chemische bodemkwaliteit.

8.5.1.2 Water

- Een zeer lokale en tijdelijke verhoging van de turbiditeit ten gevolge van het inheien van de palen en/of het baggeren/nivelleren en terugstorten van zand is te verwachten.

8.5.1.3 Atmosfeer

- De energieconsumptie en daaraan gerelateerde emissies zijn het grootst tijdens de periode van het winnen van de grondstoffen tot en met de productie van de turbineonderdelen.
- De emissies ten gevolge van scheepvaart zullen slechts een zeer beperkte invloed hebben op de lokale luchtkwaliteit ter hoogte van het BDNZ.
- De impact op de luchtkwaliteit zal ten gevolge van het hoger aantal ingeschatte transporten iets groter zijn bij de keuze voor configuratie 1 dan bij configuratie 2 en 3 of de basisconfiguratie. Ook bij de keuze voor GBF zal het aantal transporten hoger liggen.

8.5.1.4 Geluid en trillingen

- Er treedt een significante tijdelijke en lokale verhoging van de geluidsniveau's boven en onder water (vnl. ten gevolge van het heien) voor zowel de MP en JF funderingen: onder water zal dit heigeluid het achtergrondgeluidsniveau van 105 dB (re 1µPa) overstijgen tot op ca. 20 km van de bron;
- Tijdens het heien van een pin pile van een jacket fundering was het maximaal gedetecteerde geluidsvermogenniveau van het bovenwatergeluid 145 dB (A) op een afstand van ca. 280 m (Norro et al., 2013).

8.5.1.5 Fauna en flora

- Het benthisch habitatverlies in het Mermaid park wordt geschat op ca. 4,3 ha (basisconf., MP met dynamische erosiebescherming) tot max. 152 ha (conf. 2; GBF, stockage 5m) door de constructie van de funderingen en erosiebescherming (direct biotoopverlies) en door stockage van gebaggerd zand (indirect biotoopverlies). In Northwester 2 bedraagt de biotoopverstroring 3,9 ha (basisconf., MP met dynamische erosiebescherming) tot max. 148 ha (conf. 2; GBF, stockage 5m); of m.a.w. <0,1% van het BDNZ.
- Het verlies aan organismen is sterk gerelateerd met het biotoopverlies en zal dus toenemen bij de keuze voor meer turbines en/of bij de keuze voor GBF (~ indirect biotoopverlies). Afhankelijk van het funderingstype of opstellingsvariant wordt het verlies aan organismen als gering (MP, JF) tot matig negatief (GBF) geschat voor beide parken.
- Er wordt een beperkte en tijdelijke verstoring van de benthische fauna en vissen ten gevolge van het omwoelen van de zeebodem en de daaruit voortvloeiende verhoogde turbiditeit verwacht. Door de productie van geluid en trillingen ten gevolge van de toegenomen scheepstrafiek treedt er ook verstoring op.
- Onderwatergeluid tijdens het heien van het windpark (MP/JF) kan leiden tot verhoogde mortaliteit bij vislarven en (zware) verstoring van bepaalde vissoorten waardoor deze tijdelijk het gebied zullen verlaten. Onzekerheid omtrent de grootte van de impact van geluid en trillingen blijft bestaan. Indien suction bucket techniek wordt gebruikt vervallen de negatieve effecten van het heien.
- De aanwezigheid van turbines, funderingen en erosiebescherming zal leiden tot het ontstaan van een nieuw biotoop en hiermee verbonden gemeenschappen (‘reef effect’). Het effect (ongeacht positief of negatief) zal groter zijn bij GBF en JF dan bij MP, maar steeds aanvaardbaar gezien de beperkte oppervlakte inname ten opzichte van het BDNZ (< 0,01%).

- Tijdelijke verstoring (gering negatief effect) van verstoringsgevoelige vogelsoorten kan optreden tijdens de bouw van het windpark als gevolg van de werkzaamheden. Waarschijnlijk zullen verstoringsgevoelige soorten het gebied tijdelijk verlaten, maar terugkeren na het beëindigen van de constructiefase.
- Zeezoogdieren kunnen tijdelijke hinder (gering negatief effect) ondervinden als gevolg van toenemende turbiditeit, onderwaterbewegingen en toegenomen werfverkeer. De grootste hinder valt echter te verwachten door toegenomen geluid en trillingen (vnl. heiwerkzaamheden MP/JF) en veranderingen in voedselbeschikbaarheid tijdens de constructiefase. Waarschijnlijk zullen ze daardoor het gebied tijdelijk verlaten; milderende maatregelen zoals het gebruik van de suction bucket techniek of andere aangepaste heitechnieken of assisterende maatregelen zijn nodig om deze effecten binnen aanvaardbare normen te houden.

8.5.1.6 Zeezicht en cultureel erfgoed

- Tijdelijke visuele wijziging van het zeezicht en het kustlandschap door werfverkeer en bouwactiviteiten blijft binnen aanvaardbare grenzen; terwijl de impact op de beleving (rustverstoring versus toeristische attractie) als verwaarloosbaar wordt ingeschat.

8.5.1.7 Menselijke activiteiten

- De belangrijkste effecten voor visserij zijn het ruimtelijke verlies (visgronden) door het afsluiten van het concessiegebied voor de scheepvaart.
- Voor de andere gebruikers worden er geen effecten verwacht.

8.5.1.8 Risico's en veiligheid

- Zie cumulatieve effecten.

8.5.1.9 Conclusie

Tijdens de constructiefase zal er een tijdelijke milieuverstoring plaatsvinden ten gevolge van de werkzaamheden. Bij GBF dient er een aanzienlijke hoeveelheid gebaggerd zand gestockeerd te worden binnen het concessiegebied. Bij deze oplossing dient daarenboven een extra hoeveelheid gebaggerd te worden voor het heropvullen van de funderingsput en als ballast. Er treedt een tijdelijke benthische habitatverstoring op door de stockage van het gebaggerd zand en een beperkte en tijdelijke verstoring van de benthische fauna en vissen. Als gevolg van de activiteiten (varen, baggeren, heien, gebruik van de kraan , …) zal er een tijdelijk een verhoogd geluidsniveau aanwezig zijn onder en boven water. Er is onzekerheid over de grootte van de impact van geluid en trillingen op het mariene leven. Als gevolg van de erosiebescherming en de turbines zal er beperkt verlies zijn aan zandbodem als leefomgeving. De creatie van harde substraten zal leiden tot een verhoogde en veranderde biodiversiteit. Waarschijnlijk zullen verstoringsgevoelige soorten en zeezoogdieren het gebied tijdelijk verlaten. Er worden geen effecten verwacht voor de andere gebruikers binnen het BDNZ.

8.5.2 Operationele fase

8.5.2.1 Bodem

- Lokale erosie wordt tegengegaan door het gebruik van erosiebescherming. Potentiële secundaire erosie langsheen de rand van de erosiebescherming.

8.5.2.2 Water

- Verwaarloosbare verandering in de hydrodynamica in de directe omgeving van de individuele palen.

8.5.2.3 Klimaat

- Een afname in de windsnelheid en een verhoging van de turbulentie aan de lijzijde van de windturbines. Zeer lokaal effecten in en rond het windpark.

8.5.2.4 Atmosfeer

- Naar verwachting zullen er door de bouw van het Mermaid windpark 5,1% (900 GWh) tot 6,8% (1.200 GWh) vermeden emissies van broeikasgassen zijn, en voor Northwester 2 4,8% (850 GWh) tot 6,2% (1.100 GWh) in vergelijking met klassieke centrales. De vermeden CO2-emissies hebben een significant positief effect op het behalen van de Kyoto-reductiedoelstelling.

8.5.2.5 Geluid en trillingen

- Impact op onderwatergeluid en trillingen is waarschijnlijk beperkt tot lokale verstoring (< 500 m veiligheidszone rond concessie).
- Het bovenwatergeluid zal verhoogd zijn afhankelijk van het type (range 3 MW - 10 MW) en het aantal turbines. Aan de rand van de veiligheidszone (zone van 500 m rond het park) zal het geluidsniveau lager zijn dan 50 dB(A).

8.5.2.6 Fauna en flora

- Voor de meeste soorten zullen (nagenoeg) geen effecten optreden.
- Er wordt een licht positieve invloed verwacht op het visbestand en benthische leven ten gevolge van het sluiten van het gebied voor boomkorvisserij, scheepvaart en zandextractie.
- Effecten van onderwatergeluid en trillingen op vissen en zeezoogdieren zijn nog niet volledig gekend, maar algemeen wordt het effect als gering negatief beschouwd.
- Verstorings- en aanvaringsgevoelige vogelsoorten (grote meeuwen, jan-van-gent, grote jager) kunnen hinder (aanvaring, verstoring) ondervinden tijdens de operationele fase die momenteel als gering tot matig negatief wordt ingeschat, maar verder radaronderzoek naar vogelbewegingen in het volledige windparkgebied moet dit bevestigen.
- Zeezoogdieren kunnen gering negatieve effecten ondervinden door de fysische aanwezigheid van het windpark, geluid en trillingen en door onderhoudswerken. Veranderingen in voedselbeschikbaarheid kunnen eventueel een gering positief effect hebben.
- De aanwezigheid van harde substraten kan de verspreiding van niet-inheemse soorten versnellen en zorgen voor een stepping-stone effect.

8.5.2.7 Zeezicht

- Mermaid en Northwester 2 zullen niet rechtstreeks zichtbaar zijn vanaf de kust aangezien ze achter de andere parken gelegen zijn.

8.5.2.8 Menselijke activiteiten

- Er wordt een positief effect verwacht op de visserij in de nabije omgeving van de windparken door een indirecte stijging van de visserijvangsten door het afsluiten van het gebied voor boomkorvisserij.
- De toename in monitoring en onderzoek ter hoogte van de windparken zal zorgen voor meer wetenschappelijke kennis.
- Er worden geen effecten verwacht op andere gebruikers van het BDNZ mits het respecteren van de vereiste veiligheidszones en een goede communicatie met betrokken partijen.

8.5.2.9 Risico's en veiligheid

- Zie cumulatieve effecten.

8.5.2.10 Conclusie

Tijdens de operationele fase treden eveneens een aantal effecten op. Potentiële erosie t.h.v. de turbines wordt tegengaan door het a priori aanleggen van een erosiebescherming en/of het nauwkeurig monitoren van de lokale erosie rond de funderingen en de aangebrachte bescherming. De kans op verontreiniging van water en bodem is verwaarloosbaar. Tijdens de exploitatie van de windparken worden tot bijna 6,8% (Mermaid) en 6,2% (Northwester 2) van de emissies vermeden van broeikasgassen in vergelijking met klassieke centrales (significant positief effect). Mermaid en Northwester 2 zullen niet waarneembaar zijn vanuit verschillende kuststeden, aangezien ze achter andere parken liggen. Door het functioneren van de turbines wordt er ook in de onmiddellijke omgeving van de turbines een verhoogd onderwatergeluid verwacht. Boven water zal er ook een verhoogd geluid zijn, wat maximaal hoorbaar kan zijn tot op 3 km.

Voor de meeste fauna-soorten zullen (nagenoeg) geen effecten optreden. Verstorings- en aanvaringsgevoelige vogelsoorten kunnen een gering tot matig negatief effect (aanvaring, verstoring) ondervinden tijdens de operationele fase. Verder radaronderzoek is echter wenselijk om deze voorlopige inschattingen te bevestigen. Aanwezigheid en gedrag van zeezoogdieren kan zowel positief als negatief beïnvloed worden door trillingen, geluid, onderhoudswerken en veranderingen in voedselbronnen. Er wordt een indirect positief effect (verhoogde visvangst) verwacht op de traditionele visserij in de nabije omgeving, door het afsluiten van de windparkzone voor boomkorvisserij. De aanwezigheid van harde substraten kan de verspreiding van niet-inheemse soorten versnellen.

8.5.3 Ontmantelingsfase

Algemeen mag worden gesteld dat de effecten van de ontmantelingfase gelijkaardig zullen zijn aan die van de constructiefase, maar dat de intensiteit van voorkomen veel lager zal zijn. Geluidsverstoring zal blijven voorkomen, doch zal beperkt blijven tot de geluiden geproduceerd door de betrokken scheepvaart en de ontmantelingsactiviteiten (afsnijden van turbines tot 2 m onder de zeebodem; weghalen funderingen). De significante geluidsverstoring

ten gevolge van het heien (MP/JF) tijdens de constructiefase is tijdens de ontmantelingsfase dus niet meer aanwezig. Ook het biotoopverlies en het daarmee gepaard gaande verlies aan organismen blijft beperkt tot de oppervlaktes die effectief verstoord worden tijdens de ontmantelingsfase. De effecten variëren van (vrijwel) geen effect tot een gering negatief effect, afhankelijk van het beschouwde alternatief.

8.5.4 WEC's

8.5.4.1 Bodem en water

- Bij geen van de zes WEC types wordt nivellering overwogen voor het plaatsen en worden verder geen effecten verwacht op de geologie.
- Aan de zeebodem kan er zich een geringe lokale verandering in de stroomsnelheid voordoen rond de verankering van de WEC's, die mogelijk kan leiden tot erosie. Deze impact zal kleiner zijn dan voor een fundering van een windturbine.

8.5.4.2 Klimaat en atmosfeer

- De opbrengst efficiëntie van een WEC type Poseidon werd ingeschat op 33%, waardoor op 20 jaar tijd ca. 34 GWh bruto aan energie zal geproduceerd worden per turbine. Indien het energieverbruik per WEC tijdens de volledige levensloop wordt meegenomen, is er een rendement van van ca. 50% of m.a.w. een terugverdientijd van 10 jaar.

8.5.4.3 Geluid en trillingen

- Tijdens de constructiefase wordt enkel de scheepvaart voor het transport en afzinken van de WEC elementen herkend als relevante geluidsbron voor alle basistypes behalve de Wavestar.
- Voor de installatie van de Wavestar zullen de vier poten na plaatsing geheid worden. Tijdens het heien van de funderingen kunnen op 20 km nog geluidsniveaus waargenomen worden die hoger zijn dan het achtergrondgeluidsniveau van 105 dB (re 1µPa).
- Zolang geen metingen beschikbaar zijn van de zes voorgestelde WEC basistypes op onder- en bovenwatergeluid tijdens de operationele fase is het effect ervan niet eenduidig in te schatten en een leemte in de kennis.

8.5.4.4 Fauna en flora

- Door de installatie van de funderingen van de WEC's wordt analoog met de windturbines een gedeelte van het oorspronkelijk zachte biotoop door nieuwe structuren ingenomen. De biotoopverstoring in een worst-case scenario (12 basisvelden Seabased units) bedraagt 54.000 m².
- Enkel bij de installatie van de Wavestar dienen de funderingen van de WEC's geheid te worden. Dit zorgt voor geluidsverstoring bij vissen en zeezoogdieren. De geluidverstoring geluidsverstoring zal slechts van korte duur zal zijn en lang niet zo intensief is als tijdens het installeren van de windturbines. De andere WEC's worden via ankers of gravitaire funderingen aan de bodem bevestigd.

- Tijdens de werkzaamheden kan er een barrièrewerking optreden ten opzichte van de vogels. Deze barrièrewerking zal voornamelijk het gevolg zijn van de geluidsproductie en de aanwezigheid van de schepen.
- De aanwezigheid van de WEC's tijdens de operationele fase zal waarschijnlijk geen invloed hebben op vogels. Eventueel kunnen de structuren gebruikt worden als rustplaats
- Er worden geen effecten verwacht op vleermuizen.
- Tijdens de constructie van de WEC's zal een deel van het Mermaid park verstoord worden door een toename van schepen en bouwactiviteiten. Zeezoogdieren zullen waarschijnlijk het gebied tijdelijk verlaten.
- Het effect van de fysische aanwezigheid van de WEC's op zeezoogdieren wordt als onbestaand ingeschat.
- Zeezoogdieren en duikende vogels kunnen ook aanvaringen hebben met de ankerlijnen, kabels of bewegende delen, maar verstrikking is zeer onwaarschijnlijk.
- De toename aan hard substraat zal het grootst zijn indien gekozen wordt voor de Seabased WEC. 12 basisvelden (worst case scenario) zorgen voor een oppervlakte aan hard substraat van 54.000 m²
- Onrechtstreeks zullen de drijvende WEC's dienst doen als FAD's (fish aggregating devices of visconcentratievoorzieningen)

8.5.4.5 Zeezicht en cultureel erfgoed

- De WEC's zullen door hun geringe hoogte niet zichtbaar zijn vanaf de kust.
- Er zijn geen wrakken aanwezig in het projectgebied waardoor het effect op cultureel erfgoed onbestaande is.

8.5.4.6 Menselijke activiteiten

- De toename in monitoring en onderzoek ter hoogte van de windparken zal zorgen voor meer wetenschappelijke kennis.
- Er worden geen effecten verwacht op andere gebruikers van het BDNZ mits het respecteren van de vereiste veiligheidszones en een goede communicatie met betrokken partijen.

8.5.4.7 Risico's en veiligheid

- Zie cumulatieve effecten

8.5.4.8 Conclusie

De milieueffecten gerelateerd aan de WEC's zijn grotendeels gelijkaardig aan de milieueffecten van de windturbines, maar beperkter in omvang. De verstoring van de bodem is minder groot doordat er geen nivellering of een erosiebescherming vereist is. Enkel voor de constructie van Wavestar WEC's dienen de funderingen geheid te worden, wat voor verstoring kan zorgen bij vissen en zeezoogdieren. Het aanvaringsrisico voor vogels is in vergelijking met de windturbines zeer klein. Het grootste ecologisch effect is de verdere toename van harde substraten in het BDNZ.

8.5.5 Bekabeling

8.5.5.1 Bodem

- Een tijdelijke verstoring van de bodemstructuur en vrij geringe kans op bloot komen te liggen van kabel.

8.5.5.2 Water

- Een zeer lokale en tijdelijke verhoging van de turbiditeit door het kabelleggen.

8.5.5.3 Klimaat

- Optreden van een lokale temperatuursgradiënt in de bodem rondom de kabel, die geen effect heeft op lokale klimaat.

8.5.5.4 Geluid en trillingen

- Een tijdelijke verhoging van het geluid boven en onder water tijdens kabelleggen (kabellegschip).

8.5.5.5 Fauna en flora

- Een lokale, tijdelijke verstoring van het benthos door bekabeling.
- Een mogelijk gelokaliseerde verstoring van gedrag van (kraakbeen)vissen o.i.v. elektromagnetische velden. Grootte impact is momenteel nog niet voldoende duidelijk.
- Tijdelijke verstoring van avifauna en zeezoogdieren als gevolg van de aanwezigheid van kabellegschepen, omwoeling van het sediment. De aanwezigheid van de kabels en het opgewekte elektromagnetische veld zal waarschijnlijk geen rechtstreeks effect hebben op de zeezoogdieren tijdens de operationele fase. Het effect van bekabeling wordt als (vrijwel) geen tot gering negatief ingeschat.
- Op kruisingen met andere kabels of pijpleidingen worden beschermingsmatten aangebracht die zorgen voor een toename in harde substraten.

8.5.5.6 Cultureel erfgoed

- Indien nodig kunnen de kabeltracés lokaal gewijzigd worden zodat het effect op het maritiem beschermd erfgoed tot een minimum beperkt blijft.

8.5.5.7 Menselijke activiteiten

- Er worden geen effecten verwacht voor de andere gebruikers.

8.5.5.8 Risico’s en veiligheid

- Zie cumulatieve effecten.

8.5.5.9 Conclusie

De voornaamste invloed van het kabelleggen is de lokale en tijdelijke verstoring van de bodem en de daarin levende organismen. Deze invloed zal beperkt zijn tot de onmiddellijke omgeving rond het kabeltracé en na een tijd verdwenen zijn (gering negatief effect). De invloed van de elektromagnetische straling en de lokale opwarming van de zeebodem (door de

warmteontwikkeling in de elektrische kabels) op benthos, vissen en zeezoogdieren tijdens de exploitatie van het windpark is onzeker, maar blijft absoluut beperkt tot de nabije omgeving.

8.5.6 Cumulatieve effecten

8.5.6.1 Bodem

- In het hypothetisch geval dat voor de nog geplande parken zou gekozen worden voor gravitaire funderingen (worst case scenario), dient tijdelijk een groot volume zand gestockeerd te worden voor de uitgraving van de gravitaire funderingen. De volumes worden normaliter niet gelijktijdig ontgraven en geborgen, waardoor kan worden gesteld dat de cumulatieve effecten kleiner zullen zijn dan de som van de effecten per individueel park.
- De impact op de morfodynamiek van het BDNZ door de aanleg van de kabels is verwaarloosbaar. Een gezamenlijke installatie van kabels (BOG project van Elia) betekent een geringere impact dan indien alle projecten verschillende trajecten hanteren.
- De lokale erosie door de constructies wordt voor de windparken tegengegaan door het a priori aanleggen van een erosiebescherming in combinatie met een nauwgezette monitoring/opvolging van het erosieproces rond de funderingen. Het cumulatieve effect is kleiner dan de som van de individuele effecten. Indien er toch lokale erosie optreedt, kan dit effect vrij eenvoudig weggewerkt worden door herstellen en bijkomend storten van erosiebescherming.
- Indien de erosiebescherming verwijderd wordt, zal er in essentie een put ontstaan ter hoogte van elke fundering. Het herstel van de funderingsputten is op basis van de huidige kennis niet in te schatten in ruimte en tijd. Het cumulatieve effect zal niet groter zijn dan de som van de individuele effecten.

8.5.6.2 Water

- De constructie van de fundering zal een lokale en tijdelijke verhoging van de turbiditeit veroorzaken. Deze zal het grootst zijn voor configuratiealternatieven met gravitaire funderingen. In vergelijking met turbiditeitsconcentraties die van nature optreden tijdens stormen is dit echter een verwaarloosbaar effect. Het cumulatieve effect is de som van de individuele effecten.
- De impact van de aanleg van de parkkabels en de mogelijke exportkabel naar land is zeer tijdelijk en lokaal. Een gezamenlijke en dus gelijktijdige installatie van kabels (het BOG project van Elia) zou een geringere impact(zone) betekenen dan indien alle projecten verschillende trajecten hanteren of kabels leggen langs hetzelfde traject maar op een ander tijdstip.

8.5.6.3 Klimaat en atmosfeer

- Een belangrijk effect tijdens de operationele fase zijn de vermeden emissies op het land als gevolg van het feit dat de netto elektriciteitsproductie van de windparken niet door middel van klassieke, al dan niet in combinatie met nucleaire, productie dient te worden opgewekt.
- De vermeden emissies van elk windpark op zich leveren al een belangrijke bedrage tot de voor België vooropgestelde reductiedoelstellingen voor SO_2, NO_x en CO_2. De

cumulatieve bijdrage is uiteraard nog groter en komt overeen met de som van de individuele bijdragen (significant positief effect), met name tot 570 ton/jaar voor SO_2, tot 480 ton/jaar voor NO_x en tot 7.119.800 ton/jaar voor CO_2.

8.5.6.4 Geluid en trillingen

- Tijdens de constructiefase brengt het heien van de funderingspalen een impulsgeluid voort. Deze heiactiviteiten komen slechts tijdelijk voor. Bijgevolg zal het cumulatieve effect niet groter zijn dan de som van de effecten per windpark (de kans dat de puls van het heien van de windparken samenvalt is namelijk zeer klein).
- Op een afstand van 500 m rond het park zal het geluidsniveau lager zijn dan 50 dB(A). Dit wordt eveneens bekomen wanneer de windparken afzonderlijk in werking zijn. Buiten de 500 m-zone tot het windpark zal het cumulatieve effect bijgevolg niet groter zijn dan de som van de effecten per windpark.
- Bij de cumulatieve werking van de windparken in een matig belastende situatie zal er enkel in de zones tussen de windparken een verhoogd geluidsniveau aanwezig zijn t.o.v. de individuele werkingstoestand van elk windpark, het cumulatieve effect zal bijgevolg groter zijn dan de som van de effecten per windpark.

8.5.6.5 Fauna en flora

- Voor de meeste effecten op benthos en vissen (biotoopverlies/verstoring, verlies organismen, introductie hard substraat, geluid) geldt dat het cumulatieve effect de som is van de afzonderlijk effecten per windpark. Deze zijn bovendien vaak recht evenredig met het ruimtebeslag. De totale maximale biotoopverstoring van alle parken samen blijft relatief klein tov het BDNZ (0,35%). Er kan algemeen besloten worden dat de effecten aanvaardbaar zullen zijn.
- Er heerst nog een onzekerheid omtrent de grootte van het cumulatieve effect van geluidsverstoring onder water en elektromagnetische straling ten gevolge van de bekabeling. Verder onderzoek is aangewezen.
- Door het afsluiten van de windparken voor de (boomkor)visserij ontstaat er refugium en krijgen de bodem en vispopulaties de kans zich te herstellen. Hoe groot dit effect zal zijn is moeilijk te voorspellen.
- Met betrekking tot vogels kan verwacht worden dat de aanwezigheid van een groot aantal windparken in een relatief kleine zone een licht verhoogde mortaliteit van zeevogels op populatieniveau tot gevolg kan hebben. Ook al vallen er waarschijnlijk relatief gezien weinig aanvaringsslachtoffers, dit kan op lange termijn toch een significant effect hebben op de populatie van bepaalde soorten. De aanwezigheid van de windparken kan voor verstoringsgevoelige zeevogelsoorten bovendien een verlies van habitat betekenen. De aanwezigheid van de windparken kan tevens een vermindering van foerageergebied betekenen voor bepaalde verstoringsgevoelige vogelsoorten, of een barrière-effect teweeg brengen dat vooral van belang is ten aanzien van de migrerende vogels. Deze cumulatieve effecten kunnen echter op basis van de huidige gegevens niet eenduidig ingeschat worden. Bijkomend onderzoek is noodzakelijk.
- Voor zeezoogdieren wordt verwacht dat de meeste cumulatieve effecten (verstoring, geluid, fysische aanwezigheid windparken, wijziging in voedselbeschikbaarheid…) de som van de afzonderlijke effecten zullen zijn. Er zijn echter veel leemten in de kennis.

8.5.6.6 Zeezicht en cultureel erfgoed

- De verstoring van het zeezicht tijdens de overlappende bouwfases van de windparken zal verminderen in duurtijd, maar wel een verhoogde intensiteit van verstoring met zich meebrengen.
- Voor het cumulatief effect van de aanwezigheid van de diverse windparken op het zeezicht zijn de dichtst bijgelegen windparken (Norther en C-Power) van belang gezien deze het zeezicht vanaf de kust bepalen.
- Door de combinatie van meerdere windparken zal een zekere 'verdichting' van de zone in het gezichtsveld optreden, waarbij het met het stijgende aantal windturbines in de gehele windparkzone steeds moeilijker zal worden om afzonderlijke windturbines te onderscheiden (egaler beeld versus drukker beeld).
- Doordat de verscheidene windparken gefaseerd gebouwd worden, is het mogelijk dat een langzame gewenning zal optreden aan het wijzigende zeelandschap.
- Het cumulatief effect op het cultureel erfgoed is verwaarloosbaar.

8.5.6.7 Menselijke activiteiten

- De acht windparken zouden potentieel een bijkomend verlies voor de traditionele visserij betekenen van ongeveer 7% indien een veiligheidszone van 500 m rond de concessiegebieden in rekening wordt gebracht. Ten opzichte van het beviste gebied van de Noordzee gaat ongeveer 0,1% verloren (aanvaardbaar).
- Voor visserij en maricultuur kan de bouw en exploitatie van de verschillende windparken indirect ook positieve gevolgen hebben daar zij de vispopulatie ten goede komen (sluiting gebieden voor boomkorvisserij, scheepvaart, …) én dus ook de visserij in de nabije omgeving, of de mogelijkheid bieden tot het ontwikkelen van alternatieve vormen van visserij.
- Er worden geen negatieve cumulatieve effecten verwacht voor de andere gebruikers van de Noordzee.

8.5.6.8 Risico's en veiligheid

- Een zeer klein en aanvaarbaar risico van milieuvervuiling bestaat door de aanwezige oliën en vetten bij het omvallen van de turbine en bij een complete structurele faling van het transformatorplatform.
- De kans op aanvaring van windturbines is voor het Northwester 2 windpark relatief laag (eens in de 31 jaar voor de configuratie 1), terwijl dit voor Mermaid hoger is (eens in de 21 jaar voor de configuratie 1), maar dit is nog steeds lager in vergelijking met Norther aan het ZO uiteinde van de Belgische windparkzone (eens in de 14 jaar). De totale aanvarings- en aandrijfkans tengevolge van alle parken samen wordt geschat als eens om de 5 jaar.
- De WEC's aan de westelijke kant van het Mermaid park hebben de hoogste aanvaringskansen. De aanvaringskansen zijn hoger voor een individuele WEC van type Wavestar dan voor type Seabased, en hoger dan de omringende windturbines wegens zijn grotere afmetingen aan het wateroppervlak. Een basisveld van 160 Seabased WEC's zal echter een grotere aanvaringskans hebben dan een basisveld met 7 Wavestar WEC's.

- Er wordt geen significant negatieve invloed verwacht van de aanwezigheid en exploitatie van de windparken op de bewaking van en communicatie met het scheepvaartverkeer.
- De aanvarings/aandrijvingskans wordt vooral bepaald door het aantal turbines, in mindere mate door de afmetingen ervan. Het cumulatief effect van de verschillende windparken (toename in aantal turbines) op aanvaring van turbines is maximaal gelijk aan de som van de effecten van elk park afzonderlijk. Het cumulatief effect zal waarschijnlijk zelfs kleiner zijn, omdat door de omlopende verkeerstromen bij de afsluiting van een park het aantal windturbines dat aangevaren kan worden verminderd.
- De kans op persoonlijk letsel bij een aanvaring en aandrijving is bijzonder klein.
- Op basis van de frequenties is de gemiddelde tijd tussen twee uitstromingen van olie 1317 jaar voor basisconfiguratie Mermaid, 1684 jaar voor Northwester 2. Voor configuratie 1 is dit resp. 659 jaar en 875 jaar voor Mermaid en Northwester 2. Het volume uitstroom van bunkerolie en ladingolie op het BDNZ neemt als gevolg van het risico op aanvaring met een turbine van het Northwester 2 park bij de basisconfiguratie toe met ≈ 0,53%, voor Mermaid is dit een toename van ca. 0,72% voor de basisconfiguratie.
- De gemodelleerde uitstroom van olie is een ‘worst case’ benadering. Doordat het percentage tankers met een dubbele wand toeneemt, zal de kans op een uitstroom van olie na een aandrijving met een windturbine afnemen.
- Vooral de avifauna, en mogelijks ook zeezoogdieren, zullen de belangrijkste korte termijn effecten ondervinden door olieverontreiniging. De impact van een lozing op het vogelbestand is enerzijds een functie van de aanwezige soorten, hun densiteit en kwetsbaarheid en anderzijds van de vervuilde oppervlakte. Naast de directe slachtoffers die een ramp veroorzaakt, zijn er ook mogelijks negatieve gevolgen voor de populatie (langdurig effect).

8.5.6.9 Conclusie

Bij de cumulatieve effecten (gezamenlijke effecten van alle windparken) worden enkel de effecten verder besproken die niet verwaarloosbaar zijn voor een enkel windpark. Voor deze niet-verwaarloosbare effecten zal het cumulatieve effect meestal gelijk of kleiner zijn dan de som van de individuele effecten. Indien gekozen wordt voor een GBF bij de geplande windparken (de reeds operationele windparken opteerden voor MP en/of JF), zal in totaliteit voor de acht windparken samen bijna 17,4 miljoen m³ zand gestockeerd worden in de respectievelijke concessiegebieden ten gevolge van de benodigde uitgraving. Het cumulatieve milieueffect ten gevolge van de stockage van zand zal door de fasering kleiner zijn dan de som van de effecten. De vermeden emissies van elk windpark op zich leveren al een belangrijke bedrage tot de voor België vooropgestelde reductiedoelstellingen voor SO_2, NO_x en CO_2. De cumulatieve bijdrage is uiteraard nog groter en komt overeen met de som van de individuele bijdragen. Tijdens de exploitatie blijft het onderwatergeluid van de windturbines beperkt tot de veiligheidszone. Het cumulatieve effect is bijgevolg gelijk aan de som van de individuele effecten. Voor de meeste effecten op benthos en vissen geldt dat het cumulatieve effect de som is van de afzonderlijk effecten - vaak recht evenredig met het ruimtebeslag dat in totaliteit relatief klein blijft t.o.v. het BDNZ- per windpark. Voor vogels en zeezoogdieren geldt eveneens dat het cumulatieve effect de som is van de afzonderlijke effecten. Enkel naar inname van habitat en het barrière-effect voor vogels door de uitstralende werking van elk windpark treedt er een cumulatief effect op dat groter is dan de som van de effecten per

windpark. Er worden geen noemenswaardige negatieve cumulatieve effecten verwacht voor de verschillende gebruikers van de Noordzee.

De kans op aanvaring van windturbines is voor het Northwester 2 windpark relatief laag (eens in de 31 jaar voor de configuratie 1), terwijl dit voor Mermaid hoger is (eens in de 21 jaar voor de configuratie 1), maar dit is in vergelijking met Norther aan het ZO uiteinde van de Belgische windparkzone nog steeds lager (eens in de 14 jaar). De WEC's aan de westelijke kant van het Mermaid park hebben de hoogste aanvaringskansen. De aanvaringskansen zijn bovendien hoger voor een WEC van type Wavestar dan voor type Seabased, en hoger dan de omringende windturbines wegens zijn grotere afmetingen. De totale aanvarings- en aandrijfkans tengevolge van alle parken samen wordt geschat als eens om de 5 jaar. Er wordt geen significant negatieve invloed verwacht van de aanwezigheid en exploitatie van de windparken op de bewaking van en communicatie met het scheepvaartverkeer.

8.5.7 Grensoverschrijdende effecten

8.5.7.1 Bodem en water

- Uit de numerieke modelleringsstudie blijkt dat de invloedsfeer van de turbines op de hydrodynamica en het sedimenttransport beperkt is tot de directe omgeving van de turbines en niet reikt tot aan de Belgisch-Nederlandse grens.
- De turbiditeitspluimen die ontstaan bij de creatie van de funderingsputten overschrijden de natuurlijke achtergrondconcentraties tot maximum 500 m over de Nederlandse grens in het worst-case scenario.

8.5.7.2 Klimaat en atmosfeer

- Er zijn indicaties dat vlak achter een windpark de windsnelheid tot 40% kan dalen en zelfs afnemen tot 100% indien de turbines dichter dan 500 m van elkaar geplaatst worden.
- Indien men echter voldoende rekening houdt met de afstand tussen de Belgische en Nederlandse parken zal het effect op het volledige windveld gering blijven. Verder onderzoek naar de 'schaduweffecten' van windparken is aangewezen.
- Tijdens de operationele fase zal door het afsluiten van Mermaid en Northwester 2 het scheepvaartverkeer moeten omvaren. Op het omliggende Nederlands, Frans en Brits grondgebied zou dit kunnen leiden tot een lichte verhoging van de emissies door scheepvaart.

8.5.7.3 Geluid en zeezicht

- Gezien de grote afstand tot de Nederlandse kust (ca. 50 km) zullen de windturbines van Mermaid en Northwester 2 geen visuele hinder noch geluidshinder veroorzaken.
- Boven water aan de grens met Nederland wordt er een specifiek geluid van ongeveer 50 dB(A) verwacht.

8.5.7.4 Fauna en flora

- Er bevinden zich twee Natura 2000 gebieden over de grens met Nederland op meer dan 33 km van Mermaid en Northwester 2: de Vlakte van de Raan en de Voordelta.
- De effecten op benthos, vissen, vogels en zeezoogdieren in Nederlandse Natura 2000 gebieden worden als aanvaardbaar geacht omwille van de tijdelijk en lokale aard van de

verstoring, de grote afstand tot zeehondenkolonies in de Nederlandse Delta, het uitgebreide foerageergebied van zeehonden en vogels, en het ruime verspreidingsgebied van bruinvissen.

- De Franse en Britse Natura 2000 gebieden Bancs des Flandres en Outer Thames Estuary liggen te ver van de projectgebieden om enig effect te verwachten op benthos, vissen en zeezoogdieren. Eventueel kunnen er, net zoals voor de Nederlandse Natura 2000 gebieden indirecte gevolgen zijn door een tijdelijke verhoging van densiteiten door een toevloed van dieren die de zone van verstoring ontvluchten.
- Er kunnen barrière-effecten optreden voor migrerende vogels. Van enkele soorten is gekend dat ze windparken zullen vermijden, waardoor de migrerende vogels een langere weg moeten afleggen, wat zorgt voor een verhoogde energieconsumptie

8.5.7.5 Risico's en veiligheid

- De scheepsdensiteit in de verkeersstromen rond de windparken, ook op Nederlands grondgebied, zal toenemen. Hierdoor neemt de kans op scheepvaartongevallen en de kans op olieverontreiniging toe.
- In de milieueffectenbeoordeling van SeaStar (BMM, 2013) werden olielozingen gesimuleerd in het SeaStar park. Uit de gevoerde simulaties kan worden besloten dat tijdens kalme weerscondities (geen wind) de olievlek oscilleert tussen de Belgische en Nederlandse wateren met het ritme van de getijden. De olievlek zou in dit scenario geen van de Nederlandse beschermde gebieden beïnvloeden. Tijdens zwaardere weerscondities (wind van 17 m/s) is de oliedrift vooral afhankelijk van de windsnelheid en –richting. De olie kan de Nederlandse zone bereiken in minder dan 3u en de Franse zone ongeveer 9u na lozing. Er is dus een relatief korte tijd om tussenbeide te komen in het geval van een olielozing.
- Door het omvaren rond de Belgische windparken nemen de economische kosten en de CO_2 uitstoot in Nederland toe.
- Er zullen zich geen wezenlijke veranderingen voordoen voor wat de radar en radio opvolging van de scheepvaarttrafiek betreft binnen het afgebakende Belgische concessiegebied, en dit zowel vanuit de Vlaamse als de Nederlandse SRK radarstations.

8.5.7.6 Conclusie

Gezien de positie en afstand van de inplanting ten opzichte van de grens kunnen enkel beperkte effecten verwacht worden naar Nederland toe. Gezien de afstand tot de Nederlandse kust worden de effecten als aanvaardbaar beschouwd.

9. REFERENTIES

3E (2001a). Offshore windpark op de Wenduinebank. Opbrengstberekening a.h.v. meteostations Westhinder, Wandelaar, Droogte van 't Schoonveld, Vlakte van de Raan en Cadzand, Studiedeel 7.

3E (2011). "Opbrengstberekening Offshore windpark zone 7" dd 16/05/2011

Abdel-Rahman, K., Achmus, M. (2006). Behaviour of monopiles and suction bucket foundation systems for offshore wind energy plants. 5th International Engineering Conference, Sharm El-Sheikh, Egypte, 27-31 maart 2006.

Actieplan Zeehond (2012). Van defensief naar offensief milieubeleid in de Noordzee.

Adriansens, J. (2009). Vissen met quota – Belgische zeevisserij, Departement Landbouw en Visserij, Afdeling Monitoring en Studie.

Ahlén, I. Et al (2007). Bats and offshore wind turbines studied in Southern Scandinavia. Swedish EPA report 5571.

Ahlén, I. , J. Baagoe& L. Bach (2009). Behaviour of Scandinavian Bats during migration and foraging at sea. Journal of Mammalogy, 90 (6): p 1318 – 1323.

Alara-Lukagro (2011). Windy business, Curbing the commotion. Offshore Industry, Volume 4, Issue 6.

Andersson, M.H. (2011). Offshore wind farms - ecological effects of noise and habitat alteration on fish. Doctoral thesis. Stockholm: Department of Zoology, Stockholm University.

Andrulewicz, E., Napierska, D. & Otremba, Z. (2003). The environmental effects of the installation and functioning of the submarine SwePol Link HVDC transmission line: a case study of the Polish Marine Area of the Baltic Sea. Journal of Sea Research 49 (2003) 337-345.

Anoniem. (2008). Roosevelt Island Tidal Energy Project FERC No. 12611., Draft Kinetic Hydropower Pilot Licence Application Volume 2 of 3. November 2008.

Aquamarine Power Limited (2010). Oyster 2 Project: underwater noise impact assessment. In: Lewis Wave Power Limited (2011). Environmental scoping report. 40 MW Oyster Wave Array – West Coast Lewis. LWS-SD.PR.EU.UK.LEW.06-REP-001.

Aquatera (2014). Wave and Tidal Enabling Actions Report. Consolidation of wave and tidal EIA/HRA issues and research priorities. Technical report, final report. In opdracht van The Crown Estate.

Arcadis (2008). Milieueffectenrapport voor een offshore windturbinepark op de Bank Zonder Naam. Uitgevoerd in opdracht van Eldepasco NV. 302 + app.+ figuren. 05/10293/PV.

Arcadis (2011). Milieueffectenrapport - Offshore North Sea Power windpark, in opdracht van Norther NV. Project 10296 | versie A | 06-05-2011.

Arnett, E.B., Brown, K., Erickson, W.P., Fiedler, J., Hamilton, B.L., Henry, T.H., Jain, A. Johnson, G.D., Kerns, J., Kolford, R.R. , Nicholson, C.P. , O'Connell, T., Piorkowski, M. and Tankersley, Jr. R. (2008). Patterns of Bat Fatalities at Wind Energy Facilities in North America. Journal of Wildlife Management 72:61–78.

Arnett, E. B., Johnson, G. D., Erickson, W. P., Hein. C. D. (2013). A synthesis of operational mitigation studies to reduce bat fatalities at wind energy facilities in North America. A report submitted to the National Renewable Energy Laboratory. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA

Ashley, G.M. (1990). Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. Journal of Sedimentary Petrology, 60(1): 160-172.

Austin, M., Chorney, N., Ferguson, J., Leary, D., O'Neill, C., Sneddon, H. (2009). Assessment of Underwater Noise Generated by Wave Energy Devices, Oregon Wave Energy Trust.

Bach, S., Teilmann, J. & Henriksen, O.D. (2000). Environmental Impact Assessment (EIA) of offshore windfarms at Rødsand and Omø Stålgrunde, Denmark. A technical report on harbour porpoises.

Baerwald, E. F. & Barclay, R. M. R. (2009). Geographic variation in activity and fatality of migratory bats at wind energy facilities. Journal of Mammalogy 90: 1341–1349.

Bailey, H., Senior, B., Simmons, D., Rusin, J., Picken, G. & Thompson, P. (2010). Assessing underwater noise levels during pile-driving at an offshore wind farm and its potential effects on marine mammals. Marine Pollution Bulletin 60: 888-897.

Belderson, R.H. (1986). Offshore tidal and non-tidal sand ridges and sheets: differences in morphology and hydrodynamic setting, Canadian Society of petroleum geologists, pp. 293-301.

Belgische Staat (2012). Omschrijving van Goede Milieutoestand en vaststelling van Milieudoelen voor de Belgische mariene wateren. Kaderrichtlijn Mariene Strategie – Art 9 & 10. BMM, Federale Overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu, Brussel, België, 34 pp.

Belwind (2012). Yearly Environmental Report 2012. Belwind Phase 1.

Bencs, L., B. Horemans, R. Van Grieken, A. Jolanta Buczyńska, P. Viaene, N. Veldeman, F. Deutsch, B. Degraeuwe, M. Van Poppel, D. Lauwaet, K. De Ridder, L. Janssen, B. Maiheu, M. Vanhulsel, S. Janssen, L. Blyth, C. Mensink (2012). Atmospheric deposition fluxes to the Belgian marine waters originating from ship emissions - SHIPFLUX. Final Report. Brussels : Belgian Science Policy Office 2012 – 109 p. (Research Programme Science for a Sustainable Development)

Bergman, M.J.N., G.CA. Duineveld & M.S.S. Lavaleye (2005). Long term closure of an area to fisheries at the Frisian Front (SE North Sea): effects on the bottom fauna. NIOZ-Rapport 2005-6.

BERR – Department for Business Enterprise & Regulatory Reform in association with Defra (2008). Review of cabling techniques and environmental effects applicable to the offshore wind farm industry. Technical report.

Bio/consult A/S (2005). Hard Bottom Substrate Monitoring - Horns Rev Offshore Wind Farm. Annual Status Report 2004. Commissioned by Elsam Engineering A/S.

Birdlife International (2004a). Birds in Europe: population estimates, trends and conservation status. Birdlife Conservation Series No. 12. Birdlife International, Cambridge.

Birdlife International (2004b). Birds in the European Union: a status assessment. Wageningen, The Netherlands: BirdLife International.

Birdlife International, (2009). Species factsheets. http://www.birdlife.org/ (geraadpleegd op 16 maart 2012).

Birkeland C. (2011). Assessing the Life Cycle Environmental Impacts of offshore Wind Power Generation and power Transmission in the North Sea. Thesis – Master of Science in Energy and Environment, Norwegian University of Science and Technology. 160p.

BMM (2004). Bouw en exploitatie van een windturbinepark op de Thorntonbank in de Noordzee: Milieueffectenbeoordeling van het project ingediend door de n.v. C-Power. Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, Beheerseenheid Mathematisch Model van de Noordzee, Afdeling Beheer van het Mariene Ecosysteem (BMM), Brussel. 170 pp.

BMM (2006a). Bouw en exploitatie van een windturbinepark op de Thorntonbank in de Noordzee. Milieueffectenbeoordeling van de aanvraag ingediend door de NV C-Power tot wijziging van de vergunning en machtiging voor het bouwen, inclusief de aanleg van kabels, en het exploiteren van een min 216 – max 300 MW farshore windenergiepark op de Thorntonbank. Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, Beheerseenheid Mathematisch Model van de Noordzee, Afdeling Beheer van het Mariene Ecosysteem (BMM), Brussel. 43pp.

BMM (2006b). Advies van het bestuur. Aanvraag van de leden van Zeegra vzw en de Vlaamse overheid voor de extractie van mariene aggregaten op het “Belgisch Deel van de Noordzee (BDNZ)”. Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, Beheerseenheid Mathematisch Model van de Noordzee, Afdeling Beheer van het Mariene Ecosysteem (BMM), Brussel.

BMM (2007). Milieueffectenbeoordeling van het BELWIND offshore windturbinepark. Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, Beheerseenheid Mathematisch Model van de Noordzee, Afdeling Beheer van het Mariene Ecosysteem (BMM), Brussel. 182 pp.

BMM (2009). Milieueffectenbeoordeling van het ELDEPASCO offshore windpark op de Lodewijkbank. Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, Beheerseenheid Mathematisch Model van de Noordzee, Afdeling Beheer van het Mariene Ecosysteem (BMM), Brussel. 185 pp.

BMM (2011a). Advies van het Bestuur aan de minister bevoegd voor de bescherming van het mariene milieu. Betreffende: de machtigings- en vergunningsaanvraag van de n.v. Norther voor de bouw en exploitatie van een offshore windpark ten zuidoosten van de Thorntonbank. November 2011.

BMM (2011b). Milieueffectenbeoordeling van het NORTHER offshore windpark ten zuidoosten van de Thorntonbank. Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, Beheerseenheid Mathematisch Model van de Noordzee, Afdeling Beheer van het Mariene Ecosysteem (BMM), Brussel. 200 pp.

BMM (2012a). Milieueffectenbeoordeling van het RENTEL offshore windpark ten noordwesten van de Thorntonbank en ten zuidoosten van de Lodewijkbank. BMM, Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, Brussel, 206 pp.

BMM (2012b). Jaarrapport 2012 van het Belgische programma ter observatie van de Noordzee vanuit de lucht.

BMM (2013). Milieueffectenbeoordeling van het SEASTAR offshore windpark ten noordwesten van de Lodewijkbank en ten zuidoosten van de Bligh Bank . BMM, OD Natuurlijk Milieu, Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, Brussel, 188 pp.

BMM (2014a). Website van de BMM, geconsulteerd op 27 januari 2014. www.mumm.ac.be.

BMM (2014b). Milieueffectenbeoordeling van het Belgian Offshore Grid. BMM, OD Natuurlijk Milieu, Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, Brussel, 173 pp.

Bochert, R. & M.L. Zettler (2004). Long-term Exposure of Several Marine Benthic Animals to Static Magnetic Fields. Bioelectromagnetics 25: 498-502.

Boehlert, G.W. & Gill, A. (2010). Environmental and ecological effects of ocean renewable energy development. A current synthesis. Oceanography Vol. 23. No. 2: 68-75.

Bolle, L.J. , de Jong, C.A.F., Bierman, S.M., van Beek, P.J.G., Wessels, P.W., Blorn, E., van Damme, C.J.G., Winter, H.V. en Dekeling, R.P.A. (2013). Do pile-driving sounds cause mortality in larval fish? Presented at the WinMon.BE conference 2013. Environmental impacts of offshore wind farms – Learning from the past to optimize future monitoring programmes, 26-28 November 2013, Brussels, Belgium.

Boehlert, W. G., McMurray, G. R. and Tortorici, C. E. (2007). Ecological Effects of Wave Energy Development in the Pacific Northwest. A Scientific Workshop, October 11-12. NOAA Technical Memorandum NMFS-F/SPO-92.

Boon, A.R., ter Hofstede, R., Klok, C., Leopold, M., Blacquiere, G., Poot, M.J.M., Kastelein, R.A., Camphuysen, C.J. (2010). Monitoring and researching ecological effects of Dutch offshore wind farms Masterplan. Deltares. 157.

Boot, G. (2003). Oliedispersie studie ter hoogte van het C-Power windturbinepark op het Thorntonbank: Aanvullende scenario's. WL Delft Hydraulics. 11.

Bos, O.G., Leopold, M.F., Bolle, L.J. (2009). Passende Beoordeling windmolenparken: Effecten van heien op vislarven, vogels en zeezoogdieren. Rapport C079/09, 68.

Boshamer, J.P.C. & J. P. Bekker (2008) Nathusius' pipistrelles (*Pipistrellus nathusii*) and other species of bats on offshore platforms in the Dutch sector of the North Sea. Lutra 51 (1): 17-36

Brabant, R., Vigin, L., Stienen, E.W.M., Vanermen, N. & Degraer, S.(2012). Radar research on the impact of offshore wind farms on birds: Preparing to go offshore. In: Degraer, S., Brabant, R. & Rumes, B., (Eds.) (2012). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Heading for an understanding of environmental impacts. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models, Marine ecosystem management unit. Chapter 8: 111-126.

Brand, A.J. (2009). Wind power plant North Sea - Wind farm interaction, the effect of wind farming on mesoscale flow, ECN Wind Energy, Report ECN-E-09-041.

Brandt, M. J., Diederichs, A. & Nehls, G. (2009). Harbour porpoise responses to pile driving at the Horns Rev II offshore wind farm in the Danish North Sea. Final report to DONG Energy. Husum, Germany, BioConsult SH.

Brasseur, S., Reijnders, P., Meesters, E., Aarts, G. & Cremer, J. (2008). Harbour seals, Phoca vitulina, in relation to the wind farm site OWEZ, in the Netherlands – Interim rapport. Beschikbaar op www.noordzeewind.nl. 25.

Buurma L.S. & Van Gasteren, H., (1989). Trekvogels en obstakels langs de Zuidhollandse kust. Radarwaarnemingen van vogeltrek en het aanvaringsrisico bij hoogspanningsleidingen en windturbines op de Maasvlakte. Koninklijke Luchtmacht, sectie Ornithologie, 's Gravenhage.

Camphuysen, C.J., (2009). Het gebruik van zeetrektellingen bij de analyse van populatieschommelingen. 2. Dwergmeeuwen Larus minutus langs de kust. Sula 22: 49-66.

Cattrijsse, A. & Vincx, M. (2001). Biodiversity of the benthos and avifauna of the Belgian coastal waters. Summary of data collected between 1970 and 1998. Federal Office for Scientific, Technical & Cultural Affairs, Brussels: 48.

CBS, PBL, Wageningen UR (2013). Emissies door de zeescheepvaart, 1990-2012. www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

Cefas/University of Southampton (2009). A generic investigation into noise profiles of marine dredging in relation to the acoustic sensitivity of the marine fauna in UK waters with particular emphasis on aggregate dredging: PHASE I Scoping and review of key issues.

Ceuleneer, G., Lauwaert, B. (1987). Les sédiments superficiels de la zone des "Vlaamse Banken" UGMM, Bruxelles. 34. Report.

Christensen, T.K, Clausager, I. & Petersen, I.K. (2003). Base-line investigations of birds in relation to an offshore wind farm at Horns Rev, and results from the year of construction. - NERI report 2001. 60.

Christian, B., Brünner, H.V., Knudsen, F.R. (2005). Hydroacoustic Monitoring of Fish Communities in Offshore Wind Farms. Annual Report 2004. Horns Rev Offshore Wind Farm. 33.

Christopherson, A. and J. Wilson (2002). Technical Letter Report Regarding the San Francisco-Oakland Bay Bridge East Span Project Noise Energy Attenuation Mitigation. L. Kuhn and L. Campbell George and Strong. Anchorage, AK, Peratrovich, Nottingham, & Drage, Inc.

Clarke, K.R. & Gorley, R.N. (2001). PRIMER v5: User Manual/Tutorial. PRIMER-E: Plymouth. 91 pp.

CMACS (2003). A baseline assessment of electromagnetic fields generated by offshore windfarm cables. COWRIE Report EMF-01-2002 66. 71pp.

CNSS (2014). Clean North Sea Shipping, Final report, Key findings and Recommendations.

Coates, D. & Vincx, M. (2010). Monitoring the effects of offshore wind farms on the soft substratum macrobenthos: Year-1 Blighbank and Year-2 Thorntonbank. 83-103 in Degraer, S., Brabant, R. & Rumes, B. (Eds.) (2010). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Early environmental impact assessment and spatio-temporal variability. Royal Belgian Institute for Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 287 + annexes.

Coates, D., Vanaverbeke, J., Rabaut, M. & Vincx, M., (2011). Soft-sediment macrobenthos around offshore wind turbines in the Belgian Part of the North Sea reveals a clear shift in species composition. 47-63 in Degraer, S., Brabant, R. & Rumes, B., (Eds.) (2011). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Selected findings from the baseline and

targeted monitoring. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 157 + annex.

Coates, D., Deschutter, Y., Vincx, M. & Vanaverbeke, J. (2013a). Macrobenthic enrichment around a gravity based foundation. In: Degraer, S., Brabant, R., Rumes, B., (Eds.) (2013a). Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Learning from the past to optimize future monitoring programmes. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Marine Ecology and Management Section. 239 pp.

Church, J.A., P.U. Clark, A. Cazenave, J.M. Gregory, S. Jevrejeva, A. Levermann, M.A. Merrifield, G.A. Milne, R.S. Nerem, P.D. Nunn, A.J. Payne, W.T. Pfeffer, D. Stammer and A.S. Unnikrishnan (2013). Sea Level Change. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fichefet, P. Friedlingstein, X. Gao, W.J. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A.J. Weaver and M. Wehner (2013). Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

CONCERE-ENOVER (2010). National renewable energy action plan
http://ec.europa.eu/energy/renewables/transparency_platform/doc/national_renewable_energy_action_plan_belgium_en.pdf en
http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/milieuvriendelijke/Nuttige_documenten/Nationaal_actieplan_HE.pdf

Copejans, E. & Smits, M. (2011). De wetenschap van de zee. Leuven: Acco, 175.

Courtens, W. & E.W.M. Stienen, (2004). Voorstel tot afbakening van een Vogelrichtlijngebied voor het duurzaam in stand houden van de broedpopulaties van kustbroedvogels te Zeebrugge-Heist. Adviesnota IN.A.2004.100. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Courtens, W., E.W.M. Stienen, M. Van de walle & D. Verbelen, (2009). Tussentijds rapport monitoring van de SBZ-V 'Kustbroedvogels te Zeebrugge-Heist' en de SBZ-V 'Poldercomplex': resultaten van het vijfde jaar (2009-2010). INBO.R.2009.58. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Courtens, W., Stienen, E.W.M. & Vanermen, N. (2006). Zeevogels en zeezoogdieren van de Vlakte van de Raan, in: Coosen, J. *et al.* (Ed.) (2006). Studiedag: De Vlakte van de Raan van onder het stof gehaald, Oostende, 13 oktober 2006. VLIZ Special Publication, 35: 59-72.

Cowan, D. (2013). Acoustic Data Collection Programme. EMEC powerpoint given during MaRINET short course: Environmental Monitoring in Wave & Tidal Test sites & Pilot zones, 20-22 mei 2013, Kirkwall, Orkney, Schotland.

Dahlsten, H. (2009). Life cycle assessment of electricity from wave power. Thesis, Uppsala Univeristy.

Dayton, P.K., Trush, S., Coleman, F.C. (2002). Ecological effects of fishing in marine ecosystems of the United statesPew Oceans Commissio, Arlington, Virginia.

De Backer, A., Moulaert, I., Hillewaert, H., Vandendriessche, S., Van Hoey, G., Wittoeck, J. and Hostens, K. (2010). Monitoring the effects of sand extraction on the benthos of the Belgian Part of the North Sea. ILVO-report, 117.

De Batist, M., (1989). Seismostratigrafie en structuur van het Paleogeen in de Zuidelijke Noordzee. Unpublished PhD. Thesis, RUG, Gent, 107.

Debusschere, E.; De Coensel, B.; Adriaens, D.; Bajek, A.; Botteldooren, D.; Hostens, K.; Vanaverbeke, J.; Vandendriessche, S.; Van Ginderdeuren, K.; Vincx, M.; Degraer, S. (2014). Impact of pile-driving of offshore monopile foundations on young sea bass, in: Mees, J. et al. (Ed.) (2014). Book of abstracts – VLIZ Young Scientists' Day. Brugge, Belgium, 7 March 2014. VLIZ Special Publication, 67: pp. 42. http://www.vliz.be/en/imis?persid=25977

De Jong & Ainslie (2008). Underwater radiated noise due to the piling for the Q7 offshore Wind Park.

De Maersschalck, M., Hostens, K., Wittoeck, J., Cooreman, K., Vincx, M., Degraer, S. (2006). Monitoring van de effecten van het Thornton windturbinepark op de benthische macro-invertebraten en de visfauna van zachte substraten: Referentietoestand. Studie uitgevoerd in opdracht van het KBIN en BMM. 81 pp.

De Mesel, I., Kerckhof, F., Rumes, B., Norro, A., Houziaux, J., Degraer, S. (2013). Fouling community on the foundations of wind turbines and the surrounding scour protection. In Degraer, S., Brabant, R., Rumes, B., (Eds.) (2013a). Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Learning from the past to optimize future monitoring programmes. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Marine Ecology and Management Section. 239 pp.

De Moor, G. (1985). Shelf bank morphology off the Belgian coast, recent methodological and scientific developments. In: M. Van Molle (Editor), Recent trends in Physical Geography in Belgium. Liber Amicorum, L. Peeters. V.U.B., Study series of the Vrije Universiteit Brussel, New series, Brussel, pp. 47-90

Debusschere , E., Hostens, K., Vincx, M., Botteldooren, D., Degraer, S. (2013). Pilot study on the impact of impulse noise on sea bass larvae, in: Mees, J. et al. (Ed.) (2013). Book of abstracts – VLIZ Young Marine Scientists' Day. Brugge, Belgium, 15 February 2013. VLIZ Special Publication, 63: pp. 37

Debusschere, E., Hillewaert, H., Vandendriessche, S., Hostens, K., Vincx, M., Botteldooren, D., Degraer, S. (2013b). The impact of pile-driving on seabass eggs and larvae. Poster at the VLIZ Young Scientist's Day 15 February 2013. Ghent University, Marine Biology Research Group/ILVO: Gent. 1 poster pp.

DECC (2011). Guidance Notes for Industry: Decommissioning of Offshore Installations and Pipelines under the Petroleum Act 1998, Offshore Decommissioning Unit, Department of Energy and Climate Change, Aberdeen

Decloedt, S., De Poorter, J., Botteldooren, D. (1998). Vakgroep Informatietechnologie, Groep Akoestiek, RUG, 'Onderzoek naar het stiltekarakter van gebieden: Het Zwin', Gent, studie in opdracht van AMINAL.

DEFRA (2002). Guidelines for Environmental Risk Assessment and Management, Department for Environment Food and Rural Affairs, September 2002.

Degraer, S., Vincx, M., Meire, P., (1999). Macrobenthic community changes: dynamics versus stability and their importance in coastal zone management. In: Degraer, S. (Ed.), Macrobenthos of Shallow Marine Habitats (Belgian coast) and its Use in Coastal Zone Management. Ph.D. Thesis, Ghent University, Belgium, unpublished.

Degraer, S., Wittoeck, J., Appeltans, W., Cooreman, K., Deprez, T., Hillewaert, H., Hostens, K., Mees, J., Vanden Berghe, W., Vincx, M. (2006). De macrobenthos atlas : van het Belgisch deel van de Noordzee. Federaal Wetenschapsbeleid: Brussel. ISBN 90-810081-5-3. 163 pp.

Degraer, S. & Brabant, R. (Eds.) (2009). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: State of the art after two years of environmental monitoring. Royal Belgian Institute for Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 287 + annexes.

Degraer, S., Braeckman, U., Haelters, J., Hostens, K., Jacques, T., Kerckhof, F., Merckx, B., Rabaut, M., Stienen, E., Van Hoey, G., Van Lancker, V. & Vincx, M. (2009). Studie betreffende het opstellen van een lijst met potentiële Habitatrichtlijn gebieden in het Belgische deel van de Noordzee. Eindrapport in opdracht van de Federale Overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu, Directoraat-generaal Leefmilieu. Brussel, België. 93

Degraer, S., Brabant, R. & Rumes, B. (Eds.) (2010a). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Early environmental impact assessment and spatio-temporal variability. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 184 + annexes.

Degraer, S., Courtens, W., Haelters, J., Hostens, K., Jacques, T., Kerckhof, F., Stienen, E. & Van Hoey, G. (2010b). Bepalen van instandhoudingsdoelstellingen voor de beschermde soorten en habitats in het Belgische deel van de Noordzee, in het bijzonder in beschermde mariene gebieden. Eindrapport in opdracht van de Federale Overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu, Directoraat-generaal Leefmilieu. Brussel, België. 132.

Degraer, S., Brabant, R. & Rumes, B., (Eds.) (2011). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Selected findings from the baseline and targeted monitoring. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 157 + annex.

Degraer, S., Brabant, R. & Rumes, B., (Eds.) (2012). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Heading for an understanding of environmental impacts. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 155 + annex.

Degraer, S., Brabant, R., Rumes, B., (Eds.) (2013a). Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Learning from the past to optimize future monitoring programmes. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Marine Ecology and Management Section. 239 pp.

Degraer, S., Kerckhof, F., Reubens, J., Vanermen, N., De Mesel, I., Rumes, B., Stienen, E., Vandendriessche, S. & Vincx, M. (2013b). Not necessarily all gold that shines: appropriate ecological context setting needed! In: Degraer, S., Brabant, R., Rumes, B., (Eds.) (2013a).

Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Learning from the past to optimize future monitoring programmes. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Marine Ecology and Management Section. 239 pp.

Degrendele, K., Roche, M. & Schotte, P. (2003). Kaartblad Thorntonbank (2003), Intern document van de FOD Economie, K.M.O., Middenstand & Energie, Algemene Directie Kwaliteit en Veiligheid, Fonds voor Zandwinningen.

Dekker, W., Deerenberg, C., Daan, N., Storbeck, F. & Brinkman, A.G. (2009). Marine Protected Areas and commercial fisheries: the existing fishery in potential protected areas, and a modelling study of the impact of marine protected areas on North Sea Plaice. IMARES Rapport number C066/09.

Deleu S., Van Lancker V., Van den Eynde D., Moerkerke G. (2004). Morphodynamic evolution of the kink of an offshore tidal sandbank: the Westhinder Bank (Southern North Sea). Continental Shelf Research, 24, 1587–1610.

Deleu, S. (2001). Zeebodemmobiliteitsstudie van de Hinderbanken regio. Scriptie voorgelegd voor het verkrijgen van het Diploma van licentiaat in de Geologie. Universiteit Gent.

DEME (2008). Gravity based foundations for the Thornton bank offshore wind farm (Bosschem, E., Nonneman, H., Peire, K.). CEDA Dredging days: Dredging facing Sustainability, Antwerpen.

Derous, S., Verfaillie, E., Van Lancker, V., Courtens, W., Stienen, E.W.M., Hostens, K., Moulaert, I., Hillewaert, H., Mees, J., Deneudt, K., Deckers, P., Cuvelier, D., Vincx, M. & Degraer, S. (2007). A biological valuation map for the Belgian part of the North Sea: BWZee, Final report, Research in the framework of the BELSPO programme 'Gobal chance, ecosystems and biodiversity' – SPSD II, March 2007, 99 (+ Annexes).

Derweduwen, J., Vandendriessche, S. & Hostens, K. (2010). Monitoring of the effects of the Thorntonbank and Blighbank wind farms on the epifauna and demersal fish fauna of soft-bottom sediments: Thorntonbank: status during construction (T2), Blighbank: status during construction (T1). pp. 105-131 in Degraer, S., Brabant, R. & Rumes, B. (Eds.) (2010a). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Early environmental impact assessment and spatio-temporal variability. Royal Belgian Institute for Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 184. + annexes.

DFO (2009). Assessment of Tidal and Wave Energy Conversion Technologies in Canada, DFO Canada, Scientific Advisory Secretariat. Scientific Advisory Report 2009/064, Ottawa.

DHI, (2009). Anholt Offshore Wind Farm. Hydrography, sediment Spill, water quality, geomorphology and coastal morphology. In opdracht van Energinet.dk.

DHV Ruimte en Mobiliteit BV (2004), Geluidseffecten scheepvaartlawaai (metingen, literatuurstudie en ontwikkeling rekentool

Dickey-Collas, M., Nash, R. D. M., Brunel, T., van Damme, C. J. G., Marshall, C. T., Payne, M. R., Corten, A., Geffen, A. J., Peck, M. A., Hatfield, E. M. C., Hintzen, N. T., Enberg, K., Kell, L. T., and Simmonds, E. J. (2010). Lessons learned from stock collapse and recovery of North Sea herring: a review. – ICES Journal of Marine Science, 67: 1875–1886.

Diederichs, A., Nehls, G., Dähne, M., Adler, S., Koschinski, S. & Verfuß U. (2008). Methodologies for measuring and assessing potential changes in marine mammal behaviour, abundance or distribution arising from the construction, operation and decommissioning of offshore windfarms. BioConsult SH report to COWRIE Ltd.

Dierschke, V., Huppop, O., Garthe, S. (2003). Populationsbiologische Schwellen der Unzulassigkeit fur Beeintrachtigungen der Meeresumwelt am Beispiel der in der deutschen Nord- und Ostsee vorkommenden Vogelarten. Seevogel 24, 61-72.

Dietz, R., Teilmann, J., Henriksen, O.D. (2000). EIA study of offshore wind farm at Rødsand. Technical report about seals. Miljø- og Energiministeriet, National Environmental Research Institute. 46.

Di Marcantonio M. (2014). Samenvatting v.d. volledige milieuvergunningsprocedure in de vorm v.e. flow-chart. BMM

DNV (2008). Technical report. Navigational Risk Assessment Eldepasco Wind Farm. October 2008.

DNV (2010). JIP(Joint Industry Project)-Summary report from JIP on the Capacity of grouted connections in offshore wind turbine structures; report No. 2010-1053 rev.05, DNV 2011/05/12

DNV (2011). http://www.dnv.com/press_area/press_releases/2011/new_design_practices_offshore_wind_turbine_structures.asp , website geraadpleegd juni 2012

Dolman, S.J., Simmonds, M.P. & Keith, S. (2003). Marine wind farms and cetaceans. International Whaling Commission, doc. IWC/SC/55/E4. 17.

Dong energy, Vattenfall, Danish Energy Authority & Danish Forest and Nature Agency (2006). Danish offshore wind – key environmental issues. 142.

Dagorn, L., Holland, K. N., Restrepo, V. and Moreno, G. (2013). Is it good or bad to fish with FADs? What are the real impacts of the use of drifting FADs on pelagic marine ecosystems? Fish and Fisheries, 14: 391–415.

Drewitt, A. & Langston, R.H.W. (2006). Assessing the impacts of wind farms on birds. British Ornithologists' Union, Ibis 148: 29 – 42.

DTI (2005). Guidance on the assessment of the impact of offshore wind farms. Seascape and visual impact report. 127.

DTI (2006). Decommissioning of Offshore Renewable Energy Installations under the Energy Act 2004: Guidance Notes for Industry, Department for Trade and Industry, Londen, December 2006.

Dulière, V. en Legrand, S., (2011). Oil Spill drift study for Norther, 12. Annex in BMM (2011): Milieueffectenbeoordeling van het NORTHER offshore windmolenpark ten zuidoosten van de Thorntonbank. Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, Beheerseenheid Mathematisch Model van de Noordzee, Afdeling Beheer van het Mariene Ecosysteem (BMM), Brussel. 200.

Dürr, T., Bach. L. (2004). Bat deaths and wind turbines –a review of current knowledge, and of the information available in the batabase for Germany. Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz 7: 253–264.

Duyzer, J.H. (2009). Betere luchtkwaliteit in havengebieden. TNO Magazine. http://www.tno.nl/content.cfm?context=overtno&content=nieuwsbericht&laag1=37&laag2=69&item_id=2009-10-14%2019:56:45.0&Taal=1

Dyer, K.R. and Huntley, D.A. (1999). The origin, classification and modelling of sand banks. Continental Shelf Research, 19, 1285-1330.

EC (2010). Marine ecosystem impacts of wave energy intallations. Science for Environment Policy, European Commission DG Environment News Alert Service, edited by SCU, The University of the West of England, Bristol.

Ecofys (2006). Achtergronddocument bij MER Offshore Windturbinepark Scheveningen Buiten. 135 p.

Ecolas NV - Arcadis Belgium (2008). Milieueffectenrapport voor een offshore windturbine-park op de Bank zonder Naam. Uitgevoerd in opdracht van Eldepasco.

Ecolas NV (2003). Milieueffectenrapport voor een Offshore windturbinepark op de Thorntonbank. Uitgevoerd in opdracht van C-Power. 241 + app.

Ecolas NV (2006). Milieueffectenrapport voor de extractie van mariene aggregaten op het BDNZ. Uitgevoerd in opdracht van Zeegra vzw & AWZ Afdelingen Kust en Maritieme Toegang. 194 + app.

Ecolas NV (2007). Milieueffectenrapport voor een Offshore windturbinepark op de Blighbank. Uitgevoerd in opdracht van Belwind. 306 + app.

E-connection (2007). MER Offshore windmolenpark Rijnveld Oost. 365.

E-Connection Project BV (2008), Aanvulling 3 Wbr-vergunning Windturbinepark Rijnveld Noord

Edrén, S.M.C., Teilmann, J., Carstensen, J., Harders, P., Dietz, R. (2005). Effects of Nysted Offshore Wind Farm on seals in Rødsand seal sanctuary - based on remote video monitoring and visual observations. NERI Technical report to Energi E2 A/S. Denmark. 54.

Elia (2011). Hoogspanningsnet in de Noordzee. Een toekomstvisie. http://www.elia.be/repository/Lists/Library/Attachments/1068/HSnetNoordzee-Visie.pdf

Elia (2012). Website geraadpleegd op 3/04/2012: http://www.elia.be/repository/pages/f42a7a66e7d04b9a9a6ae13789481313.aspx

Elsam Engineering & ENERGI E2 (2005). Review report 2004: The Danish Offshore Wind Farm Demonstration Project: Horns Rev and Nysted Offshore Wind Farms - Environmental impact assessment and monitoring. Denmark. 135.

Entec (2002). Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community; Report on behalf of the European Commission ENV.C1, 88 pp.

Everaert J., Devos K. & Kuijken E. (2002). Windturbines en vogels in Vlaanderen. Voorlopige onderzoeksresultaten en buitenlandse bevindingen. Instituut voor Natuurbehoud, Rapport 2002.3, Brussel.

Everaert, J. & Stienen, E.W.M. (2006). Impact of wind turbines on birds in Zeebrugge (Belgium). Significant effect on breeding tern colony due to collisions. Biodiversity and

Conservation, online publication DOI 10.1007/s10531-006-9082-1. The publication is available at www.springerlink.com.

Everaert J. & Peymen J. (2013). Aanvullingen op het rapport “Risico’s voor vogels en vleermuizen bij geplande windturbines in Vlaanderen (INBO.R.2011.32)”. Aanzet voor een beoordelings- en significantiekader. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2013 (INBO.R.2013.44). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Fabi, G., Grati, F., Lucchetti & Trovarelli, L. (2002). Evolution of fish assemblage around a gos platform in the norhtern Adriatic Sea. ICES Journal of Marine Science, 59, Supp. 1, 309-315.

Fettweis, M., Francken, F., Van den Eynde, D., Houziaux, J.-S., Vandenbergh, N., Fontaine, K., Deleu, S., Van Lancker, V., Van Rooij D. (2005). Mud Origin, Characterisation and Human Activities (MOCHA): Characteristics of cohesive sediments on the Belgian Continental Shelf. Scientific Report Year 1, Belgian Science Policy. 70.

Flemtek-IMDC (2012). Milieueffectenrapport windmolenpark Rentel. Radar en marifone communicatie. I/RA/11397/12.132/MIM/. In opdracht van Rentel NV.

Flemtek-IMDC (2013). Milieueffectenrapport windmolenpark SeaStar. Radar en marifone communicatie. I/RA/11421/13.127/MIM/. In opdracht van THV SeaStar.

Flemtek-IMDC (2014). Studie omtrent de mogelijke invloed van een energiepark Mermaid en windpark Northwester 2 met betrekking tot: de SRK-radarinstallaties, de scheepsradar en de marifone communicatie. In samenwerking met IMDC.

FOD Leefmilieu (2013). Openbare raadpleging over het marien ruimtelijk plan en het milieueffectenrapport. http://www.health.belgium.be/eportal/Environment/Inspectionandenvironmentalrigh/Environmentalrights/PublicConsultations/seaspatialplan/index.htm#.UdQxiPndduJ , geraadpleegd op 3 juli 2013.

Foglia, A., Ibsen, L.B., Vabbersgaard Andersen, L., Ravn Roesen, H. (2012). Physical modelling of bucket foundation under long-term cyclic lateral loading. Proceedings of the 22th International Offshore and Polar Engineering Conference. Rhodos, Griekenland, 17-22 juni 2012.

Fox, A.D., Desholm, M., Kahlert, J., Christensen, T.K. and Petersen, K.. 2006. Information needs to support environmental impact assessment of the effects of European marine offshore wind farms on birds Ibis 148 (Suppl. 1): 129–144.

Frid, C., Andonegi, E., Depestele, J., Judd, A., Rihan, D., Rogers S.I., Kenchington, E. (2011). The environmental interactions of tidal and wave energy generation devices. Environmental Impact Assessment Review. doi:10.1016/j.eiar.2011.06.002

Gerasch (2007). Schallimmissionen und Schallschutz beim Rammen des Monopiles FINO 3. Institut für Statik und Dynamik, Germany.

Geoloket provincie Zeeland (2014). http://zldags.zeeland.nl/geo/ (geraadpleegd op 12 februari 2014).

Gill, A.B. & Taylor, H. (2001). The potential effects of electromagnetic fields generated by cabling between offshore wind turbines upon elasmobranch fishes, Countryside Council for Wales, Contract Science Report 488.

Gill, A.B., Gloyne-Phillips, I., Neal, K.J. & Kimber, J.A. (2005). The potential effects of electromagnetic fields generated by sub-sea power cables associated with offshore wind farm developments on electrically and magnetically sensitive marine organisms – a review. Report commissioned by COWRIE. 128 p.

Gill, A.B., Huang, Y., Gloyne-Philips, I., Metcalfe, J., Quayle, V., Spencer, J. & Wearmouth, V. (2009). COWRIE 2.0 Electromagnetic Fields (EMF) Phase 2: EMF-sensitive fish response to EM emissions from sub-sea electricity cables of the type used by the offshore renewable energy industry. 128 p.

Gill, A.B., Gloyne-Phillips, I., Kimber, J.A. & Sigray P. (2014). Marine renewable energy, electromagnetic (EM) fields and EM-sensitive animals. In *Shields, M.A., Payne, A. (2014) Marine renewable energy technology and environmental interactions. Springer Science + Business Media Dordrecht.*

Gordon, J., D. Thompson, D. Gillespie, M. Lonergan, S. Calderan, B. Jaffey, and V. Todd. (2007). Assessment of the potential for acoustic deterrents to mitigate the impact on marine mammals of underwater noise arising from the construction of offshore windfarms. COWRIE, Ltd.

Grontmij (2006). Offshore windmolenpark Katwijk – Milieueffectrapport. Definitief. In opdracht van WEOM. 335.

Grontmij (2008). Windmolenpark ELNU – Toelichting visualisaties en zichtbaarheidskaarten. 9.

Grontmij (2010). Studieopdracht – Monitoring van de effecten van far-shore windmolenparken op het landschap - deel socio-landschappelijk onderzoek. Referentie 258468_Eindrapport. Studie op opdracht van BMM. 149.

G-tec (2013). Offshore windfarm seabed survey Mermaid– Geophysical Survey results (Ref. 13DZ_054 v2.0).

Haelters, J. (2009). Monitoring of marine mammals in the framework of the construction and exploitation of offshore wind farms in Belgian marine water. 237-266 in Degraer, S. & Brabant, R. (2009). Offshore wind farms in the Belgian Part of the North Sea. State of the art after two years of environmental monitoring. Royal Belgian Institute for Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 287. + annexes.

Haelters, J. & Camphuysen, K.C.J. (2009). The harbour porpoise in the southern North Sea: Abundance, threats and research- & management proposals. Project financed by IFAW (International Fund for Animal Welfare). 58.

Haelters, J., Norro, A., Jacques, T.G. (2009). Underwater noise emission during the phase I construction of the C-Power wind farm and baseline for the Belwind wind farm. 17-37. In: Degraer, S. & Brabant, R. (2009). Offshore wind farms in the Belgian Part of the North Sea. State of the art after two years of environmental monitoring.

Haelters, J. (2010). Contribution to CLIMAR – Marine Mammals. 7

Haelters, J., Jacques, T.G., Kerckhof, F. & Degraer, S. (2010). Spatio-temporal patterns of the harbor porpoise Phocoena phocoena in the Belgian part of the North Sea. 153-163 in Degraer, S., Brabant, R. & Rumes, B. (Eds.) (2010a). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Early environmental impact assessment and spatio-temporal variability. Royal

Belgian Institute for Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 184. + annexes.

Haelters, J., Kerckhof, F., Vigin, L. & Degraer, S., (2011). Offshore windfarm impact assessment: monitoring of marine mammals during 2010. 131-146 37 in Degraer, S., Brabant, R. & Rumes, B., (Eds.) (2011). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Selected findings from the baseline and targeted monitoring. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 157. + annex.

Haelters, J., Kerckhof, F., Jauniaux, T. & Degraer, S. (2012b). The Grey Seal (Halichoerus grypus) as a Predator of Harbour Porpoises (Phocoena phocoena)? Aquatic Mammals 38(4): 343-353.

Haelters, J., Van Roy, W., Vigin, L. & Degraer, S., (2012b). The effect of pile driving on harbour porpoises in Belgian waters. pp. 127-143 in Degraer, S., Brabant, R. & Rumes, B., (Eds.) (2012). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Heading for an understanding of environmental impacts. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models, Marine ecosystem management unit. 155 pp. + annexes.

Haelters, J. (2013). Opmerkelijke aantallen bruinvissen in de eerste helft van 2013. De Strandvlo 33(2): 55-58.

Haelters, J., Vigin, L. & Degraer, S., (2013a). Attraction of harbour porpoises to offshore wind farms: what can be expected? In: Degraer, S., Brabant, R., Rumes, B., (Eds.) (2013a). Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Learning from the past to optimize future monitoring programmes. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Marine Ecology and Management Section. 239 pp.

Haikonen, K., Sundberg, J., Leijon, M. (2013). Characteristics of the Operational Noise from Full Scale Wave Energy Converters in the Lysekil Project: Estimation of Potential Environmental Impacts. Energies 2013, 6, 2562-2582.

Hansen, N.E.O. and Gislason, K., (2002). Movable scour protection on highly erodible sea bottom. Dec. 2002. Report to the UVE programme J.Nr. 51171/00-0039.

Hastings, M. C., Popper, A. N. (2005). Effects of sound on fish. Report to California Department of Transportation Contract No. 43A0139, Task Order 1.

Henriksen, O.D., Teilmann, J. & Karstensen, J. (2003). Effects of the Nysted offshore wind fam construction on harbour porpoises – the 2002 annual status report for the acoustic T-POD monitoring programme. Technical report commissioned by ENERGI E2 A/S, August 2003. National Environmental Research Institute, Ministry of the Environment, Denmark. 44.

Hill M.O. (1973) Diversity and eveness: a unifying notation and its consequences. Ecology, 54: 427-432.

Hillewaert, H. & Maertens, B. (2003). Trends in the spatial distribution of macrobenthos along the Belgian coast. ICES WGEXT Report 2003, 93-95.

Hiscock, K., Tyler-Walters, H. & Jones, H., (2002). High level environment screening study for offshore wind farm developments - marine habitats and species project. Report from the

Marine Biological Association to The Department of Trade and Industry New & Renewable Energy Programme. (AEA Technology, Environment Contract: W/35/00632/00/00). 156.

Hoffmann, E., Astrup, J., Larsen, F. & Munch-Petersen, S. (2000). Effects of marine windfarms on the distribution of fish, shellfish and marine mammals in the Horns Rev area. Baggrundsrapport nr. 24. 42.

Hofkens, E., Roosens, I. (eds.) (2001). Nieuwe impulsen voor de landschapszorg. De landschapsatlas: baken voor een verruimd beleid. M&L-cahier 5. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap: Afdeling Monumenten en Landschappen.

Houbolt, J.J.H.C., (1968). Recent sediments in the Southern Bight of the North Sea. Geologie & Mijnbouw, 47(4): 245-273.

Huddleston, J. (ed.) (2010). Understanding the environmental impacts of offshore windfarms. COWRIE 2010. 138.

Hüppop, O., Dierschke, J., Exo, K. M., Fredrich, E. and Hill, R. (2006) 'Bird migration studies and potential collision risk with offshore wind turbines', Ibis, vol 148, 90–109.

Ibsen, L.B., Liingaard, M., Nielsen, S.A. (2005). Bucket foundation, a status. Conference proceedings, Copenhagen Offshore Wind.

ICES (2003). Report of the benthic ecology working group. ICES CM/2003/E:09.

ICES (2010). Report of the Working Group on Marine Mammal Ecology. April 12–15 2010, Horta, The Azores. IMDC, 2008a. Method statement current, water level, wave height and turbidity measurements. Report I/NO/08000/07.274/JME, 28 pp.

ICPC (2007). ICPC Recommendation n°3, issue 9A: Criteria to be applied to proposed crossings between submarine telecommunication cables and pipelines/power cables".

IJsseldijk, L.L. & Begeman, L. (2013). Increase in strandings of harbour porpoises (Phocoena phocoena) on the Dutch coast in April and May 2013. Rapport van de Faculteit Diergeneeskunde, Universiteit van Utrecht.

IMDC (2009). Wind farm Thornton Bank Phase 1. Detailed Design scour and scour protection design. 26-40377-200; 1- ENG-DES -TN-007_rev5. I.s.m. Technum, Dong Energy.

IMDC (2010a). MER voor de extractie van mariene aggregaten in de exploratiezone van het Belgisch deel van de Noordzee. In opdracht van de Vlaamse Overheid – Afdeling kust. I/RA/11361/10.043/RDS.

IMDC (2010b). Het effect van elektromagnetische velden afkomstig van onderzeese kabels op vissen. In opdracht van C-Power. I/NO/14125/10.297/MSM/.

IMDC (2010c). Wind Farm Dan Tysk: Construction Tender. Preliminary Scour Protection Design. In opdracht van DEME. I/RA/17133/10.169/ABO.

IMDC (2011). Design Basis Part A.4. Site specific wind data. In opdracht van Northwind. NWD-FND-DB-GEN-REP-005-DB_PartA4.

IMDC (2012a). Milieueffectenrapport windmolenpark Rentel. In opdracht van Rentel NV. I/RA/11397/11.188/RDS.

IMDC (2012b). Nota korrelgrootteclassificatie. In opdracht van de Vlaamse Overheid – Afdeling Kust. I/NO/11310/12.021/ABO.

IMDC (2012c). Het effect op vissen van elektromagnetische velden afkomstig van onderzeese kabels van het windmolenpark Belwind. In opdracht van Belwind. I/NO/14168/12.016/cpa/.

IMDC (2013a). Environmental Impact Assessment wind farm SeaStar. Numeric modelling of sediment transport. I/RA/11413/13.113/MIM.

IMDC (2013b). Environmental Impact Assessment wind farm SeaStar. Numeric modelling of dredging plume dispersion. I/RA/11413/13.114/MIM.

IMDC (2013c). Milieueffectenrapport windmolenpark SeaStar. Life cycle analysis. I/RA/11421/13.126/MGO

IMDC (2013d). Belgian Offshore Grid. Milieueffectenrapport. In opdracht van Elia Asset N.V. I/RA/11413/12.266/CPA

IMDC (2013e). Milieueffectenrapport windmolenpark SeaStar. In opdracht van THV SeaStar. I/RA/11421/12.201/MIM

IMDC (2014a). Environmental Impact Assessment wind farm Mermaid and Northwester2. Numeric modelling of sediment transport. I/RA/11441/14.012/MIM.

IMDC (2014b). Environmental Impact Assessment wind farm Mermaid and Northwester2. Numeric modelling of dredging plume dispersion. I/RA/11441/14.013/MIM.

IMDC (2014c). Milieueffectenrapport windmolenpark Mermaid en Northwester2. Life cycle analysis: windmolenpark en kabels. I/RA/11441/14.014/MIM

IMDC (2014d). Milieueffectenrapport windmolenpark Mermaid en Northwester2. Life cycle analysis: golfenergieconvertoren in windmolenpark Mermaid. I/RA/11441/14.105/MGO

IMDC-Technum (2013). Offshore Wind Farm Rentel. Multi-criteria analysis – Foundation type feasibility. Rentel_TN003

IMO (1972). London Convention (1972). Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and other Matter. United Nations Conference on the Human Environment.

IMO (1989). Guidelines and Standards for the Removal of Offshore Installations and Structures on the Continental Shelf and in the Exclusive Economic Zone', International Maritime Organization,19 October 1989.

IMO (1996). 1996 Protocol to the Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, 1972.

Institut für Statik und Dynamik (2007). Standardverfahren zur Ermittlung und Bewertung der Belastung der Meeresumwelt durch die Schalimmission von Offshore-Windenergieanlagen, Report BMU-Forschungsvorhaben 0329947

IPCC (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

ISO 9613-1 (2006), Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 1 – Calculation of the absorption of sound by the atmosphere.

ISO 9613-2 (2006), Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2 – General method of calculation.

ITOPF (2013). Overzichtsstatistieken van accidentele olieverontreinigingen. Webpagina beschikbaar op 03/07/2013. http://www.itopf.com/information-services/data-and-statistics/statistics/index.html

Jackson, A. (2014). Riding the waves: use of the Pelamis device by seabirds. Proceedings of the 2nd International Conference on Environmental Interactions of Marine Renewable Energy Technologies (EIMR2014), 28 April – 02 May 2014, Stornoway, Isle of Lewis, Outer Hebrides, Scotland.

Jak, R.G., Bos, O.G., Witbaard, R. & Lindeboom, H.J. (2009). Instandhoudingsdoelen Natura 2000-gebieden Noordzee. Rapport nr. C065/09, IMARES, Wageningen UR, in opdracht van het Ministerie LNV, 177.

Jensen, A.C., Collins, K.J. & Lockwood, A.P.M. (eds.) (2000). Artificial reefs in European seas. Kluwer Academic Publishers. 508.

Jonge Poerink, B.; Lagerveld, S.; Verdaat, J.P. (2013) Pilot study Bat activity in the dutch offshore wind farm OWEZ and PAWP**.** IMARES report C026/13 - tFC report 20120402.

Joshi, S., Drzal, LT, Mohanty, AK (2003). Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? International LCA Conference, 22-25 September 2003, Seattle.

JRC (2011). European Commission, Joint Research Centre (JRC)/PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), release version 4.2. http://edgar.jrc.ec.europe.eu, 2011

Kejin, L. (2012). Use of suction caissons for foundations for underwater infrastructure and underwater city of the future. Nanyang Technological University, Industrial Infrastructure Innovation Centre (Workshop op 8 februari 2012).

Kerckhof, F., Degraer, S., Norro, A. & Rumes, B., (2011). Offshore intertidal hard substrata: a new habitat promoting non-indigenous species in the Southern North Sea: an exploratory study. 27-37 in Degraer, S., Brabant, R. & Rumes, B., (Eds.) (2011). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Selected findings from the baseline and targeted monitoring. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 157. + annex.

Kerckhof, F., Haelters, J. & Gollasch, S. (2007). Alien species in the marine and brackish ecosystem: the situation in Belgian waters. Aquatic Invasions 2(3): 243-257.

Kerckhof, F., Norro, A., Jacques, T.G. & Degraer, S. (2009). Early colonisation of a concrete offshore windmill foundation by marine biofouling on the Thornton Bank (southern North Sea). 39-51 in Degraer, S. & Brabant, R. (2009). Offshore wind farms in the Belgian Part of the North Sea. State of the art after two years of environmental monitoring.Royal Belgian Institute for Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 287 + annexes.

Kerckhof, F., Rumes, B., Norro, A., Jacques, T.G. & Degraer, S. (2010). Seasonal variation and vertical zonation of the marine biofouling on a concrete offshore windmill foundation on the Thornton Bank (southern North Sea). 53-68 in Degraer, S., Brabant, R. & Rumes, B. (Eds.) (2010a). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Early environmental impact assessment and spatio-temporal variability. Royal Belgian Institute for Natural

Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 184 + annexes.

Klaus Betke (2008). Report ITAP 2008 - Measurement of wind turbine construction noise at Horns Rev II. Ref. No. 1256-08-a-KB. Institut für technische und angewandte Physik GmbH, Oldenburg, Germany.

Kleissen, F.M. (2003). Oliedispersie studie ter hoogte van het C-Power windturbinepark op de Thorntonbank. W.L. Delft Hydraulics. 13

KMI (2013). www.meteo.be. Geraadpleegd op 18 december 2013.

Knudzen, V.O., Alford, R.S., Emling, J.W. (1948). Underwater Ambient Noise. Journal Maritime Research, 7:410.

Kongsberg (2012). Underwater noise impact study in support of the Oyster Wave Energy Porject, Isle of Lewis. 250121-TR-0005-V1.

Koschinski S, Culik B, Henriksen OD, Tregrenza N, Ellis G, Jansen C, Kathe G (2003). Behavioural reactions of freeranging porpoises and seals to the noise of a simulated 2 MW windpower generator. Mar Ecol Prog Ser 265: 263–273.

Koschinski, S., Lüdemann, K. (2013). Development of noise mitigation measures in offshore wind farm Construction. Rapport in opdracht van Bundesamt für Naturschutz.

Krijgsveld K.L., R.C. Fijn, M. Japink, P.W. van Horssen, C. Heunks, M.P. Collier, M.J.M. Poot, D. Beuker & S. Dirksen (2011). Effect studies Offshore Wind Farm Egmond aan Zee: Final report on fluxes, flight altitudes and behaviour of flying birds. NoordzeeWind report nr OWEZ_R_231_T1_20111114_flux&flight, Bureau Waardenburg report nr 10-219.

Lagerveld, S., Jonge Poerink, B., Verdaat, H. & Haselager, R. (2013). Bat activity in Dutch offshore wind farms. Imares Wageningen UR. Poster WinMonConf Brussel.

Lambers, R., Hille Ris & Hofstede, R. ter. (2009). Refugium Effects of the MEP - NSW Windturbinepark on Fish: Progress Report 2007. Interim report demersal fish. IMARES report. 23 pp.

Lanckneus, J., Van Lancker, V., Moerkerke, G., Van den Eynde, D., Fettweis, M., De Batist, M. & Jacobs, P. (2001) – "Investigation of the natural sandtransport on the Belgian Continental Shelf (BUDGET)", Final Report. Federal Office for Scientific, Technical and Cultural Affairs (OSTC), 104 +87 Annex.

Le Blanc Bakmar, C. (2009). The monopod bucket foundation: recent experience and challenges ahead. Powerpoint presentation for Hamburg Offshore Wind 12 mei 2009.

Le Bot, S., Van Lancker, V., Deleu, S., De Batist, M., Henriet, J.P. & Haegeman, W., (2005). Geological characteristics and geotechnical properties of Eocene and Quaternary deposits on the Belgian continental shelf: synthesis in the context of offshore wind farming. Netherlands Journal of Geosciences — Geologie en Mijnbouw, 84 – 2, 147 – 160.

Le Roy, D., Volckaert, A., Vermoote, S., de Wachter, B., Maes, F., Coene, J. & Calewaert, J.B. (2006). Risk Analysis of Marine Activities in the Belgian part of the North Sea (RAMA). SPSDII, April 2006.

Ledec, G. (2012). Making wind power more biodiversity-friendly: the role of environmental assessment. IAIA12 Conference Proceedings.

Lensink, R., van Gasteren, H., Hustings, F., Buurma, L., van Duin, G., Linnartz, L., Vogelzang, F. & Witkamp, C., (2002). Vogeltrek over Nederland 1976-1993. Schuyt & Co, Haarlem, ISBN 90-6097-566-9.

Leonhard, S.B. & Pedersen, P. (2005). Hard Bottom Substrate Monitoring Horns Rev Offshore Wind Farm. Annual Status report 2003: 1-62. Report request. Commissioned by Elsam Engineering A/S.

Leonhard, S.B. & Pedersen, P. (2006). Benthic Communities at Horns Rev Before, During and After Construction of Horns Rev Offshore. Annual Status report 2005. 134 pp. Commissioned by Elsam Engineering A/S.

Leonhard, S.B. (2000). Horns Rev Offshore Wind Farm. Environmental Impact Assessment of Sea Bottom and Marine Biology. Report request. Commissioned by Elsam Engineering A/S.

Leonhard, B.S., Stenberg, C., Stottrup, J., Van Deurs, M., Christensen, A., Pedersen, J. (2013). Fish – Benefits from offshore wind farm development. In: Danish Offshore Wind – Key Environmental Issues – a follow-up. The Danish Energy Authority, The Danish Nature Agency, DONG Energy and Vattenfall. pp. 30-45

Leopold, M.F., Camphuysen C.J., Verdaat H., Dijkman E.M., Meesters H.W.G., Aarts G.M., Poot M., Fijn R. (2009). Local Birds in and around the OffshoreWind Park Egmond aan Zee (OWEZ) (T-0 en T- IMARES, Wageningen UR Report number: OWEZ R 221 T1 20100329, 269.

Leopold M.F., Verdaat H., Spierenburg P., & van Dijk J. (2010). Zee-eendenvoedsel op een recente zandsuppletie bij Noordwijk. IMARES rapport C021/10.

Leopold, M.F. & Camphuysen, C.J. (2007). Did the pile driving during the construction of the Offshore Wind Farm Egmond aan Zee, the Netherlands, impact local seabirds? NoordzeeWind.

Leopold, M.F. & Camphuysen, C.J. (2008). Did the pile driving during the construction of the Offshore Wind Farm Egmond aan Zee, the Netherlands, impact porpoises? Beschikbaar op www.noorzeewind.nl.17.

Lerch, R.N., Blanchard, P.E., and Thurman, E.M. (1998). Contribution of hydroxylated atrazine degradation products to the total atrazine load in Midwestern streams. Environmental Science Technology 32:40-48.

Lindeboom, H.J. (2002). Comparison of effects of fishing with effects of natural events and non fishing anthropogenic impacts on benthic habitats. Symposium on effects of fishing activities on Benthic habitats: Linking geology, biology, socioeconomics and management. November 2002 Tampa Florida USA.

Lindeboom, H.J. (2009). Significance & Applicability: Ecological Guidelines for Offshore Wind Energy. Conference on Offshore Wind Energy in the Netherlands - Results of We@Sea research in perspective. 1-2 december 2009, Den Helder, Nederland.

Lindeboom, H.J., Geurts van Kessel, A.J.M. & Berkenbosch, A. (2005). Gebieden met bijzondere ecologische waarden op het Nederlands Continentaal Plat. Rapport RIKZ/2005.008. Alterra rapport nr. 1109. ISBN nr. 90-369-3415-X. 103.

Lindgren, C. & Lindblom, E. (2004). Short term effects of accidental oil pollution in waters of the Nordic Countries. IVL Swedish Environmental Research Institute in collaboration with SYKE, SFT, HFS and DMU.

LNE (2013). http://www.lne.be/themas/klimaatverandering/vlaams-klimaatbeleidsplan-2013-2020 (geraadpleegd op 12 december 2013).

Lopez, J.C., Romero, P.C. (2011). Prediction of the magnetic field generated by a twisted three-core sea cable. In opdracht van Belwind NV.

López-Sanz, A., Stelzenmüller, V., Maynou, F. & Sabatés, A. (2011). The influence of environmental characteristics on fish larvae spatial patterns related to a marine protected area: The Medes islands (NW Mediterranean). Estuarine, Coastal and Shelf Science. 92:521-533.

Lu, X.B., Jiao, B.T., Zhang, X.H. (2012). Liquefaction potential of silty sand surrounding a bucket foundation under vertical vibration load. The Open Ocean Engineering Journal, 5: 27-33.

Lucke, K., Dähne, M., Peschko, V., Müller, S., Adler, S., Gilles, A., Krügel, K., Brandecker, A., Sundermeyer, J., Verfuss, U., Benke, H. en Siebert, U. (2011). StUKplus: Investigations in addition to the effects monitoring – marine mammals. Meeresumwelt-Symposium, Hamburg, Proceedings 61-62.

Mackinson, S., Curtis, H., Brown, R., McTaggart, K., Taylor, N., Neville, S. & Rogers, S. (2006). A report on the perceptions of the fishing industry into the potential socio-economic impacts of offshore wind energy developments on their work patterns and income. Sci. Ser. Tec Rep., Cefas Lowestoft, 133: 99.

Mackinson, S., Curtis, H., Brown, R., McTaggart, K., Taylor, N., Neville, S. & Rogers, S. (2006), A report on the perceptions of the fishing industry into the potential socio-economic impacts of offshore wind energy.

Madsen, P.T., Wahlberg, M., Tougaard, J., Lucke, K. and Tyack, P. (2006). "Wind turbine underwater noise and marine mammals: implications of current knowledge and data needs." Marine Ecology Progress Series 309: 279-295.

Madsen, S.,, Vabbersgaard Andersen, L., Ibsen, L.B. (2012). Buckling of bucket foundations - sensitivity to shape imperfections during installation. Proceedings of the 22th International Offshore and Polar Engineering Conference. Rhodos, Griekenland, 17-22 juni 2012.

Maes, F., Coppens, J., Vanhulle, A. (2012). An ecosystem approach in sustainable fisheries management through local ecological knowledge (LECOFISH). Brugge, VandenBroele, Part I & II.

Maes, F., Schrijvers, J., Van Lancker, V., Verfaille, E., Degraer, S., Derous, S., De Wachter, B., Volckaert, A., Vanhulle, A., Vandenabeele, P., Cliquet, A., Douvere, F., Lambrecht, J. & Makgill, R. (2005). Towards a spatial structure plan for sustainable management of the sea. Research in the framework of the BELSPO Mixed Actions – SPSD II, Juni 2005. 539.

Margheritini, L., Nezhentseva, A. (2012). Scour around offshore wind turbine foundations (comparison between monopiles and bucket foundations). Presentation at DTU 15 Mei 2012. Aalborg Univeristy.

MARIN (2010). Veiligheidsstudie offshore windpark 'North Sea Power'. Rapportnummer 23307.620/1. Rapport 18/08/2010.

MARIN (2011a). Veiligheidsstudie offshore windpark 'North Sea Power'. Rapportnummer 23307.620/B3. Eindrapport 15/04/2011.

MARIN (2011b). Aanvulling veiligheidsstudie offshoe windpark 'North Sea Power'. Rapportnummer 25661-1-MSCN-rev.1. Eindrapport 19/12/2011.

MARIN (2013). Veiligheidsstudie offshore windpark 'SeaStar'. Rapportnummer 25095-1-MSCN-rev.1

MARIN-IMDC (2013). Belgian Offshore Grid. Impact tugboat op veiligheid. I/RA/11413/13.226/MSM. Reductie van scheepvaartrisico's door stationering van een sleepboot bij Belgian Offshore Grid Elia. 27150-2-MSCN-rev.1.

MARIN-IMDC (2014). Safety assessment study for offshore wind farms Mermaid and Northwester 2. Report no. 26819-1-MSCN-rev.4. I/RA/11441/14.178/MIM/.

Masden, E.A., Haydon, D.T., Fox, A.D., Furness, R.D., Bullman, R. & Desholm, M. (2009). Barriers to movement: impacts of wind farms on migrating birds. ICES Journal of Marine Science 66: 746-753.

Masden, E.A., Fox, A.D., Furness, R.W., Bullman, R., & Haydon, D.T. (2010). Cumulative impact assessments and bird/wind farm interactions: developing a conceptual framework. Environmental Impact Assessment Review. Environmental Impact Assessment Review. 30:1-7.

Mathys, M. (2009). The Quaternary geological evolution of the Belgian Continental Shelf, southern North Sea. Unpublished PhD thesis, Universiteit Gent, XXIV, 382, annexes.

Mathys, M., Van Lancker, V., Versteeg, W., De Batist, M. (2009). Wetenschappelijke begeleiding en geïntegreerde interpretatie van seismisch onderzoek en trilboringen in Exploratiezone 4 op het Belgisch Continentaal Plat. Rapport Vlaamse Overheid, Agentschap voor Maritieme Dienstverlenging en Kust, Afdeling Kust,146.

Mathys, M. (2010). Het onderwaterreliëf van het Belgisch deel van de Noordzee. Grote Rede 26, 16-26, VLIZ.

Matuschek, R., Betke, K. (2009). Measurements of construction noise during pile driving of research platforms and wind farms. NAG/DAGA 2009 Rotterdam.

McKenzie-Maxon, C., 2000, Offshore Wind-Turbine Construction, Offshore Pile-Driving Underwater and Above-water Noise Measurements and Analysis, report 00.877, Report to SEAS Distribution A.m.b.A..

Meetnet Vlaamse Banken (2012). Vlaamse Hydrografische gegevens, Hydro Meteo Atlas, consulteerbaar op http://www.vlaamsehydrografie.be/hm_atlas_cd/www/index.htm.

Meißner, K. & Sordyl, H. (2006). Literature Review of Offshore Wind Farms with Regard to Benthic Communities and Habitats. - In: Zucco, C., Wende, W., Merck, T., Köchling, I. & Köppel, J. (eds.): Ecological Research on Offshore Wind Farms: International Exchange of Experiences - PART B: Literature Review of the Ecological Impacts of Offshore Wind Farms. BfN-Skripten 186: 1-45.

Meißner, K., Bockhold, J. & Sordyl, H. (2007). Problem Kabelwärme? – Vorstellung der Ergebnisse von Feldmessungen der Meeresbodentemperatur im Bereich der elektrischen Kabel im dänischen Offshore- Windmolenpark Nysted Havmøllepark (Dänemark). In:

Meeresumwelt-Symposium 2006. Hrsg. Bundesamt für Seeschiffahrt und Hydrographie : 153-161.

Merck, T. (2009). Assessment of the environmental impacts of cables. OSPAR Commission.

Murphy, S., Tougaard, J., Wilson, B., Benjamins, S., Haelters, J., Lucke, K., Werner, S., Brensing, K., Thompson, D., Hastie, G., Geelhoed, S., Braeger, S., Lees, G., Davies, I., Graw, K.-U., Pinn, E. (2012). Assessment of the marine renewables industry in relation to marine mammals: synthesis of work undertaken by the ICES Working Group on Marine Mammal Ecology (WGMME). International Whaling Commission, IWC/64/SC MRED1.

Myhre G, Alterskjaer, K. and Lowe, D. (2009). A fast method for updating global fossil fuel carbon dioxide emissions Environ. Res. Lett. 4 034012.

Nehls *et al*. (2007). Assessment and costs of potential engineering solutions for the mitigation of the impacts of underwater noise arising from the construction of offshore windfarms. BioConsult SH report, Husum, Germany. On behalf of COWRIE Ltd.

Nedwell, J.R., Langworthy, J. & Howell, D. (2003). Assessment of sub-sea acoustic noise and vibration from offshore wind turbines and its impact on marine wildlife; initial measurements of underwater noise during construction of offshore windfarms, and comparison with background noise. Report No. 544 R 0424 commissioned by COWRIE. 72.

Nedwell, J., Howell, D. (2004). A review of offshore windfarm related underwater noise sources. Report 544 R 0308, commissioned by COWRIE.

Nedwell, J.R., Parvin, S.J., Edwards, B., Workman, R., Brooker, A.G. & Kynoch, J.E. (2007). Measurement and interpretation of underwater noise during construction and operation of offshore windfarms in UK waters. Subacoustech Report No. 544R0738 to COWRIE Ltd. 78.

Newell, R.C., Seiderer, L.J., Simpson, N.M. & Robinson, J.E. (2002). Impact of marine aggregate dredging and overboard screening on benthic biological resources in the central North Sea: Production Licence Area 408; Coal Pit. Marine Ecological Surveys Limited Technical Report No. ER1/4/02 to the British Marine Aggregate Producers Association. 72.

NOAA (2014). Trends in atmospheric carbon dioxide, www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html.

Norro, A., Haelters, J., Rumes, B. & Degraer, S. (2010). Underwater noise produced by the piling activities during the construction of the Belwind offshore wind farm (Blighbank, Belgian marine waters). 37-51 in Degraer, S., Brabant, R. & Rumes, B. (Eds.) (2010). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Early environmental impact assessment and spatio-temporal variability. Royal Belgian Institute for Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 184 + annexes.

Norro, A., Rumes, B. & Degraer, S. (2011). Characterisation of the operational noise, generated by offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea. 17-26 in Degraer, S., Brabant, R. & Rumes, B., (Eds.) (2011). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Selected findings from the baseline and targeted monitoring. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 157. + annexes.

Norro, A., Rumes, B. & Degraer, S. (2012). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea – Differentiating between underwater construction noise of monopile and jacket foundation wind turbines: A case study from the Belgian part of the North Sea. Royal Belgian

Institute of Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models, Marine Ecosystem Management Section.

Norro, A., Botteldooren, D., Dekoninck, L., Haelters, J., Rumes, B., Van Renterghem, T. & Degraer, S. (2013). Qualifying and quantifying offshore wind farm-generated noise. In: Degraer, S., Brabant, R., Rumes, B., (Eds.) (2013a). Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Learning from the past to optimize future monitoring programmes. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Marine Ecology and Management Section. 239 pp.

Öhman M., Sigray P. en Westerberg H. (2007). Offshore windmills and the effects of electromagnetic fields on fish. Ambio 36: 630-633.

OSPAR (2000). Quality Status Report 2000 Region II - Greather North Sea OSPAR Commission. 136.

OSPAR (2006). Review of the current state of knowledge on the environmental impacts of the location, operation and removal/disposal of offshore wind-farms. Status report April 2006, OSPAR Commission. Publication number 278/2006. 34.

OSPAR (2008a). Assessment of the environmental impact of offshore wind-farms. OSPAR Commission. Publication number 385/2008. 36.

OSPAR (2008b). Background Document on potential problems associated with power cables other than those for oil and gas activities. OSPAR Commission. Publication number 370/2008. 50.

OSPAR (2009a). Assessment of the environmental impact of underwater noise. OSPAR Biodiversity series, publication 436.

OSPAR (2009b). Overview of the impacts of anthropogenic underwater sound in the marine environment. OSPAR Biodiversity series, publication 441. 134.

OSPAR (2010). Quality status raport 2010. Assessment of the impact of shipping on the marine environment.

OSPAR (2012). Guidelines on Best Environmental Practice (BEP) in cable laying and Operation. OPSAR Commission, Agreement 2012-02. 16 pp.

Paelinckx, D., Sannen, K., Goethals, V., Louette, G., Rutten, J. & Hoffmann M., (2009). Gewestelijke doelstellingen voor de habitats en de soorten van de Europese Habitat- en Vogelrichtlijn voor Vlaanderen. Mededelingen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek INBO.M.2009.6. INBO, Brussel.

Patel, S.K., Singh, B. (2012). Study on installation and pullout of suction caisson foundation for offshore wind turbines. SAITM Research Symposium on Engineering Advancements.

Patricio, S., Soares, C., Sarmento, A. (2009). Underwater noise modeling of wave energy devices. Proceedings of the 8th European Wave and Tidal Energy Conference, Uppsala, Zweden.

Petersen, I.K and Fox, A.D.(2007). Changes in bird habitat utilization, around the Horns Rev 1 offshore wind farm, with particular emphasis on Common Scoter. Report request. Commissioned by Vattenfall A/S. National Environmental Research Institute. 36.

Petersen, I.K., Christensen, T.K., Kahlert, J., Desholm, M. & Fox, A.D. (2006). Final results of bird studies at the offshore wind farms at Nysted and Horns Rev, Denmark. NERI Report

request. Commissioned by DONG energy and Vattenfall A/S. National Environmental Research Institute. Ministry of the Environment. Department of Wildlife Ecology and Biodiversity. 161.

Petersen, J.K. & Malm, T. (2006). Offshore windmill farms: threats to or possibilities for the marine environment. Ambio Vol. 35, No.2, 75-80.

Phua, C., van den Acker, S., Baretta, M. & van Dalfsen, J. (2004). Ecological effects of sand extraction in the North Sea. 22.

Pieters, M., Demerre, I., Lenaerts, T., Zeebroek, I., De BIE, M., De Clercq, W., Dickinson, B., Monsieur, P. (2010). De Noordzee: een waardevol archief onder water. Meer dan 100 jaar onderzoek van strandvondsten en vondsten uit zee in België: een overzicht. Relicta 6, 177-218.

Poléo, A.B.s., Johannessen, H.F. & Harboe, M.jr. (2001). High Voltage Direct Current (HVDC) sea cables and sea electrodes: Effects on marine life – 1st revision of the literature study: 50.

Poot, M., Horssen, P. van, Collier, M., Lensink, R., Dirksen, S. (2011). Effect studies Offshore Wind Egmond aan Zee: cumulative effects on seabirds - A modelling approach to estimate effects on population levels in seabirds. Bureau Waardenburg, Culemborg.

Popper, A.N., Salmon, M. & Horch, K. (2001). Acoustic detection and communication by decapods crustaceans. J. Comp. Physiol. A 187, (2), 83-89.

Prins, TC, Van Beek, JKL, Bolle, L (2009) Modelschatting van de effecten van heien voor offshore windmolenparken op de aanvoer van vislarven naar Natura 2000 gebieden. Report No. Z4832, Deltares.

Prins, T.C., Twisk, F., van den Heuvel-Greve, M.J., Troost, T.A. & van Beek, J.K.L. (2008). Development of a framework for Appropriate Assessments of Dutch offshore wind farms. 177.

Provincie Zeeland (1998), MER-windenergie deelaspect geluid Nederland

Rabaut, M., Guilini K., Van Hoey, G., Magda, V., Degraer, S. (2007). A bio-engineered soft-bottom environment: The impact of Lanice conchilega on the benthic species-specific densities and community structure. Estuar Coast Shelf Sci 75:525-536.

RBINS & MUMM (2009), 'Offshore wind farms – Belgian part of the North Sea: state of the art after two years of environmental monitoring.

RCMG (2006), Monitoring van het onderwatergeluid op de Thorntonbank – Referentietoestand van het jaar nul – eindrapport JPH/2005/sec15

Reid, P.C., Gorick, G. & Edwards, M. (2011). Climate change and European Marine Ecosystem Research. 53p. Sir Alister Hardy Foundation for Ocean Science, Plymouth, UK.

REPAP2020- Renewable Energy Policy Action Paving the Way for 2020 – www.repap2020.eu

Resource Analysis (2010). Plan-MER voor het Geïntegreerd Kustveligheidsplan. In opdracht van Afdeling Kust.

Reubens, J., Vanden Eede, S. & Vincx, M. (2009a). Monitoring of the effects of offshore wind farms on the endobenthos of soft substrates: Year-0 Blighbank and Year-1 Thorntonbank. 61-91 in Degraer, S. & Brabant, R. (2009). Offshore wind farms in the Belgian Part of the North Sea. State of the art after two years of environmental monitoring. Royal Belgian Institute for

Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 287 + annexes.

Reubens, J., Degraer, S. & Vincx, M. (2009b). The importance of marine wind farms, as artificial hard substrates, on the North Sea bottom for the ecology of the ichthyofauna fish. 53-60 in Degraer, S. & Brabant, R. (2009). Offshore wind farms in the Belgian Part of the North Sea. State of the art after two years of environmental monitoring. Royal Belgian Institute for Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 287 + annexes.

Reubens, J., Degraer, S. & Vincx, M. (2010). The importance of marine wind farms, as artificial hard substrata, for the ecology of the ichthyofauna. 69-82 in Degraer, S., Brabant, R. & Rumes, B. (Eds.) (2010a). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Early environmental impact assessment and spatio-temporal variability. Royal Belgian Institute for Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 184 + annexes.

Reubens, J., Degraer, S. & Vincx, M. (2011). Spatial and temporal movements of cod (Gadus morhua) in a wind farm in the Belgian part of the North Sea using acoustic telemetry, a VPS study. 39-46. In Degraer, S., Brabant, R. & Rumes, B., (Eds.) (2011). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Selected findings from the baseline and targeted monitoring. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 157 + annex.

Reubens, J., Degraer, S. & Vincx, M. (2013). Offshore wind farms significantly alter fish community structure – aggregation of Atlantic cod and pouting. In Degraer, S., Brabant, R., Rumes, B., (Eds.) (2013a). Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Learning from the past to optimize future monitoring programmes. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Marine Ecology and Management Section. 239 pp.

Richardson, W.J., Greene Jr, C.R., Malme, M.I. & Thomson, D.H. (1995). Marine mammals and noise. Academic Press, London & New York. 576.

Roberts, C.M., Bohnsack, J.A., Gell, F., Hawkins, J.P. & Goodridge, R. (2001). Effects of marine reserves on adjacent fisheries. Science, Vol. 294 (5548): 1920-1923.

Roegiers, B.; Platteau, J.; Van Bogaert, T.; Van Gijseghem, D.; Bekaert, K.; De Bruyne, S.; Delbare, D.; Depestele, J.; Lescrauwaet, A.-K.; Moreau, K.; Polet, H.; Robbens, J.; Vandamme, S.; Van Hoey, G.; Verschueren, B. (2013). VIRA Visserijrapport 2012. Departement Landbouw en Visserij: Brussel. 98 pp.

Roos, P.C. (2004). Seabed pattern dynamics and offshore sand extraction. Doctoraatsproefschrift, Universiteit Twente. 167.

Rumes, B., Coates, D., De Mesel, I., Derweduwen, J., Kerckhof, F., Reubens, J., Vandendriessche, S. (2013). Does iet really matter? Changes in species richness and biomass at different spatial scales. In: Degraer, S., Brabant, R., Rumes, B., (Eds.) (2013a). Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Learning from the past to optimize future monitoring programmes. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Marine Ecology and Management Section. 239 pp.

Rustemeier, J.,Griebbmann, T and Rolfes R (2011). Use of bubble curtains to mitigate hydro sound levels at offshore construction sites. In Underwater Acoustic Measurements Conference proceedings. Papadakis J and Bjorno L (ed), pp 779-784.

Rydell, J., Bach, L., Dubourg-Savage, M., Green, M., Rodrigues, L., and Hedenstrom, A. (2010). Bat mortality at wind turbines in northwestern Europe. Acta Chiropterologica 12: 261–274.

Sakhalin Energy Investment Company LTD, Phase 2 project onshore pipelines-River crossing strategy

Saleem, Z. (2011). Alternatives and modifications of monopile foundations or its installation technique for noise mitigation. TU Delft, April 2011.

Sanderhoff, P. (1993). PARK – User's guide, A PC-program for calculation of wind turbine park performance. RISO National Laboratory, Roskildek Denmark, 133.

Scally, L., Berrow, S., Hunt, J., Kennedy, B. (2010). Ecological assessment for the proposed Atlantic marine energy test site. Appendix 3.

SCANS-II. (2008). Small cetaceans in the European Atlantic and North Sea. Final Report to the European Commission under project LIFE04NAT/GB/000245, SMRU, Gatty Marine Laboratory, University of St Andrews, St Andrews, Fife KY16 8LB, UK.

Schauvliege, J. (2013). Conceptnota aan de leden van de Vlaamse Regering, betreffende de stand van zaken voorbereiding Vlaams Mitigatieplan 2013-2020. Vlaamse minister van Leefmilieu, Natuur en Cultuur (Vlaamse Regering).

Scheidat, M., Tougaard, J., Brasseur, S., Carstensen, J., van Polanen Petel, T., Teilmann, J. en Reijnders, P., (2011). Harbour porpoises (Phocoena phocoena) and wind farms: a case study in the Dutch North Sea. Environ. Res. Lett. 6, 025102 (10p.) doi:10.1088/1748-9326/6/2/025102.

Schultz-von Glahn et al (2006). Underwater noise reduction of pile driving for offshore wind turbines – Evaluation of several techniques under offshore conditions. UFOPLAN Ref. No. 205 53 113, final report. The Federal Environment Agency (Umweltbundesamt), Berlin.

Senternovem (2005). Handboek risicozonering Windturbines versie 2. www.senternovem.nl.

SGS (2007). Studie windturbines en veiligheid. http://www.energiesparen.be

SGS Environmental Services (2003). Milieueffectrapport voor een windturbinepark te Zeebrugge. Projectnummer: 02.6086.

Skiba, R. (2007) Die Fledermäuse im Bereich der Deutsche Nordsee unter Berücksichtigung der Gefährdungen durch Windenergieanlagen. Nyctalus (N.F.), Berlin 12 p. 199-220.

Skov H., Leonhard, S.B., Heinänen, S., Zydelis, R., Jensen, N.E., Durinck, J., Johansen, T.W., Jensen, B.P., Hansen, B.L., Piper, W., Grøn, P.N. (2012). Horns Rev 2 Monitoring 2010-2012. Migrating Birds. Orbicon, DHI, Marine Observers and Biola. Report commis-sioned by DONG Energy.

Söker, H., Rehfeldt, K., Santjer, F., Stracker, M. & Schreiber, M. (2000). Offshore Wind Energy in the North Sea. Technical possibilities and ecological considerations. A Study for Greenpeace. 83.

Spence, J., Fischer, R., Bahtiarian, M., Boroditsky, L., Jones, N., and Dempsey, R.(2007), Review of existing and future potential treatments for reducing underwatersound from oil and gas industry activities, NCE REPORT 07-001, JIP on E&PSound and Marine Life, London

Stienen, E.W.M., Van Waeyenberge, J. & Kuijken, E. (2002). De avifauna en zeezoogdieren van de Thorntonbank. Studie ter beoordeling en monitoring van de impact van een offshore windmolenpark op de mariene avifauna en zeezoogdieren. Rapport IN.A.2002.244, Instituut voor Natuurbehoud, Brussel. 60.

Stienen, E.W.M., Van Waeyenberghe, J. & Kuijken, E. (2007). Trapped within the corridor of the southern North Sea: the potential impact of offshore wind farms on seabirds. In: de Lucas, M., Guyonne, F.E. & Ferrer, M., 2007. Birds and wind farms: risk assessment and mitigation, 71 – 80.

Stratigaki, V. (2014). Experimental study and numerical modeling of intra-array interactions and extra-array effects of wave energy converter arrays. PhD thesis, Universiteit Gent, 446.

Strucker, R.C.W.; Arts, F.A.; Lilipaly, S. (2012). Watervogels en zeezoogdieren in de Zoute Delta 2010/2011. RWS Waterdienst BM, 12.07. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. Waterdienst: Vlissingen. 122.

Sumer, B.M., Fredsoe, J. (2002). The mechanics of scour in the marine environment. World Scientific. Advanced Series on Ocean Engineering volume 17.

Tasker, M.L., Amundin, M., Andre, M., Hawkins, A., Lang, W., Merck, T., Scholik-Schlomer, A., Teilmann, J., Thomsen, F., Werner, S. & Zakharia, M. (2010). Marine Strategy Framework Directive – Task Group 11 Underwater noise and other forms of energy. European Commission, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 55.

Tasker, M.L., Jones, P.H., Dixan, T.J. & Blake, B.F. (1984). Counting seabirds at sea from ships: a review of methods employed and a suggestion for a standardized approach. Auk 101: 567- 577.

Technum nv (2007). MER-Uitbreiding van het Zwin, beschrijving huidige geluidsbelasting in het Zwin a.d.h.v. in-situ geluidsmetingen i.o.v. Arcadis.

Technum-IMDC (2009). Wind Farm Thornton Bank Phase 2. Preliminary scour protection design for monopile foundations. In opdracht van C-Power. 2-ENG-DES-TN-009.

Teilmann, J., Carstensen, J., Dietz, R. & Edrén, S.M.C (2005). Aerial monitoring of seals during construction and operation of Nysted Offshore Wind Farm. NERI Technical report to Energi E2 A/S. Denmark. 37.

Teilmann, J., Carstensen, J., Dietz, R., Edrén, S.M.C & Andersen, S.M. (2006c). Final report on aerial monitoring of seals near Nysted Offshore Wind Farm. NERI Technical report to Energi E2 A/S. Denmark. 41.

Ter Hofstede, R., Heessen, H.J.L. & Daan, N. (2005). Systeembeschrijving Noordzee: Natuurwaardenkaarten vis. RIVO rapport C090/05, 55.

Tessens, E. & Velghe, M. (2013). De Belgische Zeevisserij 2012: aanvoer en besomming: vloot, quota, vangsten, visserijmethoden en activiteit. Dienst Zeevisserij, Oostende. 119.

Thiele R. (2002). Propagation loss values for the North Sea. Handout Hachgespräch: Offhore-windmillssound emissions and marine mammals

Thompson P. M., Lusseau, D., Barton, T., Simmons, D., Rusin, J., Bailey, H. (2010). Assessing the responses of coastal cetaceans to the construction of offshore wind turbines. Marine Pollution Bulletin 60 (2010) 1200-1208.

Thomsen, F., McCully, S.R., Wood, D., White, P. and Page, F. (2009). A generic investigation into noise profiles of marine dredging in relation to the acoustic sensitivity of the marine fauna in UK waters with particular emphasis on aggregate dredging: PHASE 1 Scoping and review of key issues, Thomsen, F., McCully, S., Wood, D., Pace, F. and White, P., Marine Aggregate Levy Sustainability Fund (MALSF) MEPF Ref No. MEPF/08/P21.

Thomsen, F., Lüdemann, K., Kafeman, R., Piper, W. (2006). Effect of offshore wind farm noise on marine mammals and fish. Biola, Hambur, Germany on behalf of COWRIE Ltd. 62 pp.

TNO (2009), Assessment of natural and anthropogenic sound sources and acoustic propagation in the North Sea.

Tougaard, J., Carstensen, J., Damsgaard Henrikson, O., Skov, H., Teilman, J. (2003). Short-term effects of the construction of wind turbines on harbour porpoise at Horns Rev. Techical Report to TechWise A/S. HME/362-02662, Hedeselkabet, Roskilde.

Tougaard, J., Tougaard, S., Jensen, R.C., Jensen, T., Teilmann, J., Adelung, D., Liebsch, N. & Müller, G. (2006a). Harbour seals at Horns Reef before, during and after construction of Horns Rev Offshore Wind Farm. Final report to Vattenfall A/S. Biological Papers from the Fisheries and Maritime Museum No. 5, Esbjerg, Denmark. Available at www.hornsrev.dk.

Tougaard, J., Carstensen, J., Wisz, M.S., Jespersen, M., Teilmann, J. & Ilsted Bech, N. (2006b). Harbour Porpoises on Horns Reef – Effects of the Horns Reef Wind Farm – Final Report to Vattenfall A/S. NERI Commissioned Report. Roskilde, Denmark. 111.

Tougaard, J., Carstensen, J., Ilsted Bech, N. & Teilmann, J. (2006c). Final report on the effect of Nysted Offshore Wind Farm on harbour porpoises. Annual report 2005. NERI Technical report to Energi E2 A/S. Roskilde, Denmark. 65.

Tougaard, J., Carstensen, J., Wisz, M.S., Teilmann, J., Ilsted Bech, N., Skov, H. & Henriksen, O.D. (2005). Harbour Porpoises on Horns Reef – Effects of the Horns Reef Wind Farm. Annual Status Report 2004 to Elsam Engineering A/S. NERI Technical Report. Roskilde, Denmark 71.

Tougaard, J., Madsen, P.T. & Wahlbergs, M. (2008). Underwater noise from construction and operation of offshore wind farms. Bioacoustics 17: 1-3 (2008) 146-146.

TPNO (2012). Tourism Partnership North Wales. Policy strategy research. Literture review wind turbines and tourism. http://www.tpnw.org/english/policystrategyresearch.html (last visited 26/04/2013).

Tractebel Engineering (2011). Windpark in de concessiezone ten noordwesten van de Blighbank – Micro-Siting, B4P-BIS/4NT/0206774/000/00. In opdracht van Electrabel, Belgium.

Tractebel Engineering (2010). Offshore wind farms Blue4Power Zone I and II - Wind Energy Yield Assessment, B4PPRED/4NT/144256/000/01. In opdracht van Electrabel – Jan De Nul, Belgium.

Turner, S.J., Thrush, S.F., Pridmore, R.D., Hewitt, J.E., Cummings, V.J. & Maskery, M. (1995). Are softsediment communities stable? An example from a windy harbour. Marine Ecology Progress Series 120, 219-230.

UK Government (2005). Environmental protection, England and Wales, Hazardous Waste (England and Wales) Regulations.

Ulvestad, A. (2012). Consolidation settlement of suction caissons. Master thesis, Norwegian University of Science and Technology, Department of Civil and transport engineering, pp119.

UNCLOS (1982). 'United Nations Convention on the Law of the Sea'.

Vaitkunaite, E., Devant Molina, S., Ibsen, L.B. (2012). Comparison of calculation models for bucket foundation in sand. DCE Technical Memorandum no 17, Aalborg University.

Van Cauwenberghe, C. (1971). Hydrographic analysis of the Flemish banks along the Belgian-French coast [Hydrografische analyse van de Vlaamse banken langs de Belgische-Franse kust]. Het Ingenieursblad 40(19): 563-576.

Van den Eynde, D.; De Sutter, R.; Polet, H.; Verwaest, T.; Maes, F.; Volckaert, A.M.; Vanderperren, E.; Ozer, J.; Ponsar, S.; Van der Biest, K.; Willekens, M. (2009). CLIMAR - evaluation of climate change impacts and adaptation responses for marine activities, in: Mees, J. *et al.* (Ed.) (2009). VLIZ Young Scientists' Day, Brugge, Belgium 6 March 2009: book of abstracts. VLIZ Special Publication, 41: 68.

Van den Eynde, D., Brabant, R., Fettweis, M., Francken, F., Melotte, J., Sas, M., Van Lancker, V. (2010). Monitoring of hydrodynamic and morphodynamical changes at the C-Power and the Belwind offshore wind farm sites - A synthesis. In: Degraer, S., Brabant, R., Rumes, B. (Eds.) (2010) Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea. Early environmental impact assessment and spatio-temporal variability. Royal Belgia Institute of Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 184 + annexes.

Van den Eynde, D., De Sutter, R., Haerens, P. (2012). Evolution of marine storminess in the Belgian part of the North Sea.

Van den Eynde, D., Baeye, M., Brabant, R., Fettweis, M., Francken, F., Haerens, P., Mathys, M., Sas, M., Van Lancker, V. (2013). All quiet on the sea bottom front? Lessons from the morphodynamic monitoring. In: In Degraer, S., Brabant, R., Rumes, B., (Eds.) (2013a). Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Learning from the past to optimize future monitoring programmes. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Marine Ecology and Management Section. 239 pp.

Van Gompel, J. (2003) in Verkem, S., De Maeseneer, J., Vandendriessche, B., Verbeylen, G. & Yskout, S. Zoogdieren in Vlaanderen. Ecologie en verspreiding van 1987 tot 2002. Natuurpunt Studie en JNM-Zoogdierenwerkgroep, Mechelen en Gent, België.

Van Hoey, Degraer, S. & Vincx, M. (2004). Macrobenthic community structure of soft-bottom communities on the Belgian Continental Shelf. Est., coast. And shelf sci. 59: 601-615.

Van Lancker, V., Deleu, S., Bellec, V., Le Bot, S., Verfaillie, E., Schelfaut, K., Fettweis, M., Van den Eynde, D., Francken, Monballiu, J., Giardino, A., Portilla, J., Lanckneus, J., Moerkerke, G. & Degraer, S. (2007). Management, research and budgeting of aggregates in shelf seas related to end-users (MAREBASSE). Final Scientific Report. Belgian Science Policy, SPSDII North Sea.

Van Lancker, V.R.M., Du Four, I., Degraer, S., Fettweis, M., Francken, F., Van den Eynde, D., Monbaliu, J., Toorman, E., Verwaest, T., Janssens, J., Vincx, M., Houziaux, J.-S. (2009).

Changes in the marine environment: the Belgian part of the North Sea revisited, in: (2009). 41st International Liège Colloquium on Ocean Dynamics: Science-Based Management of the Coastal Waters, 4-8 May 2009.

Vanagt, T., Calewaerts, J. en Van de Moortel, L. (2011). Onderzoeksmogelijkheden mariene biologie, aquacultuur en duurzame vsserij gekoppeld aan offshore windmolenpark op de Blighbank, 9.

Vanaverbeke, J., Franco, M.A., Remerie, T., Vanreusel A., Vincx, M., Moodley, L., Soetaert, K., van Oevelen, D., Courtens, W., Stienen, E.W.M., Van de walle, M., Deneudt, K., Vanden Berghe, E., Draisma, S., Hellemans B., Huyse, T., Volckaert, F.A.M.J. & Van den Eynde, D., (2007). Higher trophic levels in the southern North Sea (Trophos). Final Report EV/25. Belgian Science Policy, Brussels.

Vandenbroele, M., Vangheluwe, M., Janssen, C., Persoone, G., Van Haecke, P. & Le Roy, D. (1997). Definiëring en toepassing van ecologische criteria en economische indicatoren voor de effectstudie en kostenbepaling van diverse types van verontreiniging in de Noordzee. 142.

Vandendriessche, S., Hostens, K. & Wittoeck, J. (2009). Monitoring of the effects of the Thorntonbank and Blighbank windmill parks on the epifauna and demersal fish fauna of soft-bottom sediments: Thorntonbank: status during construction (T1), Blighbank: reference condition (T0). 93-150 in Degraer, S. & Brabant, R. (2009). Offshore wind farms in the Belgian Part of the North Sea. State of the art after two years of environmental monitoring. Royal Belgian Institute for Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 287 + annexes.

Vandendriessche, S., Derweduwen, J. & Hostens, K., (2011). Monitoring the effects of offshore windmill parks on the epifauna and demersal fish fauna of soft-bottom sediments: baseline monitoring. 65-81 in Degraer, S., Brabant, R. & Rumes, B., (Eds.) (2011). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Selected findings from the baseline and targeted monitoring. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 157 + annex.

Vandendriessche, S., Hostens, K., Courtens, W. & Stienen, E. (2013a). Fisheries activities change in the vicinity of offshore wind farms. In Degraer, S., Brabant, R., Rumes, B., (Eds.) (2013a). Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Learning from the past to optimize future monitoring programmes. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Marine Ecology and Management Section. 239 pp.

Vandendriessche, S., Reubens, J., Derweduwen, J., Degraer, S. & Vincx, M. (2013b). Offshore wind farms as productive sites for fishes? In: Degraer, S., Brabant, R., Rumes, B., (Eds.) (2013a). Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Learning from the past to optimize future monitoring programmes. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Marine Ecology and Management Section. 239 pp.

Vandendriessche, S., Derweduwen, J. & Hostens, K. (2013c). Between the turbines: soft substrate epibenthos and fish. In Degraer, S., Brabant, R., Rumes, B., (Eds.) (2013a). Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Learning from the past to optimize future monitoring programmes. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Marine Ecology and Management Section. 239 pp.

Vanderperren, E. & Polet, H. (2009). CLIMAR – Evaluation of climate change impacts and adaptation responses for marine activities. Subdocument 'Belgian fisheries - sector analysis' ILVO – Institute for Agricultural and Fisheries Research, Animal Sciences – Fisheries: Ostend, Belgium. 44.

Vanermen, N., Stienen, E.W.M., Courtens, W. & Van de Walle, M. (2006). Referentiestudie van de avifauna van de Thorntonbank. [Reference study of the avifauna of the Thorntonbank]. Rapport Instituut voor Natuurbehoud, A.2006-22. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek: Brussel, Belgium. 131.

Vanermen, N. & Stienen, E. (2009). Seabirds & offshore wind farms: monitoring results 2008. 151-221 in Degraer, S. & Brabant, R. (2009). Offshore wind farms in the Belgian Part of the North Sea. State of the art after two years of environmental monitoring. Royal Belgian Institute for Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 287 + annexes.

Vanermen, N., Stienen, E.W.M., Onkelinx, T., Courtens, W., Van de walle, M. & Verstraete, H. (2010). Monitoring seabird displacement effects by offshore wind farms: a modelling approach. 133-152 in Degraer, S., Brabant, R. & Rumes, B. (Eds.) (2010). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Early environmental impact assessment and spatio-temporal variability. Royal Belgian Institute for Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 184 + annexes.

Vanermen, N., Stienen, E.W.M., Onkelinx, T., Courtens, W. & Van de walle, M., (2011). Seabirds & offshore wind farms: Power and impact analyses 2010. 93-129 in Degraer, S., *et al.* (2011). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Selected findings from the baseline and targeted monitoring. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models. Marine ecosystem management unit. 157 + annex.

Vanermen, N., Brabant, R., Stienen, E., Courtens, W., Onkelinx, T., Van de walle, M., Verstraete, H., Vigin, L. & Degraer, S. (2013a). Bird monitoring at the Belgian offshore wind farm: results after five years of impact assessment. In Degraer, S., Brabant, R., Rumes, B., (Eds.) (2013a). Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Learning from the past to optimize future monitoring programmes. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Marine Ecology and Management Section. 239 pp.

Vanermen, N., Stienen, E., Courtens, W., Van de walle, M. & Verstraete, (2013b). Attraction of seabirds. In Degraer, S., Brabant, R., Rumes, B., (Eds.) (2013a). Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Learning from the past to optimize future monitoring programmes. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Marine Ecology and Management Section. 239 pp.

Vanermen N., Stienen E.W.M., Courtens W., Onkelinx T., Van de walle M. & Verstraete H. (2013c). Bird monitoring at offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea - Assessing seabird displacement effects. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2013 (INBO.R.2013.755887). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, *Brussel.*

Vattenfall A/S (2006). Horns Rev Offshore Wind Farm. Annual Status Report for the Environmental Monitoring Programme 2005: January 2005 - March 2006. Vattenfal A/S, Report No 6659 – LAJL/JKG. Fredericia, Denmark. 96.

Vattenfall (2010). Impact of electric and magnetic fields from sub-sea cables on marine organisms – the current state of knowledge. Report No 3080100.

Vella, G., Rushforth, I., Mason, E., Hough, A., England, R., Styles, P., Holt, T. & Thorne, P. (2001). Assessment of the effects of noise and vibration from offshore wind farms on marine wildlife. 107.

Verboom, W.C. & Kastelein, R.A. (2005). Some examples of marine mammal 'discomfort tresholds' in relation to man-made noise. Proc. UDT 2005.

Verboom, W.C. (1991). Possible distrubance of marine mammal hearing perception by human mad nois-preparatory study, TPD-HAG-RPT-91-110.

Verfaillie, E., Van Lancker, V. and Van Meirvenne, M. (2006). Multivariate geostatistics for the predictive modelling of the surficial sand distribution in shelf seas. Continental Shelf Research 26, 2454-2468.

Verhaeghe, D., DelBare, D., Pollet, H. (2011). Haalbaarheidsstudie passieve visserij en maricultuur binnen de Vlaamse windmolenparken? Eindrapport Maripas.

Vestas Wind Systems (2005). Life cycle assessment of offshore and onshore sited wind power plants based on Vestas V90-3.0 MW turbines.

Vestas (2010). General Specifications V112-3.0 MW Offshore, Appendix 12.1.3 Noise Levels. Document no.: 0012-1116 V01.

Vlarem II (uitgave 2011), milieuwetboek (deel 2: milieukwaliteitsnormen en beleidstaken ter zake)

VLIZ Alien Species Consortium (2012). http://www.vliz.be/wiki/Lijst_niet-inheemse_soorten_Belgisch_deel_Noordzee_en_aanpalende_estuaria (geraadpleegd op 15 maart 2012).

VMM (2009). Luchtkwaliteit in het Vlaamse Gewest – Jaarverslag Immissiemeetnetten, Kalenderjaar 2008. Vlaamse Milieumaatschappij, Afdeling Lucht, Mileieu en Communicatie, Dienst Lucht, Erembodegem.

VMM (2012). Lozingen in de lucht 2000-2011 (Vlaamse Milieumaatschappij, Afdeling Lucht, Milieu en Communicatie, Dienst Lucht, Erembodegem).

VMM (2013). Luchtkwaliteit in het Vlaamse Gewest – Jaarverslag Immissiemeetnetten Kalenderjaar 2012. Vlaamse Milieumaatschappij, Afdeling Lucht, Milieu en Communicatie, Dienst Lucht, Erembodegem.

Voigt, C. et.al (2012). The catchment area of wind farms for European bats: A plea for international regulations. Biological Conservation, 153: 80.

von Benda-Beckmann, A.M., Ainslie, M.A., Wensveen, P.A., Miller, P.J.O., Kvadsheim, P., Tyack, P.L., Lam, F.P.A. & te Raa, L. (2011). Theoretical assessment of ramp-up efficacy on marine mammals. ESOMM-2011 4th Conference on the Effects of Sound in the Ocean on Marine Mammals. Amsterdam, The Netherlands, 5-9 September 2011.

Volckaert, A., Engledow, H., Beck, O., Degraer, S., Vincx, M., Coppejans, E. & Hoffmann, M. (2004). Onderzoek van de ecologische interacties van macroalgen, macrofauna en vogels geassocieerd met intertidale harde constructies langsheen de Vlaamse kust. Universiteit Gent/Instituut voor Natuurbehoud: Belgium. 123.

Wahlberg, M. and Westerberg, H. (2005). Hearing in fish and their reaction to sound from offshore wind farms. Mar. Ecol. Prog. Ser. 288: 295-309.

Walter, G. et.al (2007) Fledermauszug über Nord- und Ostsee – Ergebnisse aus Offshore-Untersuchungen und deren Einordnung in das bisher bekannte Bild zum Zuggeschehen. Nyctalus (N.F.), Berlin 12 p. 221-233.

Wang, Y., Xiaobin, L., Wang, S., Shi, Z. (2006). The response of bucket foundation under horizontal dynamic loading. Ocean Engineering 33: 964-973.

Westerberg, V., Bredahl Jacobsen, J., Lifran, R. (2012). The case for offshore wind farms, artificial reefs and sustainable tourism in the French Mediterranean. Journal of Tourism Management.

Westerberg, H. & Lagenfelt. (2008). Sub-sea power cables and the migration behavior of the European eel. Fisheries Management and Ecology 15: 369-375.

Westerberg, H. (1994). Fiskeriundersokningar vid havsbaserat vindkraftverk.

Wetlands International, (2006). Waterbird Population Estimates – fourth edition. Wetlands International, Wageningen.

Wilhelmsson, D. & Malm, T., (2008). Fouling assemblages on offshore wind power plants and adjacent substrata. Estuarine Coastal and Shelf Science 79(3): 459-466.

Winter, H.V., Aarts, G. & van Keeken, O.A. (2010). Residence time and behaviour of sole and cod in the Offshore Wind farm Egmond aan Zee (OWEZ). Report number OWEZ_r_265_T1_20100916.

Woodruff, D.L., Schuktz, I.R., Marshall, K.E., Ward, J.A., Cullinan, V.I. (2012). Effects of electromagnetic fields on fish and invertebrates – Task 2.1.3 Effects on aquatic organisms fiscal year 2011 progress report. U.S. Department of Energy.

Würsig, B., Greene, Jr., C.R., and Jefferson, T.A.. (2000). Development of an air bubble curtain to reduce underwater noise of percussive piling. Marine Environmental Research 49:79-93.

Wußow, S., Sitzki, L. & Hahm, T. (2007). “3D simulation of the turbulent wake behind a wind turbine”. Journal of physics: Conference series, The science of making torque from wind 75 012033.

Zalmon, I.R., Novelli, R., Gomes, M. & Faria, V.V. (2002). Experimental results of an artificial reef programme on the Brazilian coast north of Rio de Janeiro. ICES Journal of Marine Science, 59, 83-87.

ZKA (2001). Onderzoek verwachte effecten Windpark Bouwdokken op Deltapark Neeltje Jans. ECON.10.160

Zucco, C., Wende, W., Merck, T., Köchling, I. & Köppel, J., (2006). Ecological Research on offshore wind farms: International exchange of experiences (Part B Literature Review of Ecological impacts) 284.

http://www.4coffshore.com/offshorewind/ (geraadpleegd 9 februari 2013).

http://www4.vlaanderen.be/sites/svr/Cijfers/Pages/Excel.aspx: Excelbestanden: Aandeel elektriciteit uit hernieuwbare engergiebronnen en WKK (1994-2011); Aandeel hernieuwbare energie (2005-2011) (geraadpleegd december 2013).

http://statbel.fgov.be/nl/statistieken/cijfers/energie/prijzen/gemid_8/ (geraadpleegd op 16 april 2012).

http://www.klimaat.be/nl-be/klimaatverandering/belgie/belgische-uitstoot/evolutie-van-de-uitstoot/ (geraadpleegd op 19 december 2013).

http://www.kustveiligheid.be/ (geraadpleegd op 16 april 2012).

http://www.vlaamsehydrografie.be/wrakkendatabank.htm (geraadpleegd op 8 februari 2012).

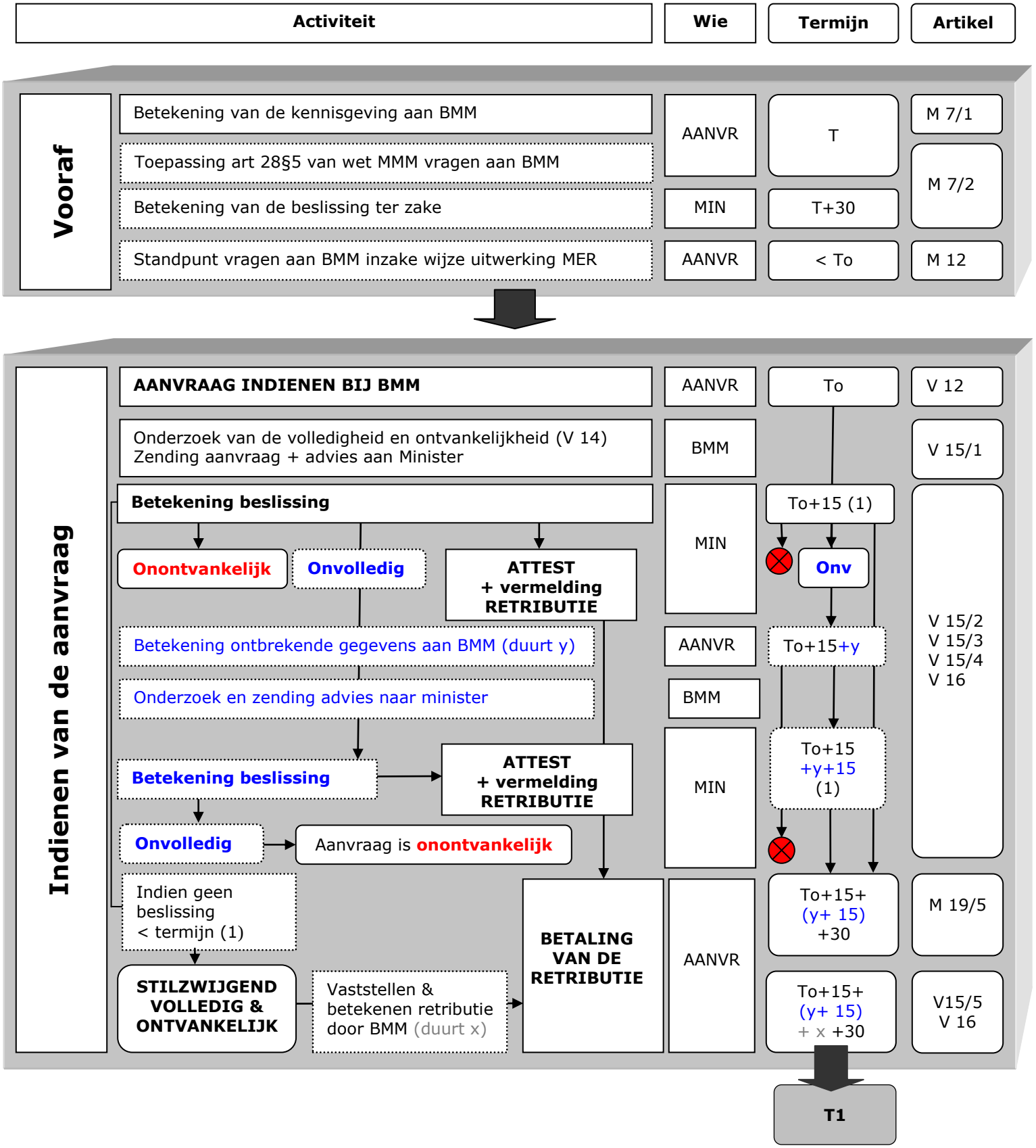
http://www.vliz.be/projects/bwzee (geraadpleegd op 15 mei 2012).

http://www.wrecksite.eu/ (geraadpleegd op 8 februari 2012).

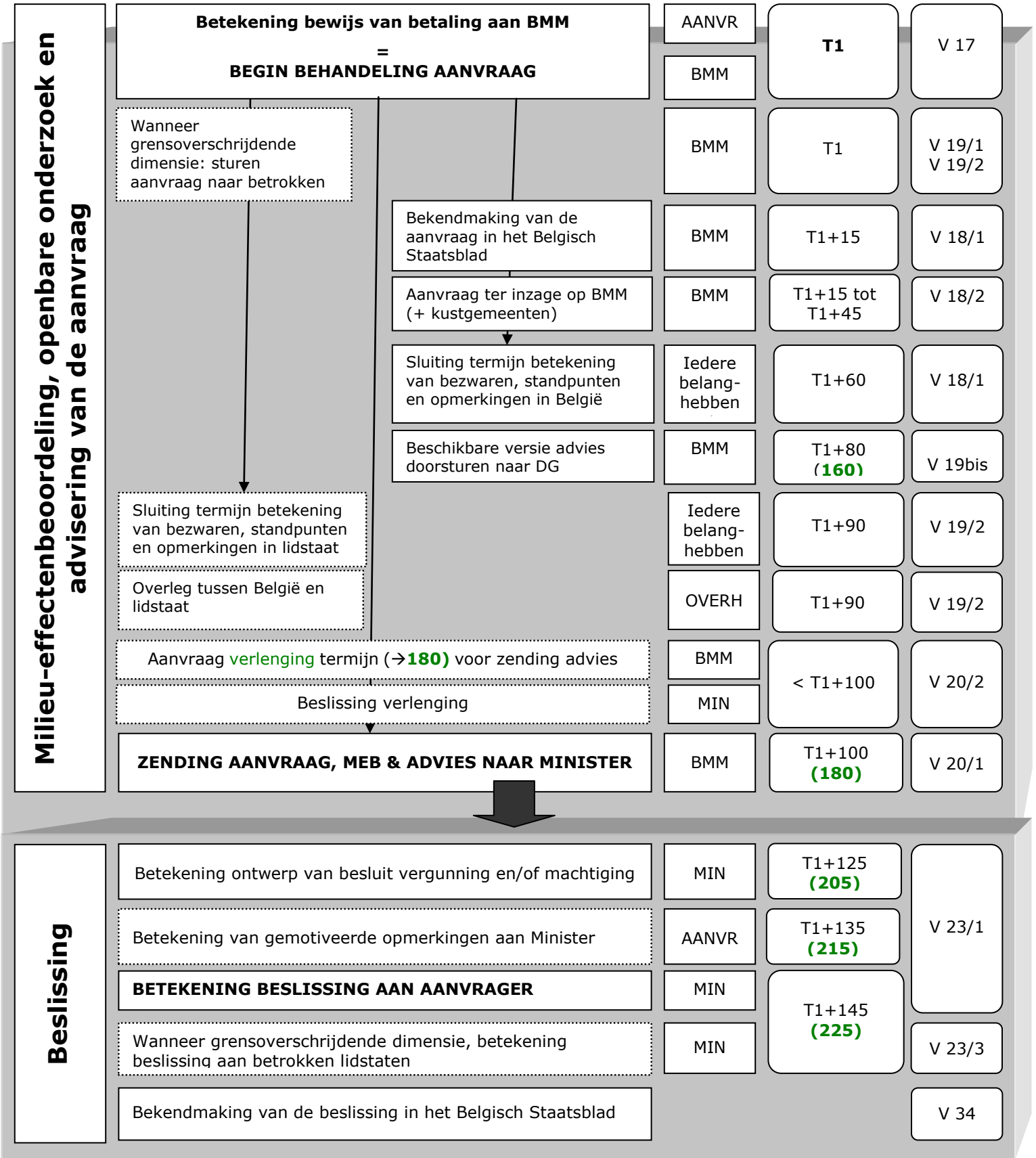
http://www.carbontrust.com/news/2013/02/successful-installation-of-first-suction-bucket-foundation-at-dogger-bank (geraadpleegd op 18 juni 2013)

Bijlage A Milieuvergunningsaanvraagprocedure (Di Marcantonio, 2014)

Procedure met inspraak voor het bekomen van vergunning en /of machtiging



Betekening = aangetekend opsturen, AANVR = aanvrager, MIN = minister, OVER= overheden, M = KB 9/9/2003 gewijz.26.12.13, V = KB 7/9/2003 gewijz.26.12.13, ... facultatieve stap



Betekening = aangetekend opsturen, AANVR = aanvrager, MIN = minister, OVER= overheden, M = KB 9/9/2003 gewijz.26.12.13, V = KB 7/9/2003 gewijz.26.12.13, ... facultatieve stap

Bijlage B Coördinaten van de verkregen domeinconcessies

B.1 Coördinaten van de opgesplitste domeinconcessie

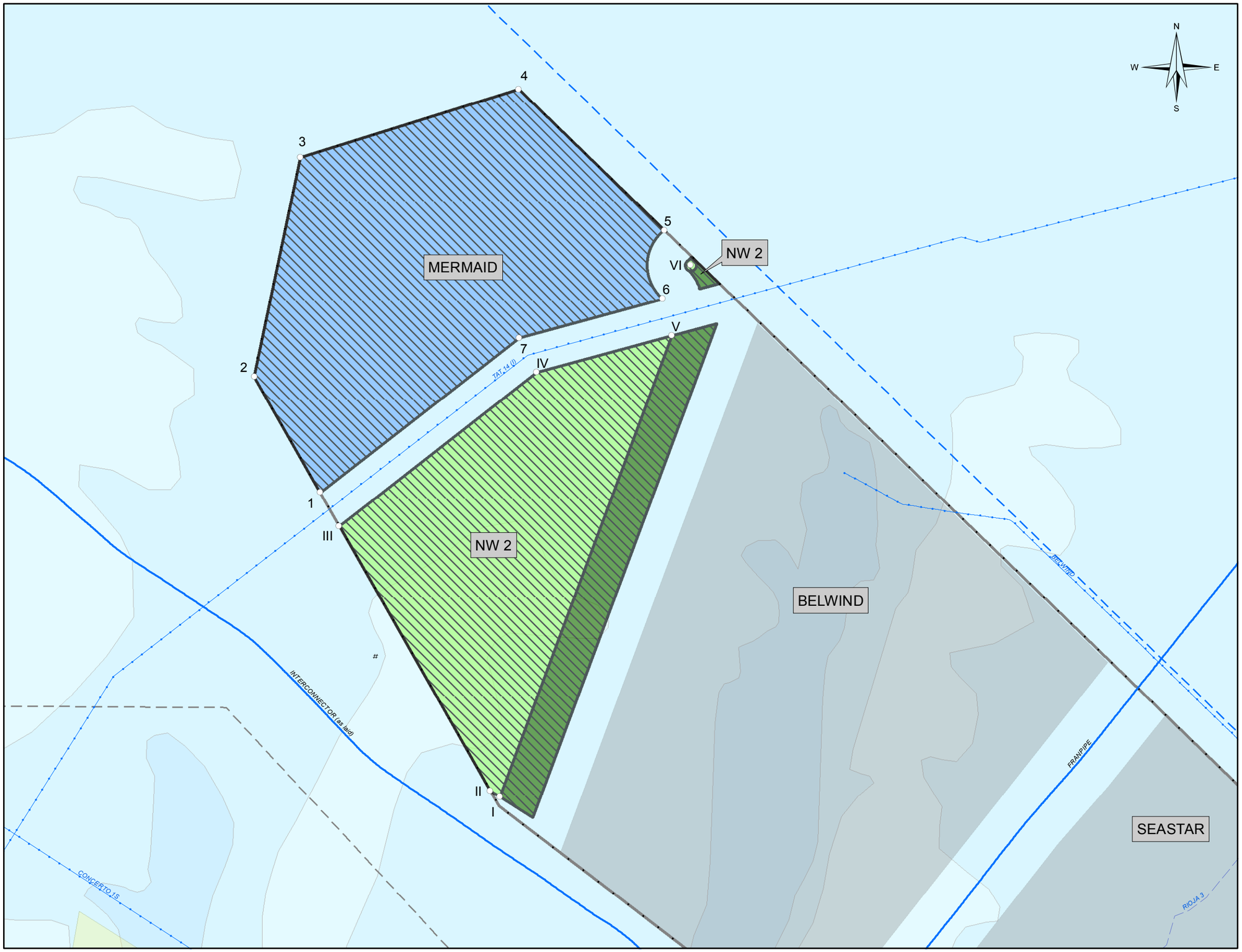
De oorspronkelijke domeinconcessie van THV Mermaid (MB 20/07/2012) wordt gedeeltelijk (i.e. het zuidelijk deel) overgedragen aan NV Northwester 2. De overdracht behelst het gedeelte ten zuiden van de TAT14 telecomkabel, plus één locatie noordelijk van deze kabel zoals weergegeven in kaart (Bijlage B2). Hieronder de coördinaten van de hoekpunten van de Mermaid en Northwester 2 domeinconcessies (voor ligging zie kaart in Bijlage B.2).

Mermaid concessiezone	**UTM zone 31 (WGS84)**			
ID	X-coördinaat		Y-coördinaat	
1	480,483.00		5,726,839.00	
2	479,616.00		5,728,362.00	
3	480,224.00		5,731,242.00	
4	483,089.00		5,732,140.00	
5	485,007.00		5,730,284.00	
Gebogen verbinding	start	eind	centrum	radius
	5	6	VI	575 m
6	484,987.00		5,729,384.00	
7	483,097.00		5,728,870.00	



Northwester 2 concessiezone Zonder uitbreiding	**UTM zone 31 (WGS84)**
ID	X-coördinaat	Y-coördinaat
I	482,842.00	5,722,837.00
II	482,720.00	5,722,913.00
III	480,733.00	5,726,400.00
IV	483,325.00	5,728,414.00
V	485,102.00	5,728,898.00
VI Zone met radius 75 m	485,355.00	5,729,826.00

B.2 Overdracht van de oorspronkelijke domeinconcessie Mermaid naar Northwester 2



Legende

- Mermaid - vergunde concessie
- Northwester 2 - vergunde concessie
- Northwester 2 - uitbreiding
- Concessiezone Belgische windparken
- Windpark concessiegebieden
- Militair oefengebied
- Zandextractiegebied
- # Wrakken
- Maritieme grens
- Pijpleidingen

Onderwater kabels

- Kabel in gebruik
- Kabel buiten gebruik

Zone Mermaid	WGS84 UTM zone 31 E		WGS84 UTM zone 31 N	
1	480.483		5.726.839	
2	479.616		5.728.362	
3	480.224		5.731.242	
4	483.089		5.732.140	
5	485.007		5.730.284	
Bulge	Start	End	Center	Radius
	5	6	VI	575
6	484.987		5.729.384	
7	483.097		5.728.870	
Zone NW 2	WGS84 UTM zone 31 E		WGS84 UTM zone 31 N	
I	482.842		5.722.837	
II	482.72		5.722.913	
III	480.733		5.726.400	
IV	483.325		5.728.414	
V	485.102		5.728.898	
VI zone met radius van 75m	485.355		5.729.826	

Milieueffectenrapport (MER) windmolenpark MERMAID - NW2

Mermaid - Northwester 2 domeinconcessie

Mermaid | NORTHWESTER 2 Offshore Energy | IMDC International Marine & Dredging Consultants

project number : 11441

drawing number : 11421 - 002

date : 16/06/2014

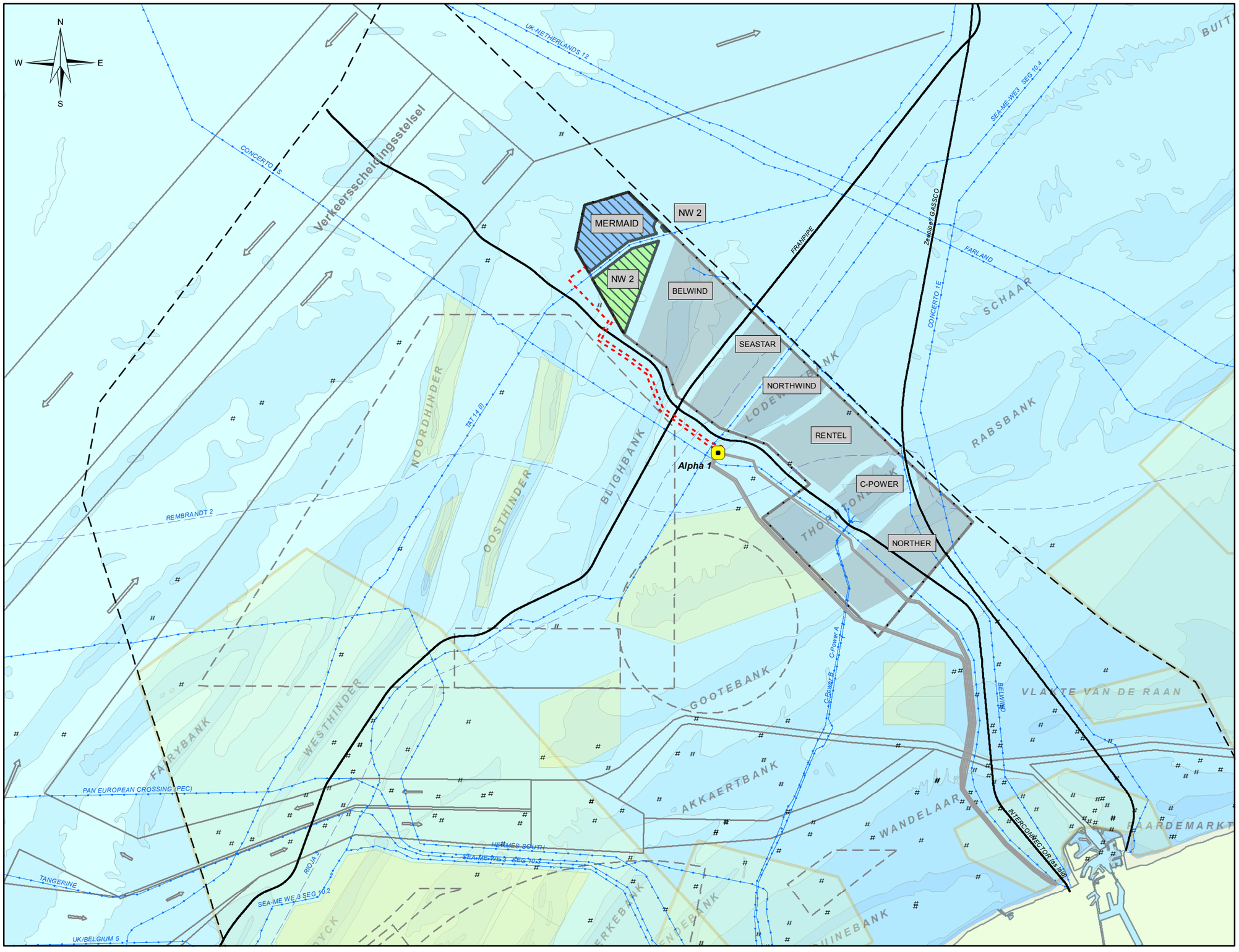
Coordinate System:
WGS 1984 UTM Zone 31N

0 1 2 3 4 5 Kilometers

Nr. IMDC: 11441_002_140616_concessie

Bijlage C Situering en lay-out concessiezones Mermaid en Northwester 2

C.1 Situatieplan concessiezones Mermaid en Northwester 2



Legende

- Elia Alpha eiland
- Maritieme grens
- Pijpleidingen
- Navigatie routes
- Wrakken
- Mermaid concessie
- Northwester 2 concessie
- Concessiezone Belgische windparken
- Windpark concessiegebieden
- Militair oefengebied
- Zandextractiegebied
- Beschermd gebied (Natura 2000)

Onderwater kabels

- Kabel in gebruik
- Kabel buiten gebruik
- ELIA Exportkabel
- Verbinding Mermaid & NW2 - Alpha

Milieueffectenrapport (MER) windmolenpark MERMAID - NW2

Algemeen situatieplan

Mermaid — NORTHWESTER 2 Offshore Energy — IMDC International Marine & Dredging Consultants

project number : 11441

drawing number : 11421 - 001

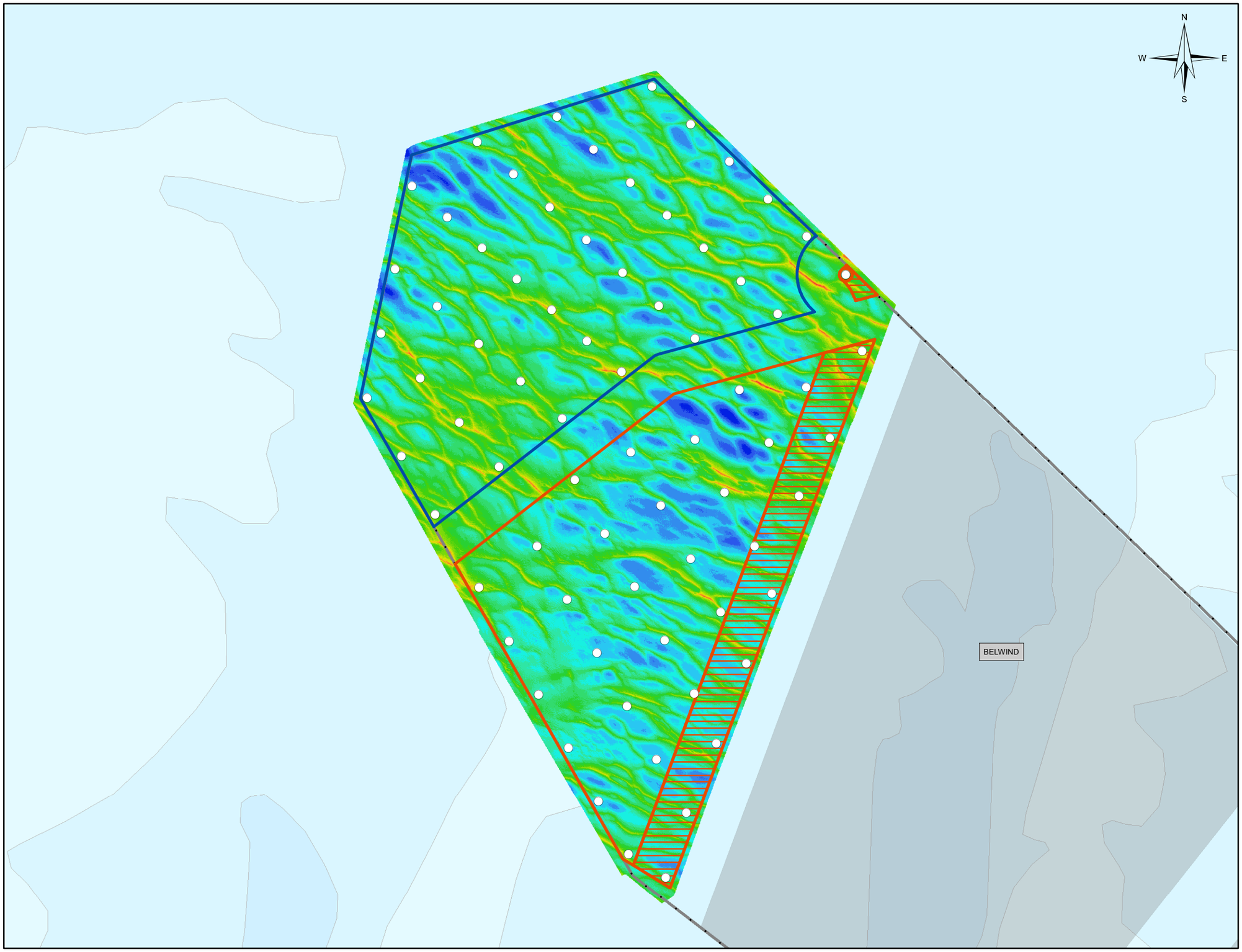
date : 26/03/2014

Coordinate System:
WGS 1984 UTM Zone 31N

0 2 4 6 8 10 Kilometers

Nr. IMDC: 11441_001_140327_situatieplan

C.2 Basis inplantingsconfiguratie: (38+35) x 6 MW turbines



Legende

- Windturbines 38 (MER) + 35 (NW2) x 6MW
- Mermaid concessie
- Northwester 2 concessie
- Northwester 2 - uitbreiding
- Concessiezone Belgische windparken
- Windpark concessiegebieden

Bathymetrie 2013 [mTAW]

- -24.99 - -24
- -25.99 - -25
- -26.99 - -26
- -27.99 - -27
- -28.99 - -28
- -29.99 - -29
- -30.99 - -30
- -31.99 - -31
- -32.99 - -32
- -33.99 - -33
- -34.99 - -34
- -35.99 - -35
- -36.99 - -36
- -37.99 - -37
- -38.99 - -38
- -39.91 - -39

Milieueffectenrapport (MER) windmolenpark MERMAID - NW2

Windturbines configuratie 38+35 x 6MW (Alstom Haliade)

Mermaid

NORTHWESTER2 Offshore Energy

IMDC International Marine & Dredging Consultants

project number : 11441

drawing number : 11421 - 009

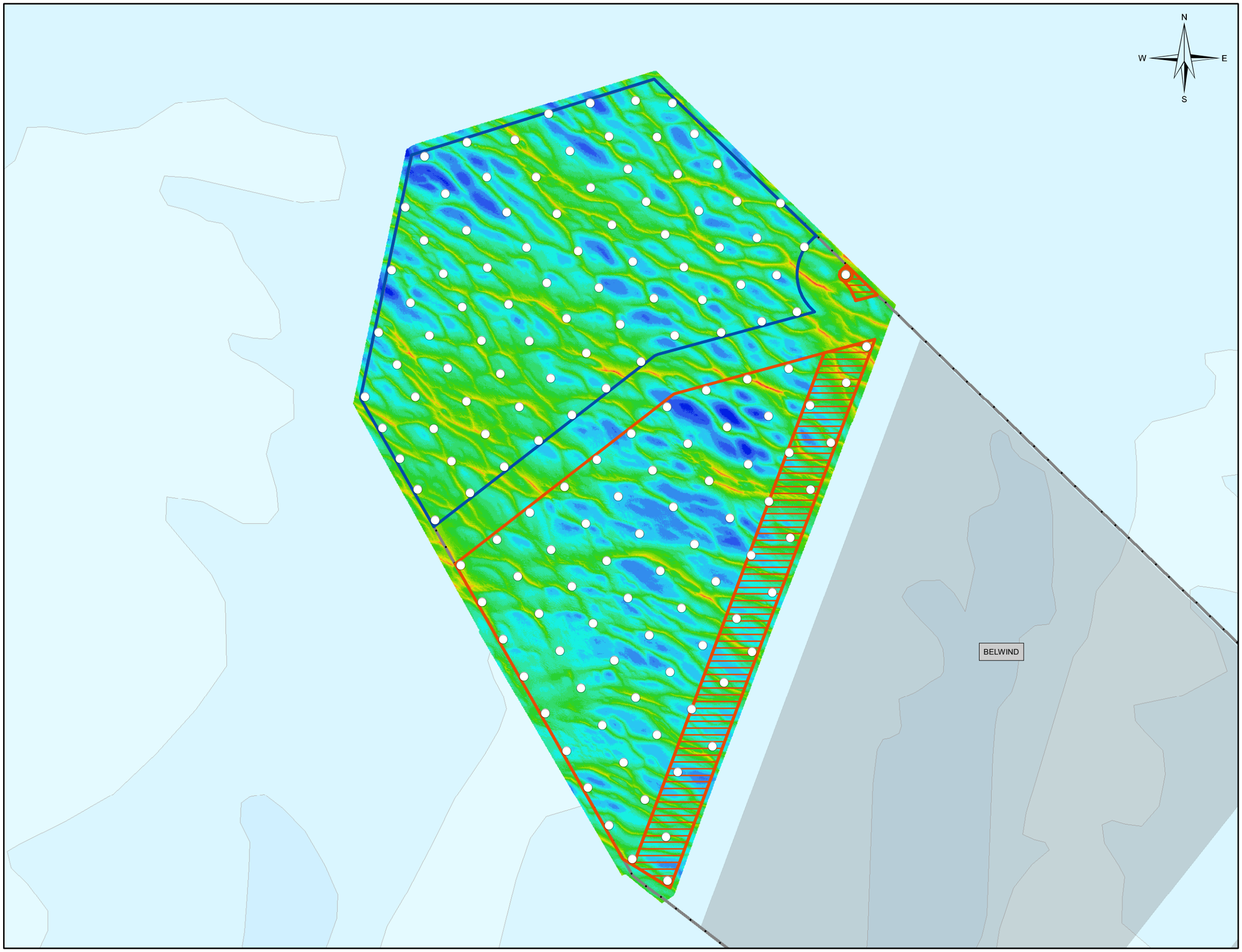
date : 16/06/2014

Coordinate System:
WGS 1984 UTM Zone 31N

0 1 2 3 4 Kilometers

Nr. IMDC: 11441_009_140616_WT6MW

C.3 Inplantingsconfiguratie 1: (80+70) x 3,3 MW turbines



Legende

- Windturbines 80 (Mer) + 70(NW2) x 3.3MW
- Mermaid concessie
- Northwester 2 concessie
- Northwester 2 - uitbreiding
- Concessiezone Belgische windparken
- Windpark concessiegebieden

Bathymetrie 2013 [mTAW]

- -24.99 - -24
- -25.99 - -25
- -26.99 - -26
- -27.99 - -27
- -28.99 - -28
- -29.99 - -29
- -30.99 - -30
- -31.99 - -31
- -32.99 - -32
- -33.99 - -33
- -34.99 - -34
- -35.99 - -35
- -36.99 - -36
- -37.99 - -37
- -38.99 - -38
- -39.91 - -39

Milieueffectenrapport (MER) windmolenpark MERMAID - NW2

Windturbines configuratie 80+70 x 3.3MW (Vestas v112)

Mermaid | NORTHWESTER2 Offshore Energy | IMDC International Marine & Dredging Consultants

project number : 11441

drawing number : 11421 - 007

date : 16/06/2014

Coordinate System:
WGS 1984 UTM Zone 31N

0 1 2 3 4 Kilometers

Nr. IMDC: 11441_007_140616_WT3.3MW

C.4 Inplantingsconfiguratie 2: (38+37) x 8 MW turbines

N
W
E
S

BELWIND

Legende

- Windturbines 38 (MER)+ 37 (NW2) x 8MW
- Mermaid concessie
- Northwester 2 concessie
- Northwester 2 - uitbreiding
- Concessiezone Belgische windparken
- Windpark concessiegebieden

Bathymetrie 2013 [mTAW]

- -24.99 - -24
- -25.99 - -25
- -26.99 - -26
- -27.99 - -27
- -28.99 - -28
- -29.99 - -29
- -30.99 - -30
- -31.99 - -31
- -32.99 - -32
- -33.99 - -33
- -34.99 - -34
- -35.99 - -35
- -36.99 - -36
- -37.99 - -37
- -38.99 - -38
- -39.91 - -39

Milieueffectenrapport (MER) windmolenpark MERMAID - NW2

Windturbines configuratie 38+37 x 8MW (Vestas v164)

Mermaid NORTHWESTER2 Offshore Energy

IMDC International Marine & Dredging Consultants

project number : 11441

drawing number : 11421 - 008

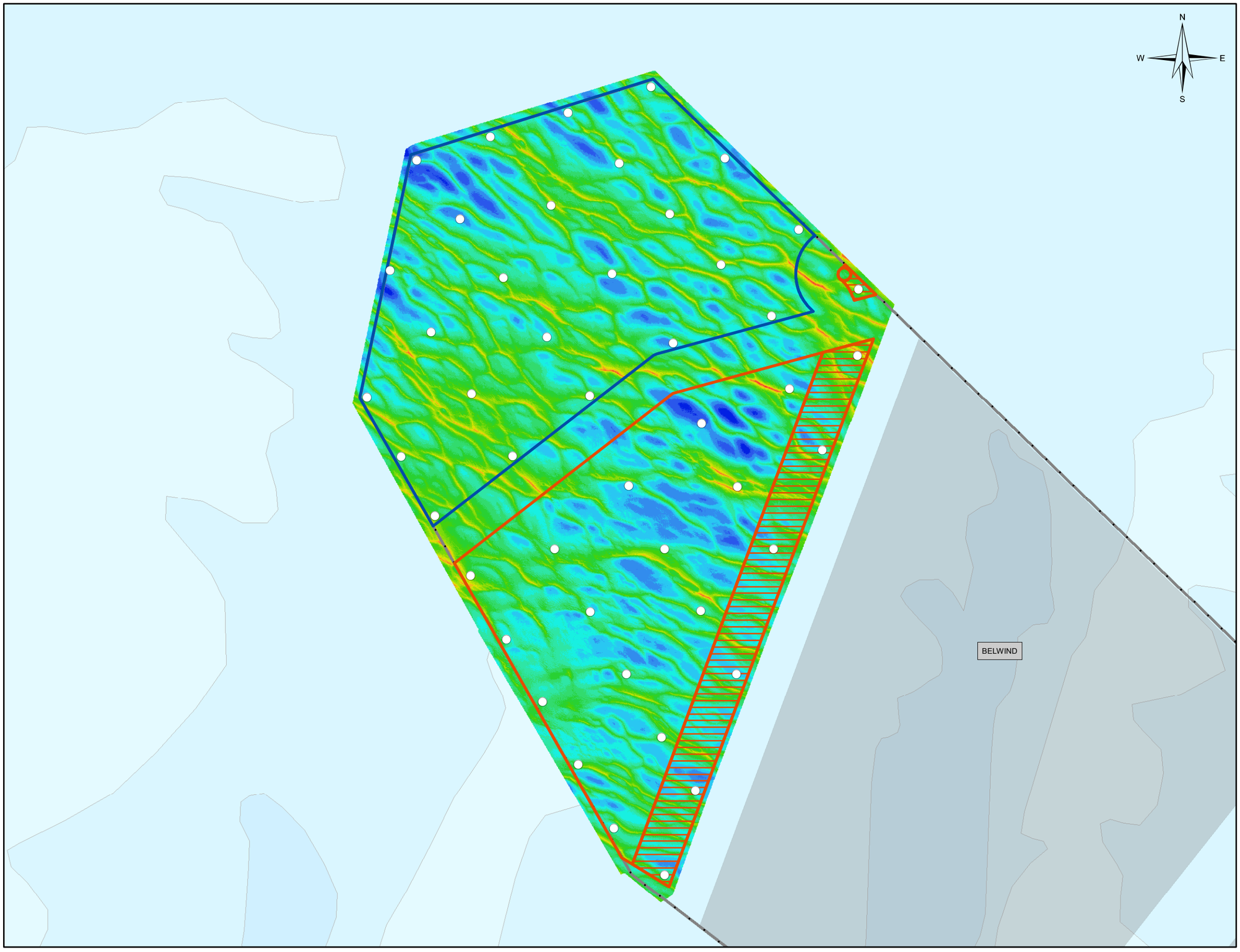
date : 16/06/2014

Coordinate System:
WGS 1984 UTM Zone 31N

0 1 2 3 4 Kilometers

Nr. IMDC: 11441_008_140616_WT8MW

C.5 Inplantingsconfiguratie 3: (24+22) x 10 MW turbines



Legende

- Windturbines 24 (Mer) + 22 (NW2) x 10MW
- Mermaid concessie
- Northwester 2 concessie
- Northwester 2 - uitbreiding
- Concessiezone Belgische windparken
- Windpark concessiegebieden

Bathymetrie 2013 [mTAW]

- -24.99 - -24
- -25.99 - -25
- -26.99 - -26
- -27.99 - -27
- -28.99 - -28
- -29.99 - -29
- -30.99 - -30
- -31.99 - -31
- -32.99 - -32
- -33.99 - -33
- -34.99 - -34
- -35.99 - -35
- -36.99 - -36
- -37.99 - -37
- -38.99 - -38
- -39.91 - -39

Milieueffectenrapport (MER) windmolenpark MERMAID - NW2

Windturbines configuratie 24+22 x 10MW (SeaTitan)

Mermaid | NORTHWESTER2 Offshore Energy | IMDC International Marine & Dredging Consultants

project number : 11441

drawing number : 11421 - 006

date : 16/06/2014

Coordinate System:
WGS 1984 UTM Zone 31N

0 1 2 3 4 Kilometers

Nr. IMDC: 11441_006_140616_WT10MW

Bijlage D Alternatieven kabeltraject

D.1 Optie A: meerdere parallelle verbindingskabels naar Alpha

N
W
E
S

BELWIND
SEASTAR
NORTHWIND
RENTEL
C-POWER
LODEWIJKBANK
TAT 14 (I)
FARLAND
ROJA 3
SEAMEWE3_SEG 10.4
FRANPIPE
BELWIND
INTERCONNECTOR (as laid)
CONCERTO 1S
REMBRANDT 2
#

Legende

- Mermaid concessie
- Northwester 2 concessie
- Northwester 2 - uitbreiding
- Windpark concessiegebieden
- Concessiezone Belgische windparken
- ELIA Alpha eiland projectgebied
- Militair oefengebied
- Zandextractiegebied
- Beschermd gebied (Natura 2000)
- Maritieme grens
- Pijpleidingen
- Navigatie routes
- # Wrakken

Onderwater kabels

- Kabel in gebruik
- Kabel buiten gebruik
- ELIA Exportkabel (gepland)
- Verbinding van Mermaid naar Alpha
- Verbinding van NW2 naar Alpha

Milieueffectenrapport (MER) windmolenpark MERMAID - NW2

Kabeltracé (Optie A)

Mermaid
NORTHWESTER2 Offshore Energy
IMDC International Marine & Dredging Consultants

project number : 11441
drawing number : 11421 - 011
date : 16/06/2014

Coordinate System:
WGS 1984 UTM Zone 31N

0 2 4 6 8 10 Kilometers

Nr. IMDC: 11441_011_140616_optieA

D.2 Optie B: 1 of 2 verbindingskabels van OHVS naar Alpha

N
W
E
S

BELWIND
SEASTAR
NORTHWIND
RENTEL
C-POWER
LODEWIJKBANK
IGHBANK

TAT 14 (I)
FARLAND
ROJA 3
SEAMEWE3_SEG 10.4
FRANPIPE
BELWIND
INTERCONNECTOR (as laid)
CONCERTO 1S
REMBRANDT 2

#

Legende

- Mermaid concessie
- Northwester 2 concessie
- Northwester 2 - uitbreiding
- Windpark concessiegebieden
- Concessiezone Belgische windparken
- ELIA Alpha eiland projectgebied
- Militair oefengebied
- Zandextractiegebied
- Beschermd gebied (Natura 2000)
- Maritieme grens
- Pijpleidingen
- Navigatie routes
- # Wrakken

Onderwater kabels

- Kabel in gebruik
- Kabel buiten gebruik
- ELIA Exportkabel (gepland)

Verbinding naar Alpha

- 1 of 2 verbindingskabel(s) Mermaid
- 1 of 2 verbindingskabel(s) NW2
- OHVS Mermaid
- OHVS NW2

Milieueffectenrapport (MER) windmolenpark MERMAID - NW2

Kabeltracé (Optie B)

Mermaid
NORTHWESTER 2 Offshore Energy
IMDC International Marine & Dredging Consultants

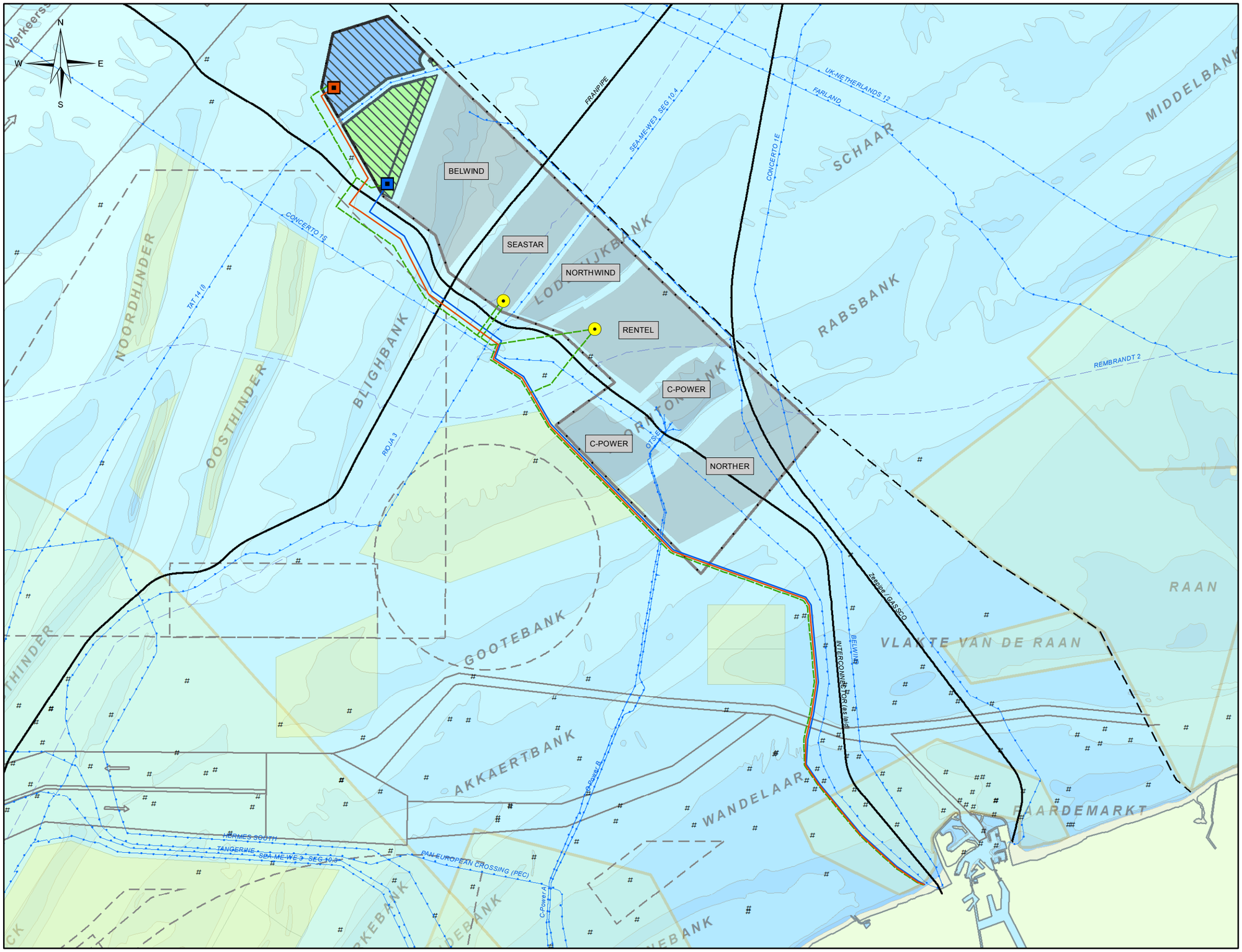
project number : 11441
drawing number : 11421 - 012
date : 16/06/2014

Coordinate System:
WGS 1984 UTM Zone 31N

0 2 4 6 8 10 Kilometers

Nr. IMDC: 11441_012_140616_optieB

D.3 Optie C: fall-back scenario, 1 of 2 exportkabels naar de kust



Legende

- Mermaid concessie
- Northwester 2 concessie
- Northwester 2 - uitbreiding
- Windpark concessiegebieden
- Concessiezone Belgische windparken
- Militair oefengebied
- Zandextractiegebied
- Beschermd gebied (Natura 2000)
- Maritieme grens
- Pijpleidingen
- Navigatie routes
- Wrakken

Onderwater kabels

- Kabel in gebruik
- Kabel buiten gebruik

Export kabel naar kust

- Mermaid naar kust
- NW2 naar kust
- Inlussing
- OHVS Mermaid
- OHVS NW2
- OHVS Rentel/SeaStar

Milieueffectenrapport (MER) windmolenpark MERMAID - NW2

Kabeltracé (Optie C)

Mermaid | NORTHWESTER 2 Offshore Energy | IMDC International Marine & Dredging Consultants

project number : 11441

drawing number : 11421 - 013

date : 16/06/2014

Coordinate System:
WGS 1984 UTM Zone 31N

0 2 4 6 8 10 Kilometers

Nr. IMDC: 11441_013_140616_optieC

D.4 Hoogspanningsnet in de Noordzee Elia

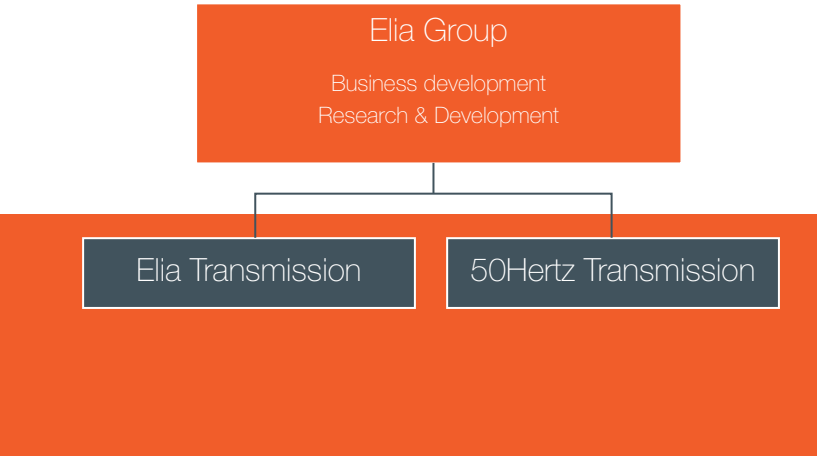
Hoogspanningsnet in de Noordzee
Een toekomstvisie



Om de Belgische en Europese doelstellingen ter bestrijding van de klimaatverandering te verwezenlijken, zal elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen een almaar groter aandeel van de productie op zich nemen. Dit betekent ook dat steeds meer gebruik wordt gemaakt van offshore windenergie.
Elia wil de toekomstige windmolenparken in de Noordzee, die net buiten onze kust zullen liggen, op een voor de gemeenschap optimale manier in het net integreren door een heus netwerk in zee te ontwikkelen. Daarmee legt Elia de basis van een toekomstig groot offshore net in Europa.

Een toekomstvisie !







De **Elia groep** is opgebouwd rond zijn twee transmissienet-beheerders voor elektriciteit, **Elia Transmission** in België en **50Hertz Transmission**, een van de vier Duitse transmissienetbeheerders (actief in het noordoosten van Duitsland), en behoort tot de top 5 van de Europese netbeheerders. De groep is een drijvende kracht achter de ontwikkeling van de Europese elektriciteitsmarkt en zet zich sterk in voor de bevoorradingszekerheid en de integratie van energie uit hernieuwbare energiebronnen. In dat opzicht betekent de overname van 50Hertz in mei 2010 een belangrijke hefboom voor de groep, dankzij de expertise die op dit vlak in Duitsland werd vergaard.





In eerste instantie: het elektriciteitsnet aan land versterken

In 2004 besliste de Belgische regering om de ontwikkeling van een productiecapaciteit van 2000 MW aan windenergie net buiten onze kust te ondersteunen. Elia heeft daarom de nodige stappen ondernomen om zijn elektriciteitsnet aan land in de kustzone te versterken om een massale injectie van energie in dit decentrale deel van België en het vervoer van deze energie naar verbruikscentra in het binnenland mogelijk te maken.
Deze versterkingen van het elektriciteitsnet aan land waren onontbeerlijk omdat het net er oorspronkelijk niet op voorzien was om in dit excentrische gebied een dergelijke productiecapaciteit te ontvangen. De ontwikkeling van het net was er in de loop der tijd immers vooral op gericht om de grote verbruikscentra te verbinden met centrale productieparken.

Bij deze aanpak werd in eerste instantie een nieuwe ondergrondse verbinding op 150 kV aangelegd tussen de stations van Koksijde en Slijkens, werd het hoogspanningsstation te Slijkens versterkt en de as tussen Zeebrugge en Blauwe Toren via twee 150 kV-kabels versterkt met nog een bijkomende kabel tussen Brugge en Blauwe Toren.
Dankzij deze realisaties kunnen de eerste windmolenparken worden aangesloten tot een capaciteit van 900 MW.

Tegelijk ging Elia van start met het project Stevin waarbij het 380 kV-net zal worden doorgetrokken naar Zeebrugge. Daar zal in de nabijheid van de havenzone ook een nieuw 380 kV-hoogspanningsstation worden opgetrokken.



Van het “spaghetti”scenario…

Tot nu toe stonden de promotoren van de eerste windmolenparken, C-Power en Belwind, zelf in voor de aansluiting van hun respectieve parken op de 150 kV-stations te Slijkens en Zeebrugge. Elia draagt gedeeltelijk bij tot de financiering van de onderzeese kabels, voor een bedrag van 25 miljoen € per verbinding, gespreid over 5 jaar.

Deze werkwijze heeft in een eerste fase misschien wel zin, maar is op langere termijn verre van optimaal op technisch-economisch en ecologisch vlak. Op termijn betekent dit dat er meer en meer onderzeese kabels “van punt naar punt” komen tussen de verschillende parken en de hoogspanningsstations aan de kust waarop zij worden aangesloten.

Een dergelijke “spaghetti” van kabels is duur (kosten vermenigvuldigd met het aantal verbindingen), schadelijk voor het milieu (opeenstapeling van kabels op de zeebodem en in de kustzone vlakbij de hoogspanningsstations aan land) en technisch niet optimaal (op het vlak van exploitatieveiligheid bijvoorbeeld).

Elia denkt bijgevolg met de ontwikkelaars na over een oplossing die zowel technisch, economisch als op milieuvlak optimaal is. Dit denkwerk leidde tot de visie van Elia waarbij het de bedoeling is om stap per stap een echt vermaasd net op zee uit te bouwen. In een dergelijk scenario worden de verschillende parken met elkaar verbonden op zee, in hoogspanningsstations op platformen die dicht bij de verschillende concessies liggen. Dit net op zee zal worden geïntegreerd in het net dat Elia op het vasteland beheert.





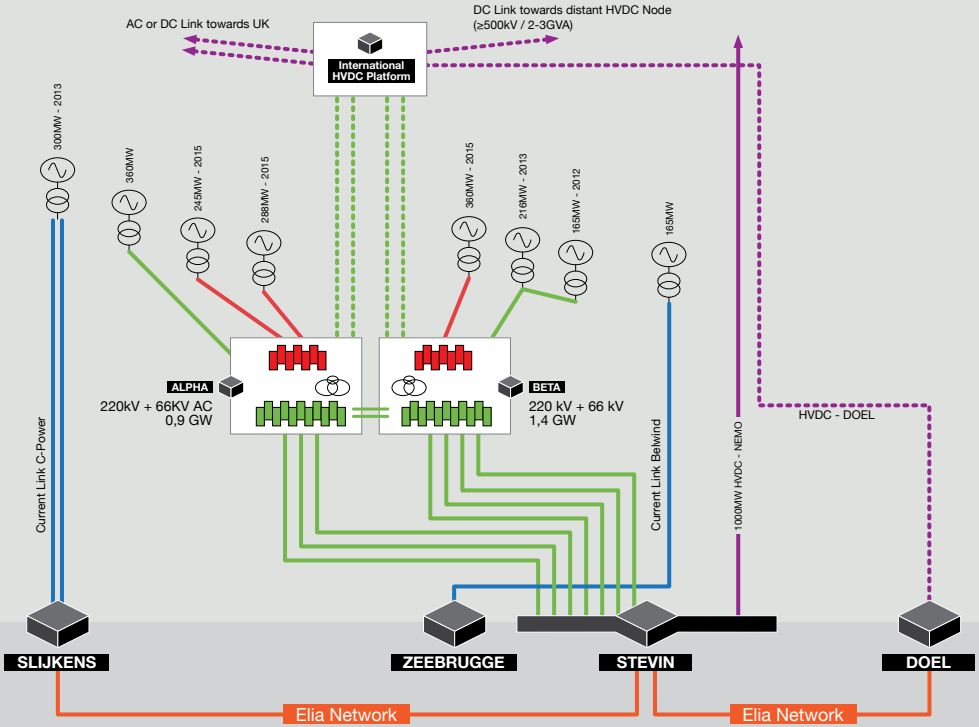
… tot het eerste vermaasde net op zee voor de Belgische kust

De visie die Elia voorstelt bestaat erin om in verschillende fases die overeenstemmen met de geleidelijke inbedrijfstelling van de verschillende parken de basis te leggen van een echt vermaasd net. Dit net zal voordelen bieden die te vergelijken zijn met deze van het bestaande onshore net. Zeker op het vlak van de betrouwbaarheid, dankzij de redundantie die door de vermazing van het net gecreëerd wordt, de optimalisering van de investeringen en het lagere aantal inkomende aansluitingskabels op het landnet.

Deze werkwijze zal leiden tot de opeenvolgende oprichting van twee platformen in de Noordzee, **alpha** en **beta**, die onderling verbonden zullen zijn en die elk door verbindingen op 220 kV aangesloten zullen zijn op het station Stevin dat vlakbij de havenzone van Zeebrugge zal worden opgetrokken.

De twee platformen zullen geleidelijk worden ontwikkeld waarbij elke fase een deel van de globale oplossing vormt. De aansluitingsstations op het onshore net zijn Zeebrugge en Stevin.

Op elk van deze platformen zal een volwaardig hoogspanningsstation van het GIS-type in zee geïnstalleerd worden, met de transformatoren die nodig zijn om de kabels op 66 kV of 220 kV te ontvangen die zullen toekomen vanuit de verschillende parken die geleidelijk in de nabijheid zullen worden gebouwd.



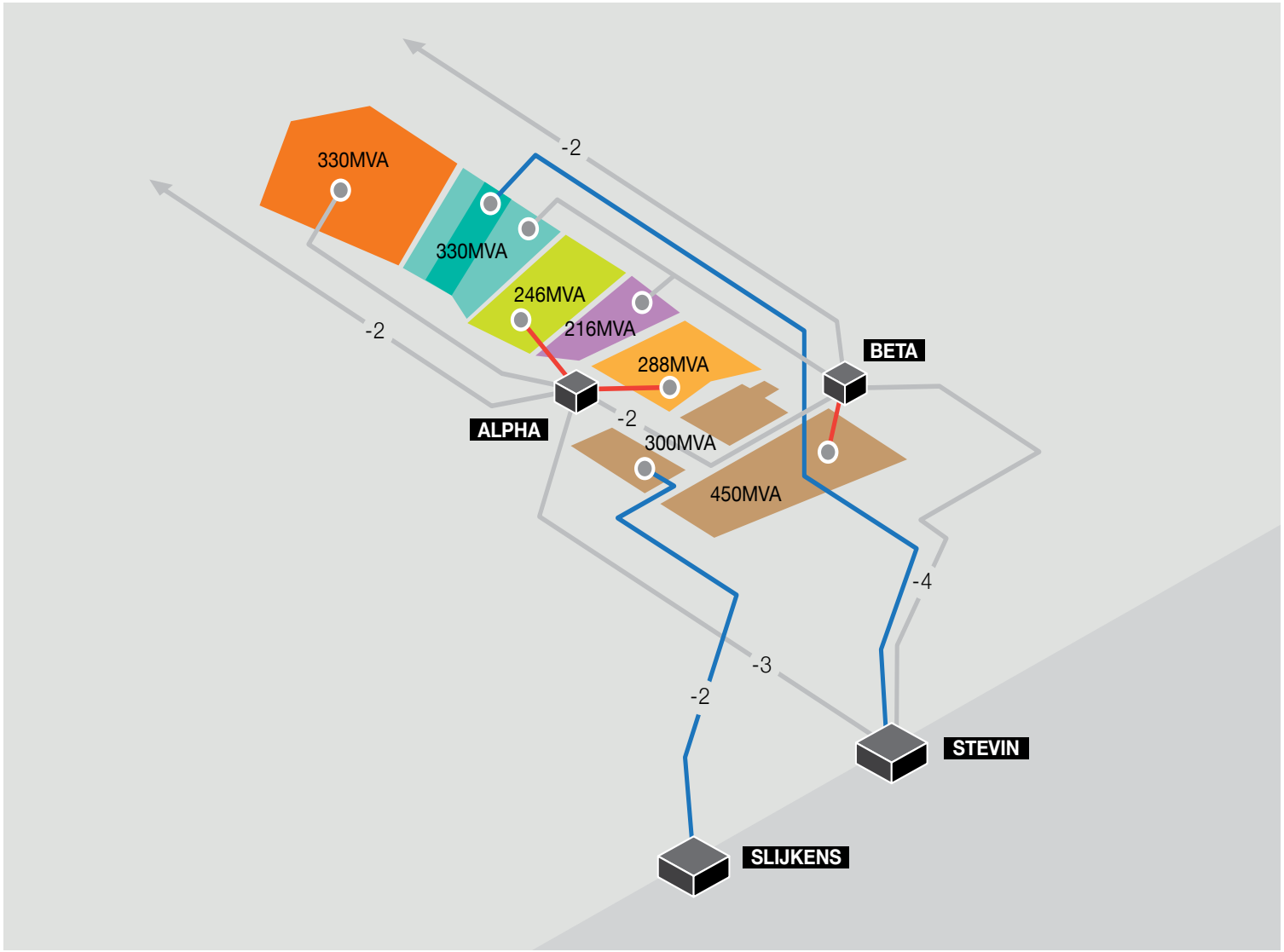
Indicatief schema met de op de publicatiedatum gekende waarden die hier onder voorbehoud worden vermeld.

Deze werkwijze biedt tal van voordelen, zoals

- de optimalisering van de investeringen voor Elia, de promotoren en de hele gemeenschap;
- de spreiding in de tijd van deze investeringen, naargelang de reële behoeften;
- de optimalisering van de onderhoudskosten;
- de duidelijke scheiding tussen de netinstallaties en de installaties van de promotoren;
- de redundantie en betrouwbaarheid die een vermaasd net biedt;
- het niet-discriminerende karakter tegenover de promotoren van windmolenparken;
- het kleiner aantal aansluitingskabels dat in het kustgebied binnendringt.

Bovendien biedt deze werkwijze een technische oplossing van de beste kwaliteit die steunt op een optimalisering van criteria zoals:

- het gewicht, de grootte, het aantal en het ontwerp van de platformen;
- het aantal kabels dat op de zeebodem moet worden gelegd, en dat aan land moet worden aangesloten;
- de afstand ten opzichte van de kust, tussen de platformen en de windmolenparken;
- de onthaalcapaciteit van de aansluitingsstations op het vasteland;
- het aantal transformatorpolen en het nominaal vermogen van de transformatoren;
- de verliezen (veroorzaakt door van de transformatie en het vervoer via kabels);
- het nominale vermogen;
- de energiestromen;
- de ondersteunende diensten, via wederzijdse bijstand tussen platformen en windmolenparken;
- het gebruik van beproefde technologieën.



Indicatieve waarden opgenomen als werkhypothese.
De voorgestelde oplossing is robuust genoeg voor
een eventuele verhoging van het vermogen op termijn.





… klaar voor aansluiting
op een toekomstig internationaal platform

Dit vermaasde offshore net vlak voor de Belgische kust zal geleidelijk worden opgebouwd, gelijklopend met de inplanting van de parken van de 7 toegekende concessies. Het zou al op relatief korte termijn – vanaf 2014 – de eerste resultaten kunnen leveren.

Het zal eveneens een voorpost vormen voor een verbinding met een toekomstig internationaal platform.
Buurlanden zoals Engeland of Nederland bijvoorbeeld werken immers ook aan de uitbouw van netten in hun territoriale wateren van de Noordzee.
Op termijn zou in samenwerking met andere transmissienetbeheerders een internationaal AC/DC-platform kunnen worden opgericht voor de transformatie van wisselstroom naar gelijkstroom (waarmee grotere vermogens over langere afstanden zouden kunnen worden overgebracht), bijvoorbeeld op enkele kilometer meer naar het noordwesten. Dit platform zou dan met wisselstroomkabels (met hoog vermogen) worden verbonden met de “lokale” offshore netten.

Een dergelijke structuur zou zo toegang verlenen tot andere energiebronnen, met name de waterkrachtenergie in Scandinavië, die beschikbaar zouden zijn wanneer er geen wind is op de Noordzee of waarmee windenergie zou kunnen worden opgeslagen indien er door de lokale vraag een energieoverschot zou zijn.

Dankzij deze oplossing zouden de Belgische verbruikers via het nieuwe net in de Noordzee groene elektriciteit kunnen krijgen zelfs als het windstil is!

Bovendien stemt deze langetermijnvisie – die tegen 2025 concrete vorm zou krijgen – overeen met de pistes die de Europese Commissie binnen haar energiebeleid en de lidstaten gelegen rond de Noordzee in het project North Sea Countries Offshore Grid Initiative hebben uitgestippeld.



… en nu al met de blik op de toekomstige ontwikkeling **van het onshore productiepark!**

Tot slot dient aangestipt dat de aanpak die hier is voorgesteld - met aansluiting op een internationaal platform met gelijkstroom - op termijn perfect in overeenstemming is met de onthaalcapaciteit van het net. Mocht de sluiting van de kerncentrales in Doel inderdaad doorgaan, dan zou het vermogen aangevoerd vanuit dit internationale platform het vermogen kunnen vervangen dat niet langer vanuit Doel zou worden geïnjecteerd.
Dat zou bijvoorbeeld kunnen gebeuren via een verbinding met gelijkstroomkabels in de Schelde. Dit zou niet alleen de bevoorradingszekerheid kunnen waarborgen maar tevens toegang bieden tot een energiemix die tegelijk gediversifieerd en kwaliteitsvol is op het vlak van duurzaamheid.

Zo wil Elia zijn missie als geëngageerde TNB vervullen, ten bate van de bevoorradingszekerheid en de optimale werking van de markt en met het oog op de strijd tegen de klimaatopwarming.



www.elia.be

Powering a world in progress

Elia System Operator S.A.

Keizerslaan 20
1000 Brussel
België

Design by www.generis.be / Photos: Elia, DEME, iStock /
Verantwoordelijke uitgever: Jacques Vandermeiren, Keizerslaan 20, 1000 Brussel

D.5 Stevin project Elia

belangrijke factor in duurzame energievoorziening

Project Stevin



elia

Vitaal in een wereld die vooruitgaat

Het project Stevin: antwoord op meervoudige vraag

Met het project Stevin voorziet Elia in de uitbreiding van zijn 380.000 Volt-net tussen Zomergem en Zeebrugge. Deze netversterking biedt de oplossing om aan drie behoeften te voldoen.

- Het project Stevin maakt het mogelijk om de windenergie van windparken op zee aan land te brengen en naar het binnenland te transporteren;
- Stevin creëert de mogelijkheid tot een verdere interconnectie van het Belgische net met een onderzeese verbinding naar het Verenigd Koninkrijk. Dit project ligt momenteel ter studie. Op langere termijn wordt ook gedacht aan een verdere uitbreiding van de interconnecties via de Noordzee om toegang te krijgen tot de duurzame (hernieuwbare) energiemix uit een groot deel van Noord-Europa;
- De uitbreiding van het 380 kV-net naar de kust is eveneens nodig om de zekerheid van de elektriciteitsbevoorrading in de West-Vlaamse regio te verbeteren en een verdere economische ontwikkeling mogelijk te maken in de strategisch belangrijke groeipool rond de haven van Zeebrugge.

Energiebeleid als leidraad

Europa stelt zich tot doel om tegen 2020 het energieverbruik met 20% te verminderen, om 20% minder CO2 uit te stoten en om 20% van het energieverbruik op te wekken uit hernieuwbare bronnen. België moet tegen 2020 13% van zijn energieverbruik opwekken uit hernieuwbare bronnen. De belangrijkste bron in België is de windenergie op zee. Reeds in 2004 heeft de Belgische overheid een zone afgebakend op zee waarbinnen een capaciteit van minstens 2000 MW aan windenergie kan geïnstalleerd worden.

Ondertussen werden reeds vijf domeinconcessies toegewezen voor het realiseren en uitbaten van de windmolenparken op zee. De installatie daarvan is volop aan gang. De geproduceerde elektriciteit dient echter ook aan land te worden gebracht en te worden getransporteerd via het transmissienet naar de distributiemaatschappijen en de afnemers. Het huidige 150.000 Volt-net aan de kust is echter reeds zwaar belast en kan behoudens de eerste drie concessies geen bijkomende belasting meer dragen. Het Vlaams Regeerakkoord van juli 2009 stelt dan ook uitdrukkelijk: “Tegelijk onderzoeken we hoe we de uitbouw van het Elia-netwerk in Vlaanderen kunnen faciliteren om de stroom van de windmolenparken op zee vlot naar de grote verbruikscentra te kunnen voeren”.

Tweeledig project

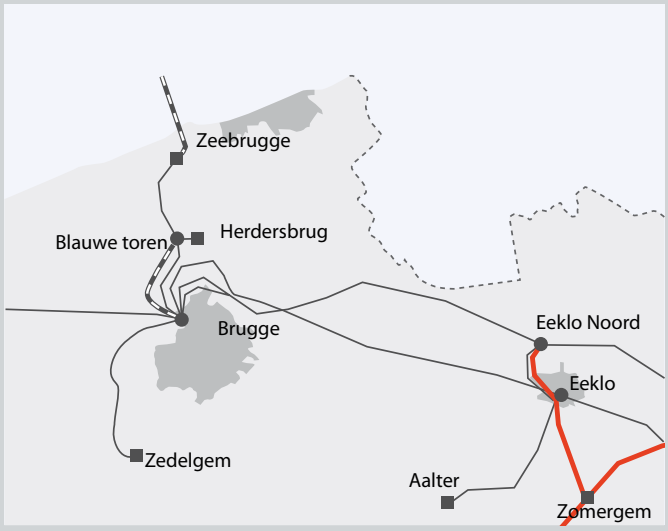
Met het project Stevin gaat Elia het zeer hoge spanningsnet op 380 kV (kilovolt) doortrekken naar de kust bij Zeebrugge.

Het project Stevin omvat twee grote delen:

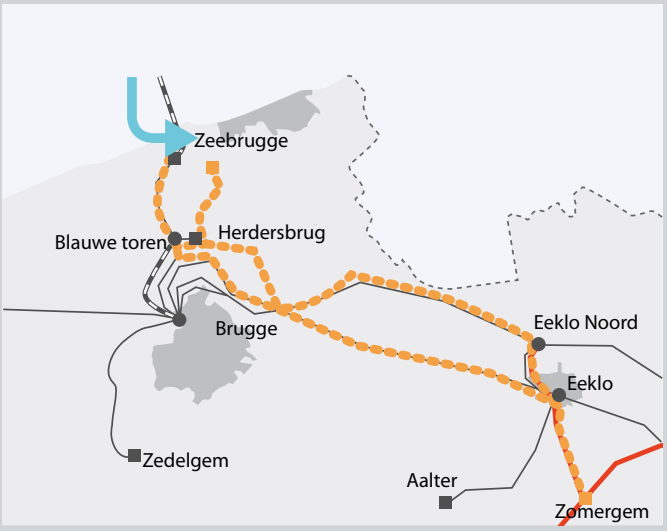
- de aanleg van een hoogspanningsstation in Zeebrugge;
- de aanleg van een bovengrondse 380 kV-hoogspanningsverbinding tussen een nieuw te bouwen hoogspanningsstation te Zomergem en het nieuw te bouwen hoogspanningsstation te Zeebrugge.

De verbinding

Huidig net West-Vlaanderen



De tracéalternatieven



Elia wil een dubbele verbinding op 380 kV aanleggen met een vermogen van 2 x 3000 MVA (megavolt ampère).

De verbinding zal tussen Zomergem en Zeebrugge lopen over de provincies West- en Oost-Vlaanderen. Volgende gemeenten zijn betrokken: Brugge, Blankenberge, Zuienkerke, Damme, Maldegem, Sint-Laureins, Waarschoot, Eeklo, Zomergem en Lovendegem.

Het definitieve tracé wordt beslist door de Vlaamse Regering en opgenomen in een Gewestelijk Ruimtelijk Uitvoeringsplan (GRUP) na de vereiste milieubeoordeling via een plan-milieu-effectenrapportage (plan-MER). De locaties voor de inplantingen van de masten, de hoogte van de bovengrondse hoogspanningsverbinding, de vorm en hoogte van de hoogspanningsmasten zijn nog niet in het voorstel opgenomen. Deze elementen zullen in een latere fase op projectniveau behandeld worden.

Beschrijving van de tracéalternatieven

De voorgestelde tracéalternatieven werden vooraf grondig onderzocht om een oplossing te vinden die rekening houdt zowel met ecologische als met economische en technologische bekommernissen.

Elia wenst maximaal gebruik te maken van de bestaande infrastructuur en waar mogelijk bestaande tracés te volgen om bijkomende impact op de omgeving zoveel mogelijk te beperken.

Ook wordt het aantal overspanningen van woningen zoveel mogelijk beperkt.

380 kV Zomergem - Eeklo
VOOR



380 kV Zomergem - Eeklo
NA



Het voorliggende voorstel, dat na uitgebreid voorafgaand onderzoek is uitgestippeld, omvat 4 deeltracés met verschillende varianten:

- Deeltracé 1: het versterken van de bestaande bovengrondse 380 kV-verbinding tussen Zomergem en Eeklo met behoud van de bestaande pylonen. Dit is mogelijk door het gebruik van hogeperformantiegeleiders.
- Deeltracé 2: een nieuwe bovengrondse 380 kV-verbinding tussen Eeklo en Brugge-Oost. Hiervoor bestaan twee alternatieven: ofwel een noordelijk tracé, gebundeld met een bestaande 150 kV-lijn via het hoogspanningsstation Eeklo-Noord ten noorden van Maldegem naar de Brugse Oostrand, ofwel een meer zuidelijk tracé, gebundeld met een bestaande 150 kV-lijn ten westen van Eeklo en ten zuiden van Maldegem naar de Brugse Oostrand. In beide gevallen zal de bestaande 150 kV-verbinding ten zuiden van Maldegem worden afgebroken tussen Eeklo en Brugge.
- Deeltracé 3: vanuit de Brugse Oostrand liggen enkele alternatieven met lokale varianten voor om de Noordrand van Brugge te bereiken. Deze zijn afhankelijk van de inplanting van het hoogspanningsstation te Zeebrugge, ten oosten of ten westen van het Boudewijnkanaal.
- Deeltracé 4: vanuit de Noordrand van Brugge richting Zeebrugge. Het tracé zal hier afhankelijk zijn van de ligging van het geplande hoogspanningsstation te Zeebrugge.

Om zoveel mogelijk bestaande infrastructuur te kunnen gebruiken, kan de bestaande bovengrondse 150 kV-verbinding Blauwe Toren-Zeebrugge ondergronds worden gebracht in functie van het gekozen tracé.

Het hoogspanningsstation Stevin te Zeebrugge

Er liggen drie verschillende mogelijke inplantingen voor het hoogspanningsstation bij Zeebrugge voor.

Voor één ervan werd een exacte locatie geïdentificeerd: het betreft het militair domein ten oosten en ten westen van de N31 en begrensd ten noorden door de kustweg.

Twee andere mogelijke terreinen zijn als 'zoekzone' in het voorstel opgenomen: één in agrarisch gebied aansluitend aan de 'Transportzone' en één in de achterhaven van Zeebrugge (Havengebied). Hiervoor is geen exacte locatie bepaald.

De installaties in het hoogspanningsstation

De 380 kV-verbinding tussen Zeebrugge en Zomergem wordt verbonden met een nieuw hoogspanningsstation met transformatoren en schakelapparatuur die de omzetting mogelijk maken van elektriciteit op een spanning van 380 kV naar elektriciteit op een spanning van 150 kV.

Dit is een compact station van het GIS- type (gas-insulated switchgear), ondergebracht in een gebouw.







Via een ondergrondse 150 kV-verbinding wordt dit hoogspanningsstation verbonden met het bestaande station aan de Blondeellaan te Zeebrugge.

Daarnaast zullen er ook de installaties voor de aansluiting van windmolenparken op zee gegroepeerd worden.

Het station zal ook alle installaties omvatten voor de onderzeese verbinding naar het Verenigd Koninkrijk die op gelijkstroom (HVDC-High Voltage Direct Current) zal werken. Deze installaties omvatten de aansluiting en het conversiestation met de apparatuur om van gelijkstroom in wisselstroom om te vormen en omgekeerd.

Oog voor mens en milieu

Impact op mens en omgeving zoveel mogelijk beperken

Elia stelt alles in het werk om de impact op mens en omgeving zo beperkt mogelijk te houden.

Door het maximaal hergebruiken van bestaande mastenrijen, door middel van nieuwe technologieën zoals het gebruik van hogeperformantiegeleiders en geïsoleerde mastarmen, en het deels ondergronds brengen van bestaande 150 kV-verbindingen, kunnen bestaande trajecten worden hergebruikt. Bovendien wordt na de realisatie van de netversterking op 380 kV ook een bestaande verbinding tussen Eeklo en Brugge en ten zuiden van Maldegem afgebroken.

Er worden in het verlengde van het project Stevin nieuwe ondergrondse 150kV verbindingen aangelegd.

Elia stelt zich tot doel het aantal overspanningen van woningen zoveel mogelijk te beperken.

Elektrische en magnetische velden

Een **elektrisch veld** wordt gegenereerd door de aanwezigheid van elektrische ladingen. De eenheid waarin een elektrisch veld wordt uitgedrukt is Volt per meter. Een **magnetisch veld** wordt opgewekt door de verplaatsing van deze elektrische ladingen, de stroom. Het varieert in functie van de stroomsterkte en van de afstand tot de geleider. Het wordt uitgedrukt in ampère per meter, vaker ook nog in tesla (T) of microtesla (µT), een miljoenste van een tesla. Beide soorten velden worden gekenmerkt door hun frequentie en golflengte.

Elektrische en magnetische velden zijn fenomenen die gewoon in de natuur voorkomen: in alle vormen van licht, bliksem, enz. De aarde zelf veroorzaakt ook elektromagnetische velden. Verschillende industriële toepassingen wekken ook elektrische en magnetische velden op. Het elektromagnetische spectrum is heel breed.

De transmissie van elektriciteit en elektrische toepassingen (zoals scheerapparaten, wasmachines en andere elektrische apparaten) wekken eveneens elektrische en magnetische velden op. Deze magnetische velden hebben een zeer lage frequentie (50 Hz). Op deze frequentie worden elektrische en magnetische velden afzonderlijk beschouwd.

Elia volgt het wetenschappelijk onderzoek over elektrische en magnetische velden van zeer dichtbij op en heeft in dat kader een samenwerkingsakkoord gesloten met onafhankelijke onderzoekscentra aan verschillende Belgische universiteiten, gegroepeerd binnen de Belgian BioElectroMagnetic Group (BBEMG). Meer informatie is te vinden op de website **www.bbemg.ulg.ac.be**.

Bovengrondse verbinding als beste oplossing

Voor verbindingen op zeer hoge spanningen en met zeer hoge vermogens zoals deze, opteert Elia om verscheidene redenen voor een bovengrondse lijn.

Milieu

Zowel een ondergrondse als een bovengrondse verbinding hebben een milieu-impact. Voor bovengrondse verbindingen is de fysieke impact beperkt tot de mast (~10m breed).

Voor ondergrondse verbindingen is er een permanent onbebouwbare brede corridor van minimum 15 meter zonder bomen of constructies over geheel de lengte. Tijdens de werken is een corridor van zo'n 40 meter breed nodig voor de opslag van grond, de sleuf voor de aanleg van de kabels, het transport en de toegangen.

Zowel bovengrondse als ondergrondse verbindingen genereren magnetische velden van 50 Hz.

In de directe nabijheid van een ondergrondse verbinding kunnen de magnetische velden hoger liggen dan bij een bovengrondse verbinding, daar de ondergrondse verbinding op 1,5 m - 2m diepte in de grond ligt terwijl een bovengrondse lijn meestal 20 à 30 m boven het maaiveld hangt. Bij een ondergrondse verbinding neemt de sterkte van het magnetisch veld wel sneller af met de afstand ten aanzien van die verbinding dan bij een bovengrondse verbinding. Bij een ondergrondse verbinding wordt het elektrisch veld tegengehouden door de isolerende omhulsels.

Technisch

De transmissiecapaciteit van een lange ondergrondse verbinding is beperkt (+/- 900 MVA tegenover 3000 MVA). Doordat kabels zich zeer capacitief gedragen, zal actief vermogen verschuiven naar reactief vermogen. Enkel actief vermogen is echter bruikbaar voor de eindgebruiker. Reactief vermogen creëert warmteverliezen en beperkt de nuttige capaciteit van de installatie. Om dit reactief vermogen te compenseren moeten er regelmatig (+/- om de 30 km) tussenstations gebouwd worden. Dit vergroot de technische complexiteit van het netwerk en de kostprijs. Er zou minimum één tussenstation nodig zijn op de verbinding.

Een ondergrondse verbinding is minder bedrijfszeker dan een bovengrondse verbinding. Bij een bovengrondse verbinding komen veel minder structurele defecten voor dan bij een ondergrondse verbinding. Als een ondergrondse verbinding uitschakelt, blijft de verbinding onbeschikbaar gedurende meerdere dagen of weken. Voor twee elektrische wegen op één bovengrondse verbinding zijn drie ondergrondse elektrische wegen nodig om een gelijke betrouwbaarheid te bekomen. Daarom moeten er meerdere kabelverbindingen aangelegd worden om de energievoorziening te kunnen handhaven.

Economisch

Een ondergrondse 380 kV-verbinding heeft een veel hogere kostprijs. Voor voorliggend project zou deze 7 tot 10 keer hoger liggen dan voor een bovengrondse verbinding. Wegens de beperkte technische ervaring met dit soort verbindingen van een zeer recente technologische ontwikkeling, is de levensduur onvoorspelbaar. Het valt te verwachten dat op lange termijn meer en bovendien hoge vervangingsinvesteringen nodig zijn.

Bovenstaande elementen zouden resulteren in hogere transmissietarieven.

Elia overweegt vandaag de aanleg van ondergrondse 380 kV-hoogspanningsverbindingen enkel voor de aansluiting van productie-eenheden met vermogens lager dan 1.000 MW en dit over kleine afstanden (enkele kilometers). Deze productie-eenheden zijn telkens gelegen op eindtakken van het netwerk en in geval van een defect aan de ondergrondse hoogspanningsverbinding zou dit niet leiden tot het uitvallen van de elektriciteitsvoorziening in een deel van het netwerk.

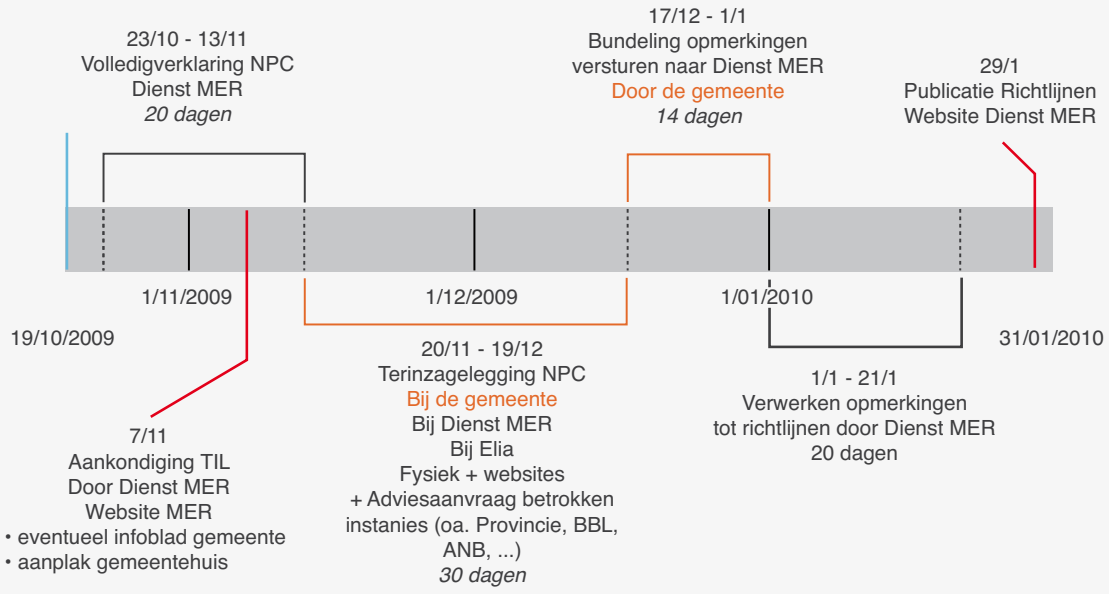
Het vergunningstraject

Stap 1: opname in het Gewestelijk Ruimtelijk Uitvoeringsplan en plan-MER

Vooraleer vergunningen kunnen worden afgeleverd voor de bouw van het nieuwe hoogspanningsstation en de bovengrondse hoogspanningsverbinding, dient de nieuwe infrastructuur en het traject van de verbinding te worden opgenomen in een ruimtelijk uitvoeringsplan, definitief vast te stellen door de Vlaamse Regering. Dit gebeurt op basis van een gedegen ruimtelijke afweging en de resultaten van een milieu-effectenrapport waarvan de reikwijdte mede wordt bepaald door inspraak van de burger en adviezen van gemeenten, provinciale en andere administraties. De periode van publieke consultatie zal lopen van midden november tot midden december 2009. Tijdens deze periode kunnen de burgers de nota voor publieke consultatie, die de verschillende trajectvarianten beschrijft en een voorstel van te bestuderen milieueffecten formuleert, inkijken bij de betrokken gemeenten of op de websites van Elia en de Dienst MER en daarover hun opmerkingen geven.

Tijdens die inzageperiode kan het publiek aangeven welke bepaalde bijkomende aspecten dienen onderzocht te worden en alternatieven formuleren. De opmerkingen die het publiek maakt en de adviezen van de administraties worden verwerkt in richtlijnen voor de opmaak van het plan-MER.

Nota voor publieke consultatie: praktisch

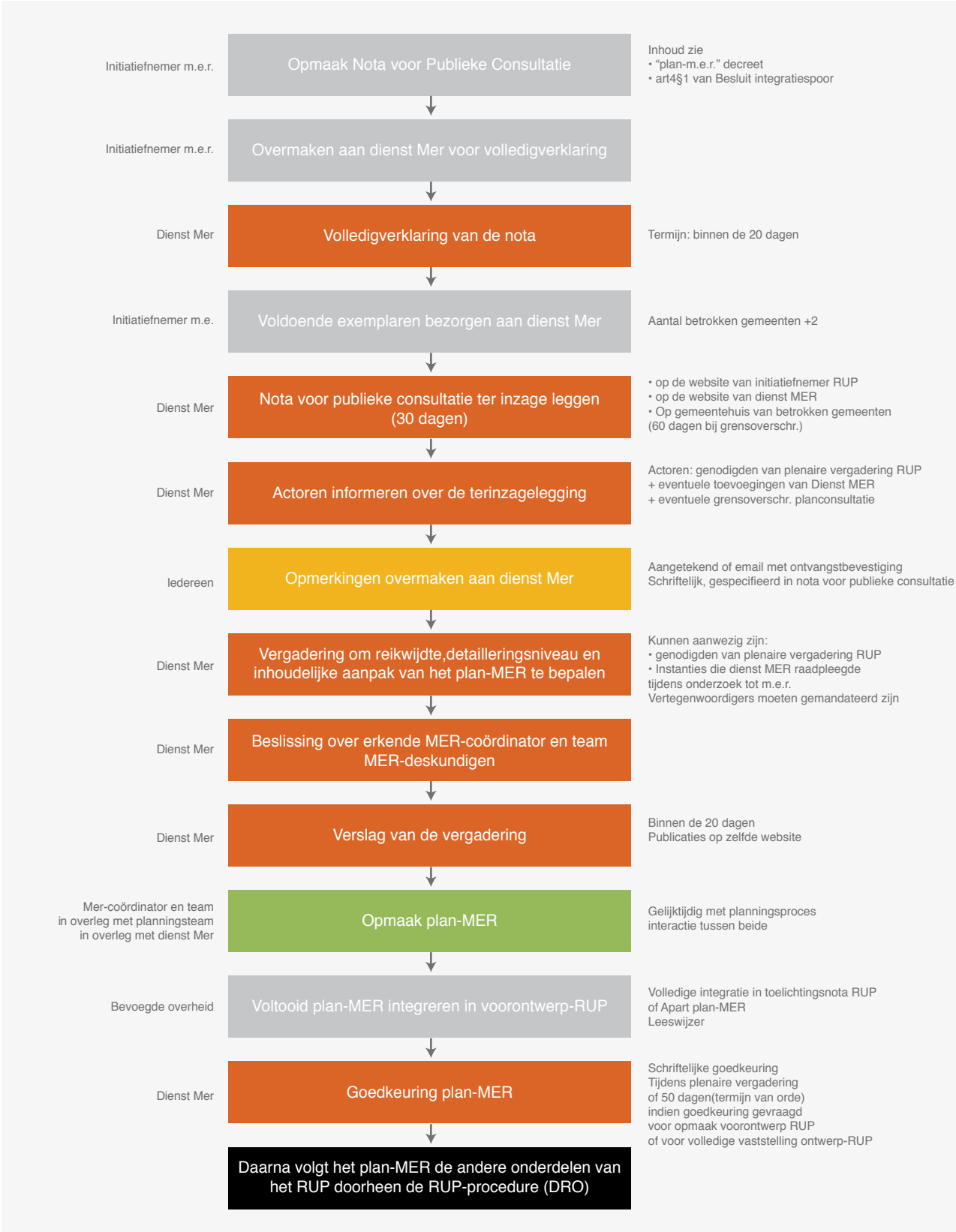


Data zijn richtinggevend

De goedgekeurde plan-MER wordt geïntegreerd in het voorontwerp van GRUP dat voorlopig vastgesteld wordt door de Vlaamse Regering. Nadien wordt een openbaar onderzoek gevoerd dat 60 dagen zal duren. Hierbij wordt opnieuw het advies van administraties en gemeenten gevraagd en kunnen burgers bezwaar indienen. Daarna wordt het GRUP vastgelegd, waarmee het tracé van de verbinding en de inplanting van het hoogspanningsstation definitief vastgelegd worden.

Voor meer detail over de procedure van een plan-MER en een GRUP, raadpleeg de website van MER Vlaanderen, www.mervlaanderen.be en Ruimtelijke Ordening in Vlaanderen, www.ruimtelijkeordening.be

Opmaken van een plan-MER



Volgende stappen vergunningstraject

Project-MER

Naast het milieu-effectenrapport verbonden met het GRUP moet er ook nog een milieu-effectenrapport verbonden met het project gerealiseerd worden.

In deze **project-MER** worden de milieueffecten bestudeerd en geëvalueerd op basis van de gekozen tracés. Daarbij komen bijvoorbeeld aan bod: type, hoogte, reikwijdte en inplanting van de masten, types geleiders, hoogte van de geleiders, uitvoering van de gebouwen van het hoogspanningsstation, groenvoorziening enz...

Stedenbouwkundige vergunning

De **Stedenbouwkundige Vergunning** wordt aangevraagd bij de Vlaamse overheid. De stedenbouwkundige ambtenaren van de betrokken provinciale afdelingen zullen advies inwinnen bij de betrokken instanties en zullen tevens een openbaar onderzoek op het terrein organiseren. Dit openbaar onderzoek duurt 30 dagen en na bundeling van de bezwaren en de adviezen zal de Vlaamse Overheid beslissen.

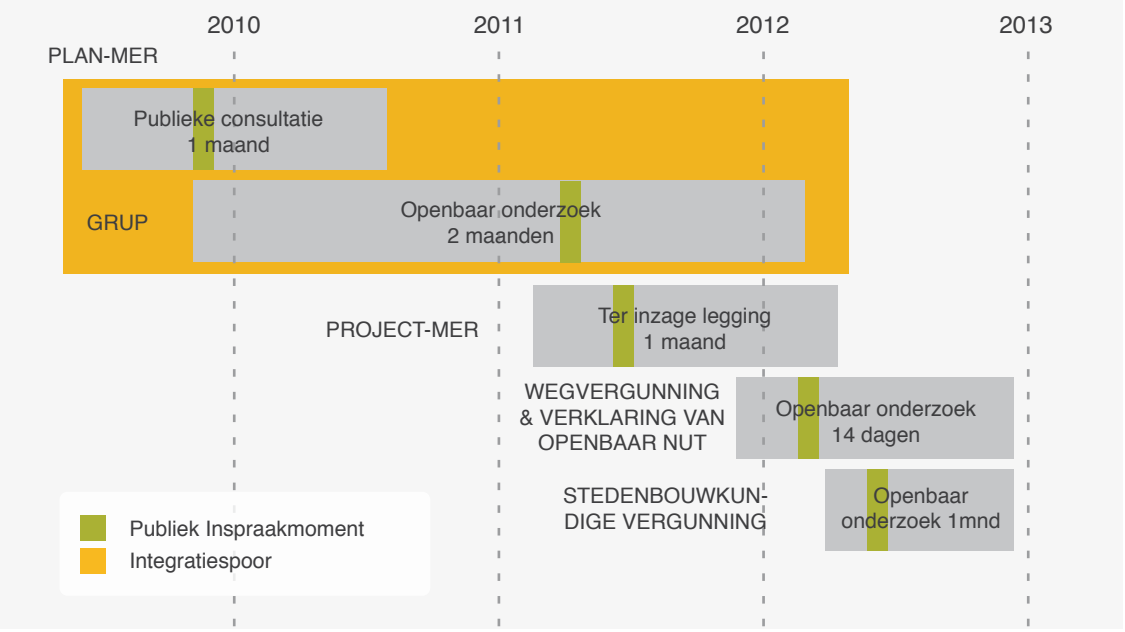
Wegvergunning en Verklaring van Openbaar Nut

Krachtens de wet van 10 maart 1925 wordt voor de hoogspanningsverbinding -gelijklopend met de procedure voor de stedenbouwkundige vergunning- bij de Federale Overheidsdienst Economie, K.M.O., Middenstand & Energie, een **Wegvergunning** en een **Verklaring van Openbaar Nut** aangevraagd.

Een verklaring van openbaar nut wordt aangevraagd voor het aanleggen van elektrische verbindingen op privé-terreinen terwijl een wegvergunning nodig is voor het aanleggen van elektrische verbindingen op openbaar domein zoals o.a. wegen, spoorwegen, kanalen, enz.

De doorlooptijd van beide vergunningen bedraagt ongeveer 12 maanden. Bij het doorlopen van de procedure van Openbaar Nut wordt tevens een openbaar onderzoek georganiseerd waarbij alle eigenaars van de percelen waarop een mast wordt ingeplant persoonlijk zullen worden aangeschreven. De betrokken eigenaars beschikken over 14 dagen om hun bezwaren kenbaar te maken.

Vergunningstraject: overzicht procedures & inspraakmomenten



Milieuvergunning

Voor het hoogspanningsstation Stevin dient een **milieuvergunning** klasse II bij de betrokken gemeente aangevraagd te worden.

De werken: bouwproject in meerdere stappen

Nadat de vergunningsprocedures afgerond zijn kan de eigenlijke uitvoering van de bouw doorgaan.

Het bouwen van een bovengrondse hoogspanningsverbinding bestaat uit de volgende stappen:

- het voorbereiden van de toegangen tot de mastlocaties;
- het aanbrengen van beschermingsportieken om bijvoorbeeld wegen te beschermen tijdens de werken;
- het maken van de fundering van de hoogspanningsmast;
- het samenstellen en oprichten van de mast met behulp van kranen;
- het trekken van de kabels van mast tot mast;
- het opruimen van de werf.

Naargelang de gekozen locaties en deeltrajecten en de gekozen technologie, kunnen de werken meer of minder omvangrijk en tijdrovend zijn. Naargelang het gekozen deeltracé zullen bepaalde stappen immers niet nodig zijn of tot een minimum beperkt blijven.















De timing

De timing van het project is in ruime mate afhankelijk van de duur en het verloop van de vergunningsprocedure. Aangenomen wordt dat deze tegen einde 2012 afgerond kan zijn.

Indien deze verloopt volgens planning, zouden de eigenlijke werken kunnen starten vanaf begin 2013 en lopen tot einde 2014. De afbraak van de meest zuidelijk gelegen bovengrondse 150 kV-verbinding tussen Eeklo en Brugge kan pas na het in gebruik nemen van de nieuwe 380 kV-verbinding. Dit wordt voorzien begin 2015.

Open dialoog met omwonenden

Elia streeft steeds naar een constructieve dialoog met alle betrokkenen. Ook bij dit project zal ruim aandacht worden besteed aan de omwonenden. In de voorbereidende fase wordt in samenwerking met de gemeentelijke diensten en alle andere betrokkenen naar een optimale oplossing gestreefd.

Zodra de locatie van de verbinding en de inplanting van de masten bekend zal zijn, komt een contactpersoon van Elia bij de betrokken bewoners langs om alle praktische schikkingen in goed overleg vast te leggen.

Tijdens de werken staat eveneens een contactpersoon ter beschikking om informatie te verstrekken en de mogelijke hinder van de werken voor de omwonenden zo beperkt mogelijk te houden.

Hoogspanningsstation Horta te Zomergem: schakel naar het interconnectienet

Het hoogspanningsstation Horta nabij Zomergem wordt een nieuw belangrijk knooppunt in het 380 kV-interconnectienet.





Station Horta: bestaande situatie en simulatie na.

Het station Horta vormt tevens een onmisbaar knooppunt om de nieuwe 380 kV-verbinding naar de kust ter hoogte van Zeebrugge, gepland via het project Stevin, te verbinden met de interconnectie tussen Frankrijk, België en Nederland. Het vormt immers de schakel naar de 380 kV-as Avelin (Fr.)-Avelgem-Mercator-Doel-Zandvliet-Geertruidenberg (Nl.). Deze vormt de ruggengraat van ons interconnectienet.

Het nieuwe hoogspanningsstation maakt ook deel uit van de investeringen die nodig zijn om op middellange termijn de elektriciteitsvoorziening in de Gentse havenregio te versterken en de bevoorradingszekerheid te verbeteren. Mede hierdoor wordt de realisatie van dit station als een apart project beschouwd, met een apart vergunningstraject.

Waar?

Een dergelijk hoogspanningstation kan worden gebouwd in Zomergem, ter hoogte van de aftakking richting Eeklo-Noord.

Een locatie werd hiervoor geïdentificeerd in landbouwgebied tussen de woonkernen van de gemeenten Zomergem en Lovendegem.

Nuttige Links

www.elia.be

http://economie.fgov.be/nl/consument/Energie/hernieuwbare_energieen/energiebronnen_offshore/index.jsp

www.mervlaanderen.be

www.ruimtelijkeordening.be

www.bbemg.ulg.ac.be.













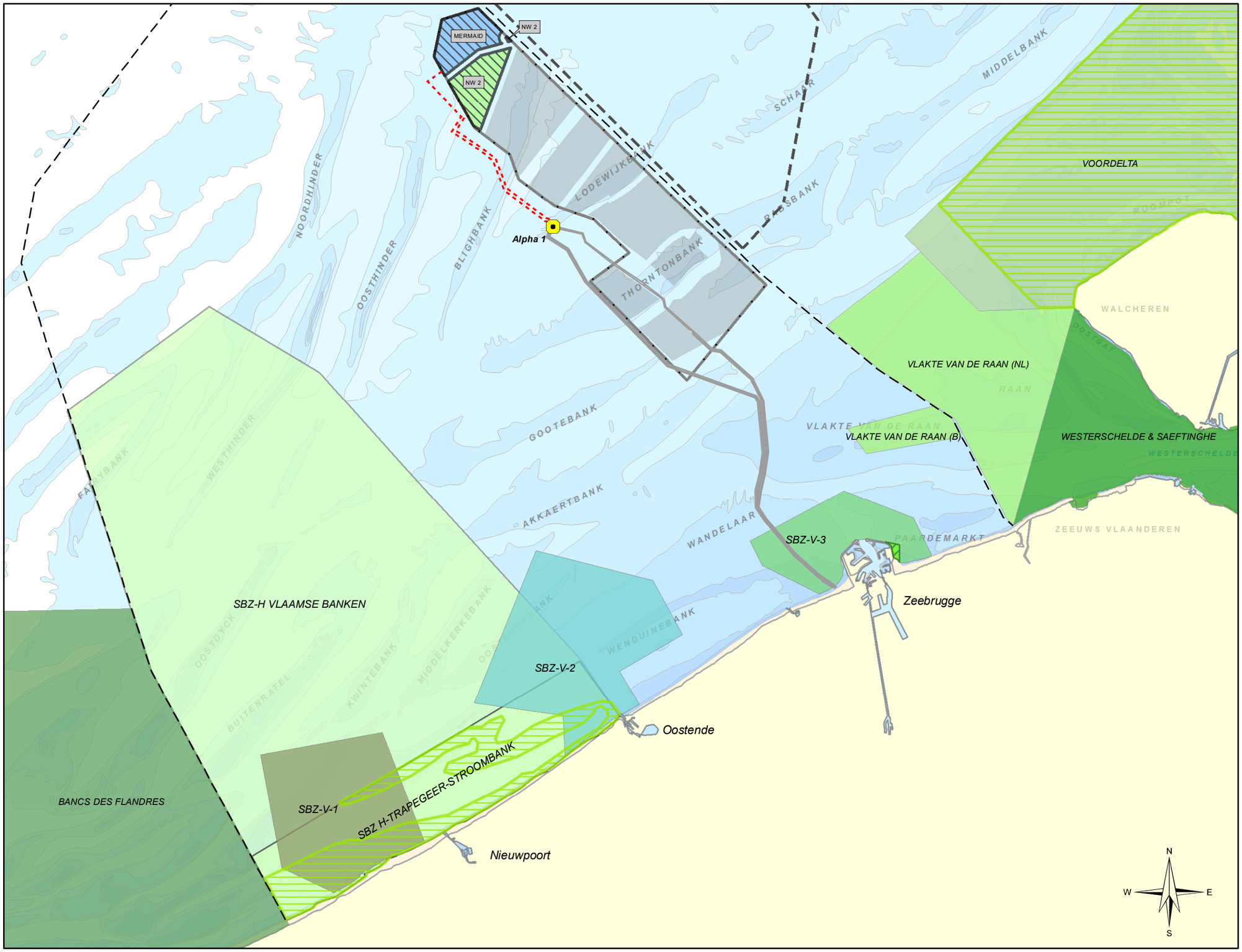




Verantwoordelijke uitgever: Jacques Vandermeiren

Keizerslaan 20 - 1000 Brussel - T +32 (0)2 546 70 11 - F +32 (0)2 546 70 10
info@elia.be - www.elia.be

Bijlage E Beschermde mariene gebieden



Legende

- Maritieme grens
- Mermaid concessie
- Northwester 2 concessie
- Windpark concessiegebieden
- Concessiezone Belgische windparken
- Borsele windfarm ontwikkelingszone

Beschermde gebieden (Natura 2000)

- SBZ-V-1
- SBZ-V-2
- SBZ-V-3
- BESCHERMD GEBIED (RAMSAR)
- MARIEN RESERVAAT BAAI VAN HEIST
- SBZ-H Trapegeer-Stroombank
- SBZ-H Vlaamse Banken
- WESTERSCHELDE & SAEFTINGHE
- VOORDELTA
- VLAKTE VAN DE RAAN
- BANCS DES FLANDRES
- Elia Alpha eiland
- ELIA Exportkabel
- Verbinding Mermaid & NW2 - Alpha

Milieueffectenrapport (MER) windmolenpark MERMAID - NW2

Beschermde mariene gebieden

Mermaid | NORTHWESTER2 Offshore Energy | IMDC International Marine & Dredging Consultants

project number : 11441

drawing number : 11421 - 003

date : 28/01/2014

Coordinate System:
WGS 1984 UTM Zone 31N

0 5 10 15 20 25 Kilometers

Nr. IMDC: 11441_003_140128_beschermdegebieden

Bijlage F Brochures typevoorbeelden windturbines



WIND PRODUCT SOLUTIONS

Haliade™ 150-6MW Offshore Wind Turbine

Alstom, one of the most trusted names in power generation, offers a new generation, high yield offshore wind turbine. Uncompromising on reliability and designed for ease of installation, the turbine lowers the cost of offshore energy.

High yield, uncompromising reliability

Building upon its ALSTOM PURE TORQUE® technology for drive train reliability, Alstom has developed an offshore 6MW direct-drive wind turbine suitable for all offshore conditions. Proven technology and innovation are combined to deliver market-leading cost efficiency.

The turbine incorporates dedicated offshore technology in collaboration with some of the industry's leading component suppliers. There can be no compromises on a power-generating product that operates in the industry's most challenging environmental conditions.

2012 — 1st onshore unit commissioning at full 6-MW output

2013 — First offshore installation

2015 — Pre-series and series production



The first Haliade™ 150-6MW unit installed at Le Carnet, France.

Technical overview

The Haliade™ 150-6MW is a three-bladed upwind wind turbine operating at variable speed with a 150m diameter rotor and a rated power of 6MW.

The turbine has been designed following Class I-B specifications of the standards IEC-61400-1 / IEC-61400-3. It is suitable for sites with a **reference wind speed of 50m/s** (10-minute average) and a 50-year extreme gust speed of 70m/s (3-second average). The Haliade™ 150-6MW is equipped with a direct-drive permanent magnet generator and three identical full-power converters operating at 900V. This voltage can then be increased by means of a transformer included in the turbine. The inverter, transformer, switchgear and low voltage electrical distribution cabinet are located at the tower base. A distribution cabinet in the nacelle supplies the pitch, the yaw and the cooling fans and collects signals from the sensors.

The entire wind turbine is air-cooled and pressurised. Construction materials and protection treatments are specifically designed for offshore environments. Heat exchangers and pressuring units prevent salty air entering while dehumidifiers prevent corrosion of components inside the wind turbine.

RPW/BPROS/HLDFWT12/eng/WIND/05.12/FR/7593 ©ALSTOM 2012. All rights reserved. Information contained in this document is provided without liability for information purposes only and is subject to change without notice. No representation or warranty is given or to be implied as to the completeness of information or fitness for any particular purpose. Reproduction, use or disclosure to third parties, without prior express written authority, is strictly prohibited.

POWER | ALSTOM

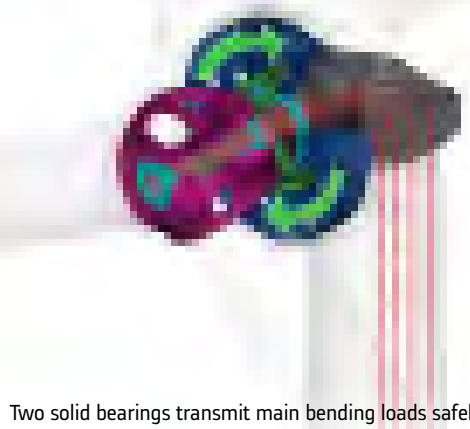
Robust, simple and efficient

ROBUST – WITH ALSTOM PURE TORQUE®

The turbine features an innovative electromechanical layout combining Alstom's unique and proven rotor support technology with a direct-drive permanent magnet generator, providing outstanding reliability of the turbine's drive train.

The PURE TORQUE® design protects the generator and improves its performance by diverting unwanted stresses from the wind safely to the turbine's tower through the main frame.

The design separates the turbine rotor and generator to ensure that only turning force – torque – is transferred to the generator. This allows the minimum sufficient air gap to be maintained between the generator rotor and stator at all times, offering the highest electrical efficiency.

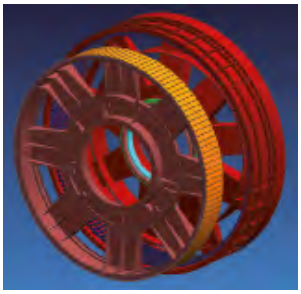


Two solid bearings transmit main bending loads safely to the tower (red arrows) while an elastic coupling ensures the generator rotor receives only pure torque (green arrows).

SIMPLE – DIRECT-DRIVE PERMANENT MAGNET GENERATOR (PMG)

With no mechanical gearbox coupled to the generator, the turbine consists of fewer rotating parts, which increases reliability, maximises turbine availability and reduces maintenance costs. The use of a PMG leads to better generation efficiencies and even greater overall mechanical reliability, which is critical in offshore wind.

The innovative "Advanced High Density" direct drive PMG is a more compact and lightweight design compared to earlier generation direct-drive systems.





EFFICIENT – 150M DIAMETER ROTOR FOR HIGH ENERGY YIELD

Using 73.5m turbine blades jointly developed with LM Wind Power, the 150m diameter rotor combined withwith 6MW rated power maximises the capture of energy . The turbine generates up to **40% more electricity per kilogram** of material used than today's offshore machines. An aggressive target weight eases installation and minimises the cost of both the turbine and supporting structures.

Strength and durability are maximised in an exceptionally light blade uniquely developed for the Haliade™ 150-6MW. This new 73.5m blade builds on the proprietary pre-bending, aerodynamic profiles and innovative features and materials developed for LM Wind Power's latest GloBlade®. For a 6MW turbine, the new blade and larger rotor swept area **improve annual energy production by 15%** compared to the current generation of offshore turbines.



Image courtesy of LM Wind Power.

Advanced design and flexible services for enhanced lifecycle operation

SAFETY FIRST

Alstom's commitment to health and safety is uncompromising.

The Haliade™ 150-6MW is designed to make maintenance as simple and as safe as possible:

- The modular design ensures easy assembly, transportation and logistics
- The hub can be accessed directly from the nacelle, allowing major service operations from within the turbine
- The nacelle is equipped with a 1000kg capacity crane in the central frame
- A maintenance trolley inside the frame eases transport of components
- A helicopter winching area allows for quick rescue in case of emergency at sea



INNOVATIVE DESIGN TO MAXIMISE YIELD

Several design features ensure that the Haliade™ 150-6MW provides the highest possible yield in all circumstances.

- Failure tolerance for continuous production: 3 independent generation and conversion lines ensure uninterrupted operations
- 95% of yawing capacity can be reached with only 6 of its 7 yaw motors
- A ring topology maintains communications even with an isolated cable fault
- Software-controlled de-rating strategies guarantee operation in the event of faults in the power line or cooling systems

OPTIMISED OPERATION AND MAINTENANCE (O&M)

Alstom's 30 years of wind turbine expertise help overcome the many challenges specific to wind farm operations

Modular approach

Alstom's full range of services capabilities can provide everything from spare parts, repair, and on-site field services, up to and including long-term O&M solutions. A modular approach covering manpower and materials for both corrective and preventive maintenance tasks means that customers can select the optimal combination of services to meet their specific needs.

EVENT AND CONDITION-BASED MAINTENANCE MODEL (ECBM)

The ECBM model combines planned maintenance with input from the Condition Monitoring System (CMS) and the Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) system. Product improvements detected through Alstom's global operations and maintenance processes are also factored in. The result is a complete view of outstanding work to be scheduled. An appropriate schedule is calculated taking into consideration weather forecasts, availability of spare parts and tools, as well as access and elevation logistics. This accurate planning process optimises the maintenance work and increases the wind farm yield.

O&M STRATEGIES FOR OFFSHORE WIND FARMS

O&M strategies are tailored to the requirements of each site and client to achieve an optimal balance between cost and yield. Near shore wind farms are serviced from an O&M base at the closest port; far shore wind farms are serviced from a standby vessel or a nearby offshore accommodation platform to minimise access time and extend available working time. Alstom's flexible offering uses both helicopters and vessels for the fast and safe transport of personnel and spare parts between onshore base, offshore base and wind turbines. Additional specific vessels are hired as required, for example when heavy lifting equipment must be used.

Haliade™ 150-6 MW Offshore Wind Turbine



Specifications

OPERATING DATA	
Wind Turbine Class	I-B IEC-61400-1 / IEC-61400-3
Rated Power	6.0 MW (net after transformer)
Cut-in wind speed	3m/s
Cut-out wind speed (10 minutes average)	25m/s
Grid frequency	50 / 60Hz
ROTOR	
Rotor diameter	150m
Blade length	73.5m
Rotor swept area	17 860m²
Rotor speed range	4 – 11.5rpm
Tip speed	90.8m/s
GENERATOR	
Type	Direct Drive Permanent Magnet
Rated voltage	900V per phase
Number of phases	3 x 3
Protection class	IPP55
CONVERTER	
Type	Back to back 3-phase AC/AC
Output voltage	900V
TOWER	
Type	Tubular steel
Hub height	100m (or site-specific)
Standard color	RAL 7035
POWER CONTROL SYSTEM	
Type	Variable speed and independent pitch control by blade
ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS	
Normal air temperature range	-10 to +40°C
Extreme air temperature range	-30 to +50°C
Lightning protection	Class I acc. IEC 62305-1

The Alstom advantage

Alstom brings to offshore wind the strengths of a large and diversified power generation, transmission and transport infrastructure company. With over 100 years of experience with utility-size power projects, 30 years of wind turbine expertise, and extensive experience in offshore electrical infrastructure, Alstom has over 2.9 GW of offshore wind farm substations delivered or under construction.

For more information contact your Alstom representative:

Europe, Middle-East and Africa
Alstom
Roc Boronat, 78
08005 Barcelona
Spain

Phone: +34 932 257 600
Fax: +34 932 210 939

France
Alstom
4, avenue André Malraux
92309 Levallois-Perret
France

Phone: +33 1 41 49 2000
Fax: +33 1 41 49 24 85

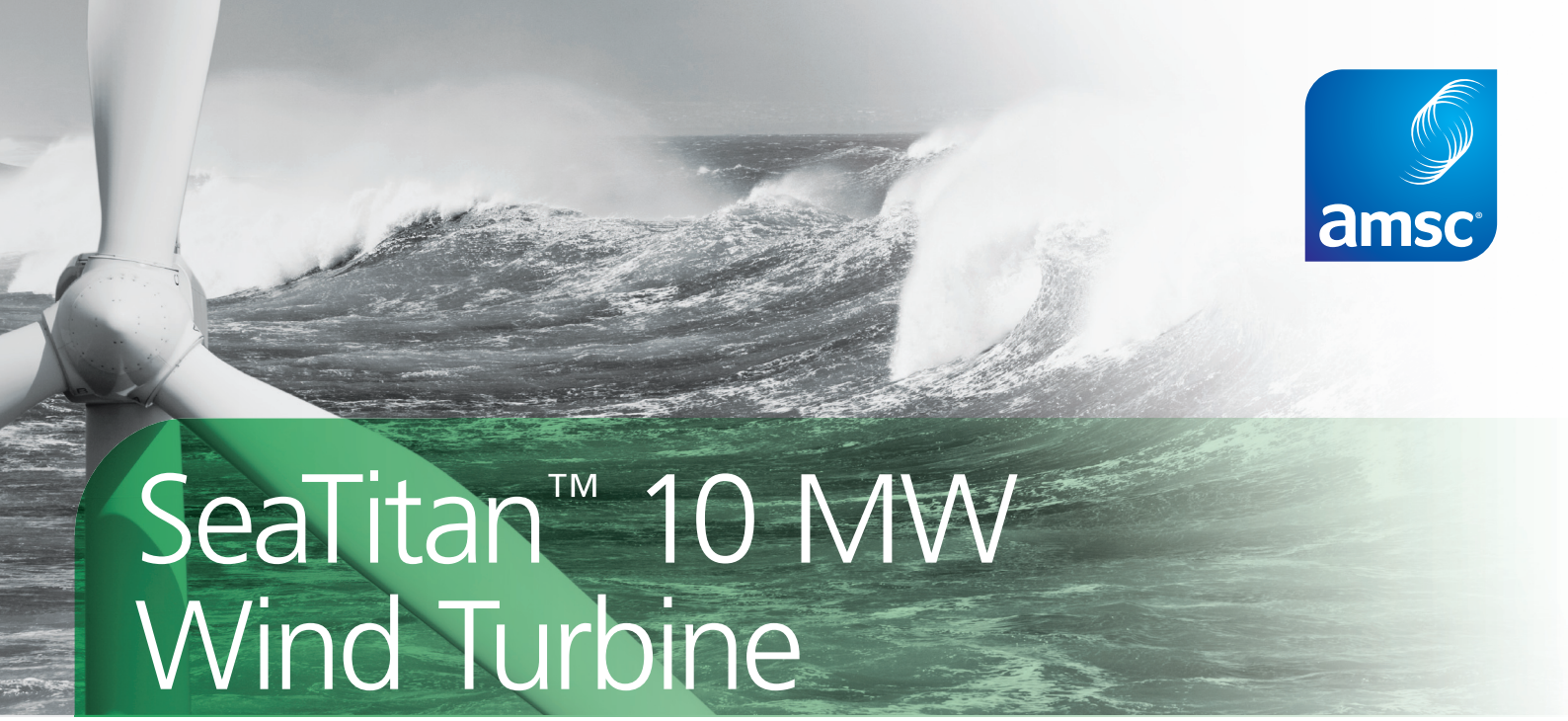
North America
Alstom
100 Gateway Centre Parkway
Richmond, VA 23235
USA

Phone: +1 804 763 7676
Fax: +1 804 763 7675

www.alstom.com/wind

RPW/BPROS/HLDFWT12/eng/WIND/05.12/FR/7593 ©ALSTOM 2012. All rights reserved. Information contained in this document is provided without liability for information purposes only and is subject to change without notice. No representation or warranty is given or to be implied as to the completeness of information or fitness for any particular purpose. Reproduction, use or disclosure to third parties, without prior express written authority, is strictly prohibited.

POWER | ALSTOM



SeaTitan™ 10 MW Wind Turbine

Maximum power per tower for offshore environment

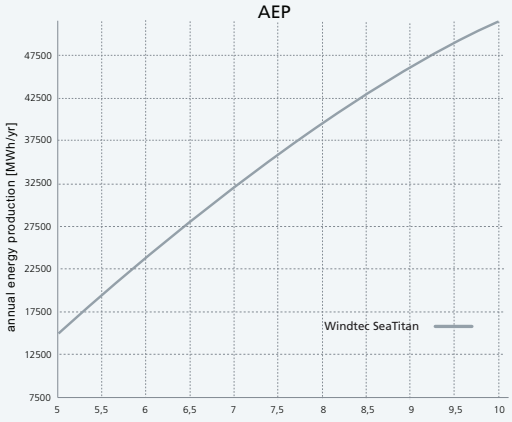
AMSC's Windtec Solutions include wind turbine designs that enable our partners to launch best-in-class wind turbines quickly, effectively and profitably. Providing a path to significantly lower the cost of offshore wind power, AMSC is developing the SeaTitan wind turbine to maximize "power per tower." With the ability to produce 10 MW of power or more, the SeaTitan model promises to be the world's most powerful turbine. It is based on a lighter weight and highly reliable direct drive design, ensuring a perfect fit for the harsh offshore operational conditions.

Superconductor generator eliminates tolerance and deformation issues
The SeaTitan wind turbine design employs a high temperature superconductor (HTS) generator, which is significantly smaller and lighter than a generator using conventional technologies. The superconductor generator has a large air gap to eliminate issues with tolerance, deformation and rare earth material availability. The generator is integrated as part of the turbine and decoupled from the load-carrying components. Generator torque is transferred directly from the stator to the mainframe.

Amperium® wire is key to low cost and light weight
AMSC's Amperium wire is used for the HTS rotors instead of copper wire. These wires can carry over 100 times more power than copper wires of the same dimensions. Therefore, the generator is much smaller, lighter and more efficient than conventional large-scale wind turbine generators and produces the highest known power-to-weight ratio. This reduces the costs associated with the supporting mast structure, foundations, floatation systems and installation.

Direct drive lowers maintenance need
The direct drive model does not use a gearbox, which is one of the most maintenance-intensive wind turbine components and extremely costly with breakdowns at sea. In addition, no couplings are needed with the direct drive.

High efficiency for offshore generation
The SeaTitan turbine connects the superconductor generator to the grid with a full-scale converter. The IGBT-based converter with advanced power electronics ensures that the generator works with high efficiency over the entire speed range.



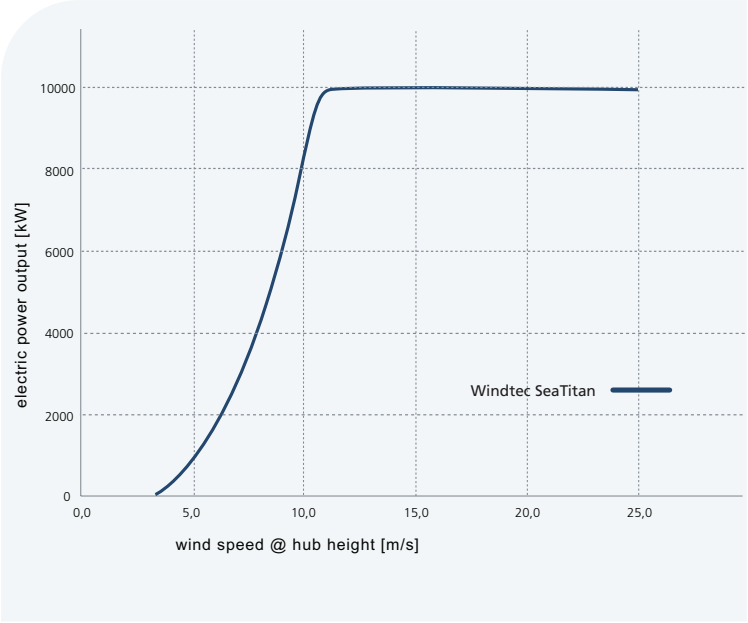
Windtec Solutions™

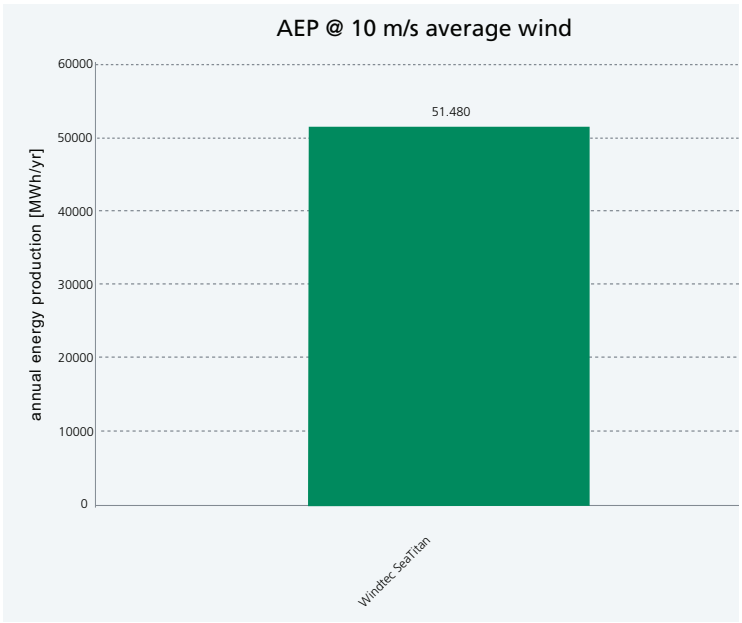
- HTS generator offers efficiencies of up to 96%; 94% with converter
- Direct drive eliminates gearbox
- Air core for lightest weight
- No iron rotor or stator teeth
- HTS windings generate high ampere-turns and flux density without iron pole faces
- 190 m rotor diameter for TC1 conditions

AMSC® intends to license SeaTitan wind turbines and generators to qualified manufacturers around the world.

Wind Turbine Designs – 10 MW

Windtec Solutions™





The SeaTitan turbine uses an advanced electrical individual pitch control system design. It is available in 50 Hz or 60 Hz.

Compliance with international grid codes
The SeaTitan turbine fulfills the most demanding international grid code requirements and has low voltage ride-through (LVRT) capability.

Real-time information with continuous monitoring and alarm handling
AMSC's advanced wtCMS condition monitoring system provides continuous monitoring of the key system components. This gives operators real-time information about the turbine status as well as detailed and comprehensive analysis tools to optimize maintenance activities. The fully integrated system allows intelligent measurement, turbine control interaction, and the analysis of monitoring and performance data. In addition, wtSCADA remote operation and wtDataCenter analyzing packages are available to provide a harmonized control system with supervisory control and data acquisition to actively monitor, analyze and operate entire wind farms.



TECHNICAL DATA	
Type:	wt10000dd
Grid frequency:	50 Hz / 60 Hz
Tilt angle rotor axis:	5°
Hub height:	125 m
Hub type / material:	cast iron
Mainframe type:	cast iron
Type of tower construction:	conical tubular steel tower
Rotor diameter:	190 m
Lightning conductor:	integrated

OPERATING DATA	
Cut-in wind speed:	4 m/s
Rated wind speed:	11.5 m/s
Cut-out wind speed:	30 m/s

GENERATOR AND POWER ELECTRONICS	
Generator type:	HTS synchronous
Rated driving power:	12,000 kVA
Rated generator speed:	10 rpm
Number of poles:	multi-pole
Cooling:	cryogenic and water cooling
Converter type:	IGBT, 4-quadrant
Generator rated power	0.95 inductive to 0.95 capacitive at 690V ph-ph

DRIVETRAIN SPECIFICATION	
Type of gearing:	direct drive
Gear lubrication:	-
Connection gear / generator:	-

BRAKING SYSTEM	
Operational brake:	individual blade pitching
Type of construction:	gear/servomotor
Mechanical brake:	disc brake

YAW SYSTEM	
Type of yaw bearing:	ball bearing
Drive unit:	gear motor
Number of drive units:	tbd
Brake:	active brake plus motor brake

AMBIENT TEMPERATURE RANGE		
Normal:	During operation:	-10°C to 40°C
	Survival range:	-20°C to 50°C

www.amsc.com/windtec
sales@amsc.com

smarter, cleaner
...better energy

amsc

© 2012 AMSC. AMSC, AMPERIUM, SMARTER, CLEANER ... BETTER ENERGY, SEATITAN, WINDTEC and WINDTEC SOLUTIONS are trademarks or registered trademarks of American Superconductor Corp. or its subsidiaries. All other brand names, product names or trademarks belong to their respective holders.

wt10000_DS_A4_0212

Vestas®

OFFSHORE

V164-8.0 MW®

V112-3.3 MW™

Wind. It means the world to us.™

How can offshore **experience** improve your business case certainty?

Wind energy means the world to us. And we want it to mean the world to our customers, too, by maximising your profits and strengthening the certainty of your investment in wind power.

That's why, together with our partners, we always strive to deliver superior, cost-effective wind technologies, products and services. And it's why we put so much emphasis on the reliability, consistency and predictability of our technology.

These aren't idle words. We have over 30 years' experience in wind energy. During that time, we've delivered more than 55 GW of installed capacity on- and offshore, and we currently monitor over 24,000 wind turbines across the globe.

Let our experience guide you

We have pioneered the offshore wind industry and installed nearly 30% of the world's offshore wind turbines. Based on our consistently low Lost Production Factor of around 2.5% in offshore environments, you can count on our expertise in harnessing the raw power of offshore wind and transforming it into clean, reliable and predictable energy.

Vestas Offshore has industry-leading experience in all aspects of offshore project management, from supply-only contracts to full-scale engineering, procurement and construction (EPC), and we provide service and maintenance solutions suited to meet the requirements of our customers. Safety is always first for Vestas, and we secure cost-effective transport and fast installation.

Today, we are the only global energy company focused purely on wind. Our V112 turbine – now optimised to 3.3 MW – brings together our vast wealth of offshore knowledge, up-to-the-minute turbine technology and in-depth expertise.

By combining our tried and tested technology with our offshore experience, we are developing the game-changing V164-8.0 MW®. This is a purely offshore dedicated turbine and has the largest output in the industry – further evidence of our ceaseless focus on improving the cost of energy and business case certainty for our customers.

+590

Since 1990, Vestas has installed more than 590 turbines offshore providing a total capacity of 1,457 MW



How is the **V164-8.0 MW®** progressing?

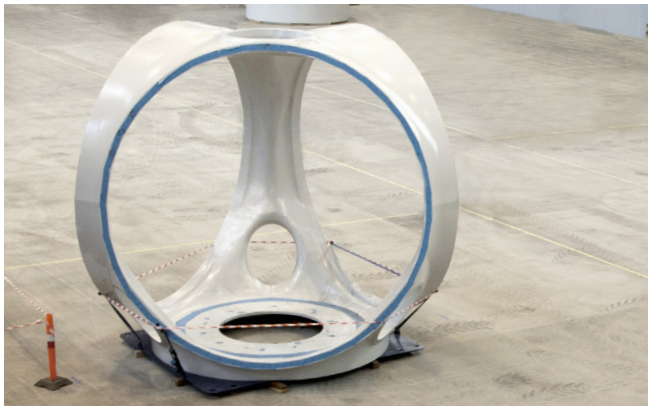
Thorough analysis were conducted and evaluated on key components and design choices were made in relation to customer value drivers, technology and market assessments.

The development of the V164-8.0 MW® prototype is progressing as planned and the scheduled installation of it is moved forward to the first quarter of 2014.

Testing of key components has begun and the V164-8.0 MW® test bench is in place. Individual components, systems and integration are tested on functional performance, robustness, reliability & compliance.



Testing of pitch system and blade bearing is taking place at our facility on the Isle of Wright, UK



Prototype assembly site in Lindø, DK established and assembly is progessing as planned.



Drive train arrangement assembled at the Test Centre in Aarhus, DK.



V164-8.0 MW®
A game changer in the industry.



Previous offshore turbines have been adapted from onshore equivalents. The V164-8.0 MW® is different. From the first nut to the last bolt, it has been specifically designed with offshore conditions in mind.

The challenges associated with harvesting offshore wind power are clear – the large scale of projects, the distance from shore, an environment that is generally more wet, windy and hostile than onshore; not to mention the depths of installation and risks to safety inherent in an offshore environment. Overcoming these challenges require vast experience and a proven track record.

Technology geared towards profitability

Turbines typically represent around one-third of the total capital expenditure for an offshore project. However logistical decisions, such as the weight and size of the turbine components, and service access, have a significant impact on other costs along the value chain, such as foundation costs, transport, construction and installation, service and maintenance. Maximising the cost efficiency of a wind power plant therefore means taking a project-level approach to these critical factors, rather than simply considering them at an individual turbine level.

With the launch of the 164-8.0 MW®, we have introduced design choices based on this overall power plant perspective, helping to drive your profitability to new levels in offshore wind.

- The ratio between the 164 m rotor and the 8.0 MW generator is designed to suit the harsh conditions in the North Sea area.
- The 164 m rotor maximises your energy yield from the wind resulting in greater annual energy production.
- Fewer turbines are needed to produce the required amount of energy – reducing the cost of transportation, foundations, installation, cabling, service and maintenance.
- The V164-8.0 MW® is designed to require as little maintenance as possible, and when servicing is required, it is safe, quick and cost efficient.
- The turbine's 25-year structural design life gives you a longer period to generate energy.

Design and testing principles

Our +38 GW of monitored data has been used in the design of our verification tests. This vast amount of data allows us to replicate real life conditions when testing the components, systems and integrations of the V164-8.0 MW®, ensuring that each of these elements is thoroughly tested according to the specific conditions in which it will operate at site.

V112-3.3 MW™
A proven and reliable turbine.



The V112-3.3 MW™ IEC IB is built on the proven technology of previous Vestas turbines, including the V112-3.0 MW™. It therefore provides higher reliability, reducing the risk of downtime and ensuring the stability of your investment. The power system is designed to deliver excellent grid support and is highly adaptable for future technical requirements. It also enables substations to be simpler and more cost-effective.

Installation and transportation costs
When it comes to logistics, no two offshore projects are identical. The V112-3.3 MW™ IEC IB is designed for flexible and efficient transport and installation. In terms of weight, height and width, all its components comply with local and international limits for standard transportation, with no load weighing more than 70 tonnes.

At the dockside, the V112-3.3 MW™ Offshore is highly adaptable to different installation vessels and procedures, helping to cut project times and costs. In addition, it incorporates a number of innovative design choices to strengthen your return on investment in offshore wind:

- A full-scale converter which provides excellent grid support, reduced drive-train loads and optimum energy production over a greater range of wind speeds.
- 54.65 m blades which produce more energy from the same available wind.

Rigorous quality assurance, right from the start
The Vestas Test Centre is unrivalled in the wind industry and has the unique ability to test complete nacelles using Highly Accelerated Life Testing (HALT) to ensure reliability. At the critical component level, potential failure modes and mechanisms are identified, and rigorous design verification plans and procedures for testing and verification are made. Specialised test rigs are used to ensure strength and robustness for the gearbox, generator, yaw and pitch system, lubrication system and accumulators.

The Vestas quality-control system ensures that each component is produced to validated design specifications, and performs at site. We also systematically monitor measurement trends that are critical to quality, to identify variation and make changes before any defects occur.

With improved reliability, serviceability and availability under offshore conditions, the V112-3.3 MW™ Offshore turbine is a lower risk choice for IEC class IB offshore sites. It offers a stronger return on your investment by maximising power production, while minimising downtime and maintenance costs.

Would you **benefit** from uninterrupted control of wind energy production?



Knowledge about wind project planning is key
Getting your wind energy project up and operating as quickly as possible is fundamental to its long-term success. Vestas provides a number of value-adding solutions to help you achieve this:

SiteHunt®
One of the first steps is to identify the most suitable location for your wind power plant. And that's where Vestas' SiteHunt® can help. Vestas' SiteHunt® analyses a broad range of wind and weather data to evaluate potential sites and identify the best one for your project.

Electrical PreDesign
By identifying grid codes early in the project phase and simulating extreme operating conditions, Electrical PreDesign allows customised collector network cabling, substation protection and reactive power compensation, which boost the cost efficiency of your business.

VestasOnline® Business
As part of our continual efforts to respond to the needs of our customer, we have taken the traditional SCADA system one step further by developing VestasOnline® Business.

VestasOnline® Business is a flexible, reliable and powerful solution that can meet the demands of the most complex offshore installations. It ensures that you get the most from your wind power plant in five key areas:

1. **Operational:** Combining the VestasOnline® Business server and plant controller delivers local grid compliance, reliable plant control and specific turbine control.
2. **Remote Monitoring & Surveillance:** VestasOnline® Business can deliver data and visual displays globally suited to your surveillance and monitoring needs.
3. **Diagnostics and Analysis:** VestasOnline® Business can store and deliver all your data, enabling data mining for trending and predictive maintenance.
4. **Flexibility:** VestasOnline® Business combined with the VestasOnline® Plant Network, can host additional services and functionalities.
5. **Integration:** VestasOnline® Business has been designed for full industrial integration.

WeatherForecast
VestasOnline® WeatherForecast delivers timely, accurate weather forecasts tailored for the needs of the offshore wind industry. WeatherForecast can provide special reports such as ice risk, extreme weather, lightning, fast weather changes, wave and swell reports.

PowerForecast
VestasOnline PowerForecast delivers accurate single turbine forecast and the fastest Intraday Forecast in the industry at your site, by combining the analytical depth of Vestas' repository of on-site wind data, the expertise and experience of our highly skilled specialists, and the processing power of one of the world's largest commercial computers.



+24,000

The Vestas Performance and Diagnostics Centre monitors more than 24,000 turbines worldwide. We use this information to continually develop and improve our products and services.

Pre-assembly and Installation
The Vestas pre-assembly approach is showing huge advantages in pre-test and pre-commission because this ensures that all components are working. Technicians can also prepare all electrical testing on shore saving costly service and maintance time at sea. Once the turbines are installed at sea, they will be up and running within a few hours without trouble-shooting.

Vestas starts the energization of a power plant with the first installed turbine. With our project execution, you are able to start energy production quite early in the process, because the turbine is energised just four hours after it has been installed at sea. This was initially used at the Bligh Bank project where Vestas successfully energised 55 turbines in 7,5 full working days.

Fast energisation paves the way for low cost of energy. This approach also increases the level of quality, which is an important factor in any construction process.

Active Output Management®
Our Active Output Management® (AOM) concept offers long term financial and operational peace of mind for your business case. It provides detailed plans and bespoke, long term agreements for service and maintenance, online monitoring, optimisation and troubleshooting.

Surveillance, maintenance and service
Operating a large wind power plant offshore calls for highly efficient management strategies to ensure uninterrupted power production and to control operational expenses. Predicting faults in advance is essential, helping to avoid costly emergency repairs and unscheduled interruptions to energy production. We offer 24/7 monitoring, performance reporting and predictive maintenance systems to improve turbine performance and availability.

Our Condition Monitoring System (CMS) assesses the status of the turbines. It can detect faults at an early stage and monitor any damage. This information allows preventive maintenance to be carried out before the component fails, reducing repair costs and production loss.

We'll also work with you to devise an annual site-specific activity plan covering all the tasks and resources required. It shows the forecasted availability and lost production factor, using historic site specific weather data to calculate a monthly weather factor.

To maximise time spent in the turbines and reduce transport time, an optimal logistical setup will be designed, based on years of experience with both transfer vessel and hotel vessel setup. The site will be run as a business unit with competent employees to undertake all roles at site.

Vestas Offshore **Installations**

Since 1990, Vestas has installed 597 offshore wind turbines, providing a total capacity of 1457 MW. Having pioneered the offshore wind industry and installed nearly 30 pct. of the world's offshore wind turbines, you can count on our expertise in harnessing the raw power of offshore wind and transforming it into clean, reliable and predictable energy.



14. WINDFLOAT - FLOATING FOUNDATION

Country	Portugal
Owner	Windplus
Installation year	2011
Number of turbines	1
Turbine type	V80-2.0 MW
MW:	2

6. BARROW

Country	United Kingdom
Owner	Dong Energy
Installation year	2006
Number of turbines	30
Turbine type	V90-3.0MW
MW:	90

10. ROBIN RIGG

Country	United Kingdom
Owner	E.ON UK
Installation year	2009
Number of turbines	60
Turbine type	V90-3.0MW
MW:	180



1. TUNØ KNOB

Country	Denmark
Owner	Dong Energy
Installation year	1995
Number of turbines	10
Turbine type	V39-500kW
MW:	5

2. HORNS REV

Country	Denmark
Owner	Vattenfall & DONG
Installation year	2002
Number of turbines	80
Turbine type	V80-2.0MW
MW:	160

3. SCROBY SANDS

Country	United Kingdom
Owner	E.ON UK
Installation year	2004
Number of turbines	30
Turbine type	V80-2.0MW
MW:	60

4. NORTH HOYLE

Country	United kingdom
Owner	Npower Renewables
Installation year	2004
Number of turbines	30
Turbine type	V80-2.0MW
MW:	60

5. KENTISH FLATS

Country	United Kingdom
Owner	Vattenfall
Installation year	2005
Number of turbines	30
Turbine type	V90-3.0MW
MW:	90

7. EGMOND AAN ZEE

Country	Netherlands
Owner	Shell & NUON
Installation year	2006
Number of turbines	36
Turbine type	V90-3.0MW
MW:	108

8. OFFSHORE WINDPARK Q7

Country	Netherlands
Owner	WP Q7 Holding B.V.
Installation year	2007
Number of turbines	60
Turbine type	V80-2.0MW
MW:	120

9. SPROGØ

Country	Denmark
Owner	Sund & Bælt
Installation year	2009
Number of turbines	7
Turbine type	V90-3.0MW
MW:	21

11. BLIGH BANK

Country	Belgium
Owner	Belwind N.V.
Installation year	2010
Number of turbines	55
Turbine type	V90-3.0MW
MW:	165

12. THANET

Country	United Kingdom
Owner	Vattenfall
Installation year	2010
Number of turbines	100
Turbine type	V90-3.0MW
MW:	300

13. KÅREHAMN

Country	Sweden
Owner	E.ON
Installation year	2013
Number of turbines	16
Turbine type	V112-3.0 MW
MW:	48

V164-8.0 MW® IEC S
Facts & figures

POWER REGULATION	Pitch regulated with variable speed

OPERATING DATA

Rated power	8,000 kW
Cut-in wind speed	4 m/s
Operational rotor speed	4.8 - 12.1 rpm
Nominal rotor speed	10.5 rpm
Operational temperature range	-10 - +25°C
Extreme temperature range	-15 - +35°C

DESIGN PARAMETERS

Wind class	IEC S
Annual avg. Wind speed	11 m/s
Weibull shape parameter	k 2.2
Weibull scale parameter	12.4 m/s
Turbulence intensity	IEC B
1 year mean wind speed V1 (10 min avg.)	40 m/s
50 year mean wind speed V50 (10 min avg.)	50 m/s
Max inflow angle (vertical)	0°
Structural design lifetime	25 years

ROTOR

Rotor diameter	164 m
Swept area	21,124 m²

ELECTRICAL

Frequency	50 Hz
Converter	full scale
Generator	permanent magnet
Nominal voltage	33 - 35 or 66 kV

TOWER

Type	tubular steel tower
Hub height	site specific

BLADE DIMENSIONS

Length	80 m
Max. chord	5.4 m

NACELLE DIMENSIONS (INCL. HUB)

Height	7.5 m
Length	24 m
Width	7.5 m

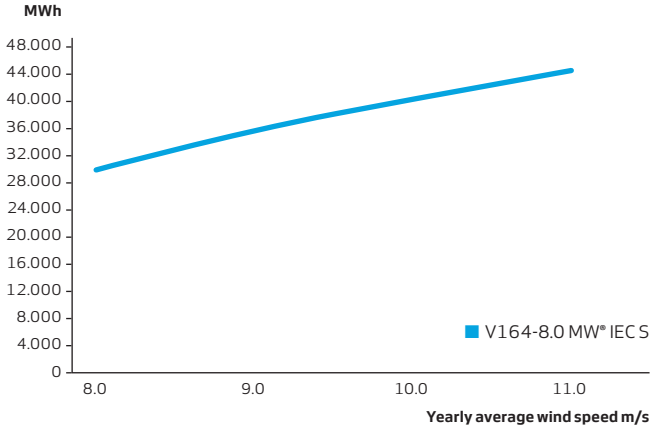
WEIGHTS

Nacelle, including hub	375 tonnes
Blade	35 tonnes
Tower	site dependent

TURBINE OPTIONS

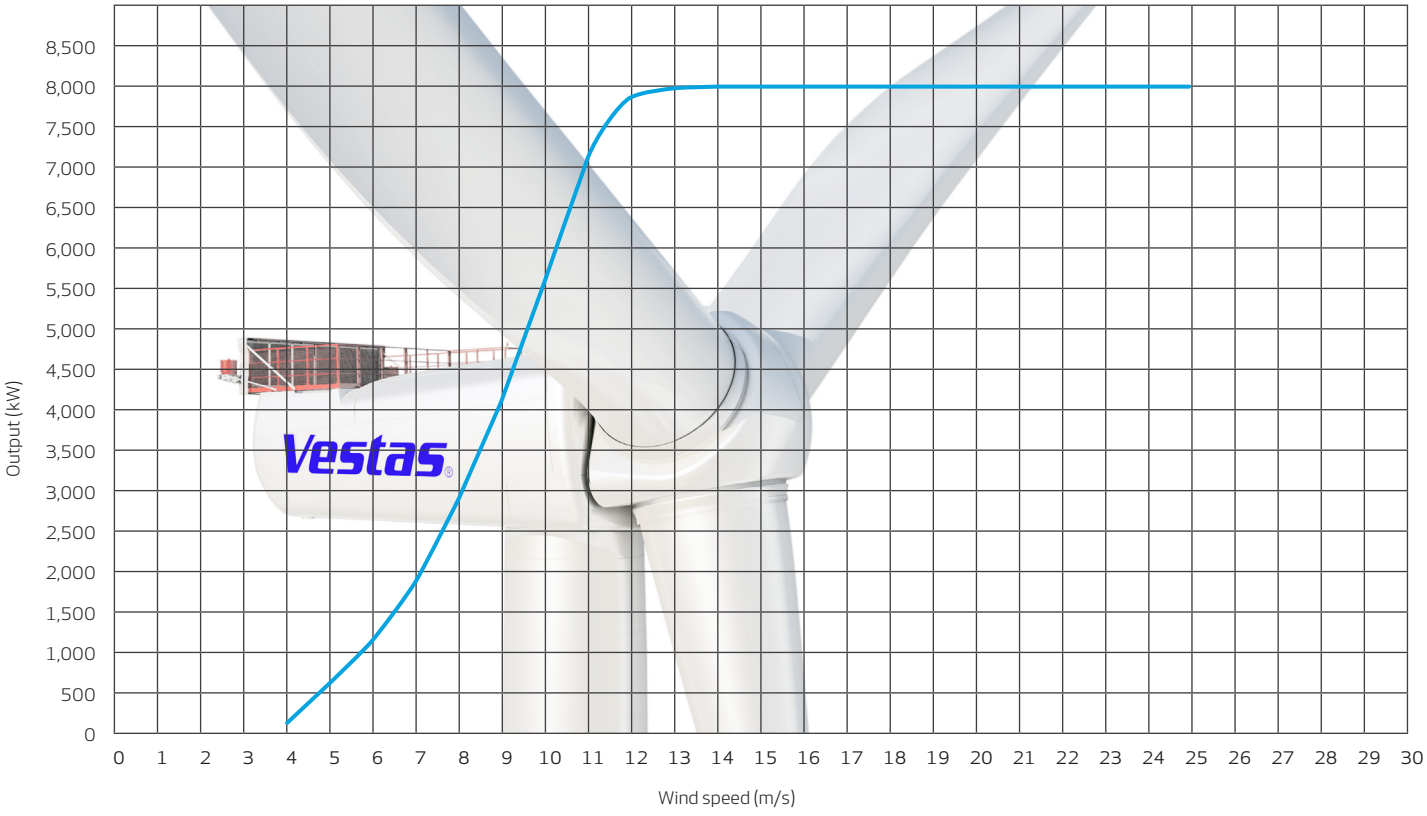
- Certified Condition Monitoring System
- Aviation lights
- Aviation markings on the blades
- Heli hoist platform
- Tower design optimized for all typical foundations types
- Power back up

ANNUAL ENERGY PRODUCTION



Assumptions
One wind turbine, 100% availability, 0% losses, k factor =2.2,
Standard air density = 1.225, wind speed at hub height

POWER CURVE FOR V164-8.0 MW® IEC S



V112-3.3 MW™ IEC IB
Facts & figures

POWER REGULATION	Pitch regulated with variable speed

OPERATING DATA

Rated power	3,300 kW
Cut-in wind speed	3 m/s
Cut-out wind speed	25 m/s
Re cut-in wind speed	23 m/s
Wind class	IEC IB

Standard operating temperature range from -20°C to +45°C with de-rating above 30°C*

*subject to different temperature options

SOUND POWER
(Noise modes dependent on site and country)

ROTOR

Rotor diameter	112 m
Swept area	9,852 m²
Air brake	full blade feathering with 3 pitch cylinders

ELECTRICAL

Frequency	50/60 Hz
Converter	full scale

GEARBOX

Type	two planetary stages and one helical stage

TOWER

Hub height	site specific

NACELLE DIMENSIONS

Height for transport	3.4 m
Height installed (incl. CoolerTop®)	6.8 m
Length	12.8 m
Width	4.0 m

HUB DIMENSIONS

Max. transport height	3.74 m
Max. transport width	3.75 m
Max. transport length	5.42 m

BLADE DIMENSIONS

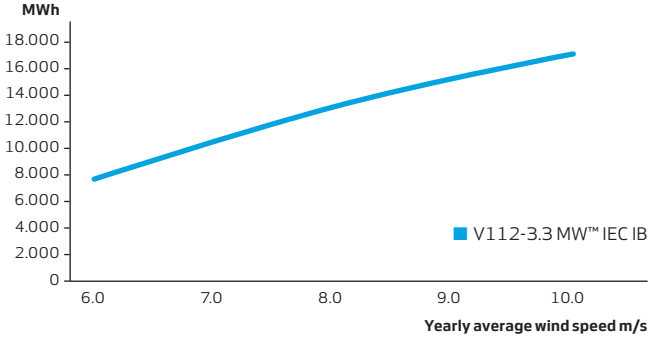
Length	54.65 m
Max. chord	4 m

Max. weight per unit for transportation	70 metric tonnes

TURBINE OPTIONS

- Condition Monitoring System
- Service personnel lift
- Aviation lights
- Aviation markings on the blades
- Low temperature operation to - 30°C
- Ice detection
- Fire Suppression
- Shadow detection
- Increased Cut-In
- Obstacle Collision Avoidance System (OCAS™)

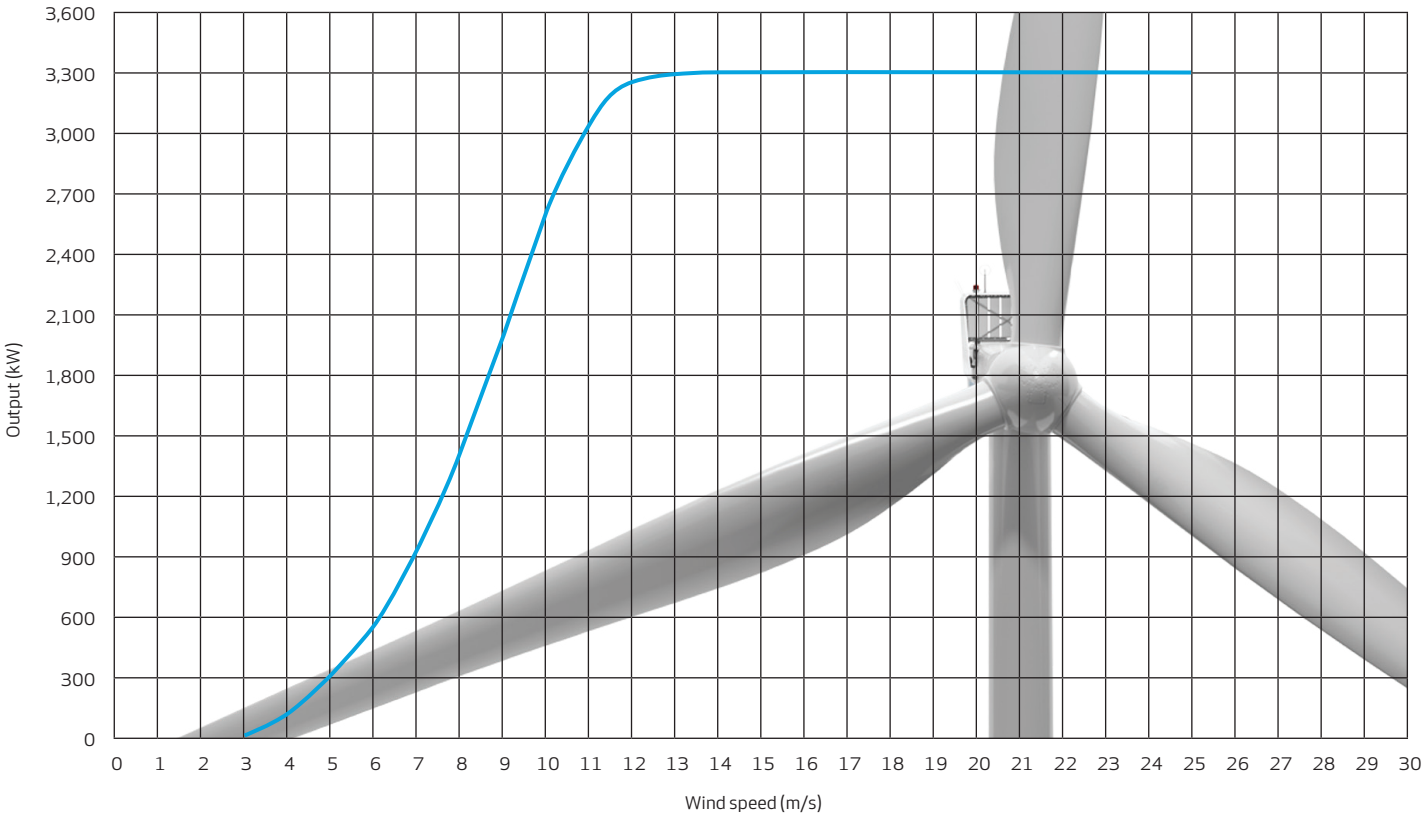
ANNUAL ENERGY PRODUCTION



Assumptions
One wind turbine, 100% availability, 0% losses, k factor =2,
Standard air density = 1.225, wind speed at hub height

POWER CURVE FOR V112-3.3 MW™ IEC IB

Noise reduced sound power modes are available



Vestas Wind Systems A/S
Hedeager 44 . 8200 Aarhus N . Denmark
Tel: +45 9730 0000 . Fax: +45 9730 0001
vestas@vestas.com . **vestas.com**

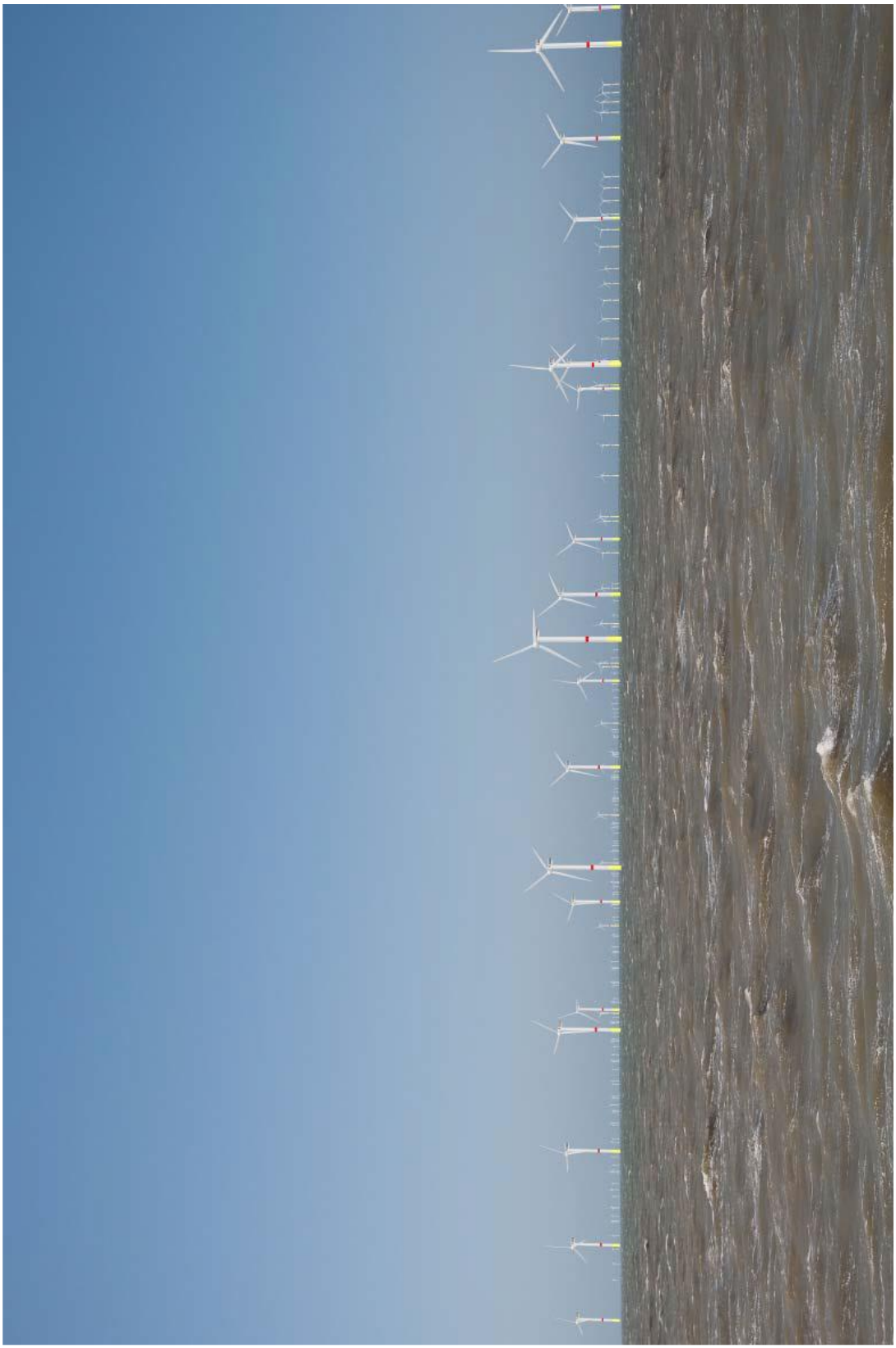
© 2013 Vestas Wind Systems A/S. All rights reserved.
This document was created by Vestas Wind Systems A/S on behalf of the Vestas Group and contains copyrighted material, trademarks and other proprietary information. This document or parts thereof may not be reproduced, altered or copied in any form or by any means without the prior written permission of Vestas Wind Systems A/S. All specifications are for information only and are subject to change without notice. Vestas Wind Systems A/S does not make any representations or extend any warranties, expressed or implied, as to the adequacy or accuracy of this information. This document may exist in multiple language versions. In case of inconsistencies between language versions the English version shall prevail. Certain technical options, services and wind turbine models may not be available in all locations/countries.

06/2013-EN

Bijlage G Zeezicht en cultureel erfgoed: uittreksel uit fotosimulaties door Grontmij (2010) (in: Arcadis, 2011)



Figuur Bijlage G-1 Simulatie van de drie gekende vergunde windparkprojecten (C-Power, Northwind en Belwind), standpunt op de zeedijk in Blankenberge (Grontmij, 2010)



Figuur Bijlage G-2 Simulatie van de volledige inname van de juridisch afgebakende zone voor windturbines op zee ('worst case'), zicht van op zee, standpunt op ca 2 km van dichtste windturbine, kijkrichting noordwesten (Grontmij, 2010)