

AAN Commissie MER

DATUM 6 mei 2016
REFERENTIE **ONL-TTB-03674**
VAN TenneT TSO B.V.

ONDERWERP Aanvulling milieueffectrapport net op zee Borssele

TER BESLUITVORMING ☐
TER INFORMATIE X

1 Aanvulling milieueffectrapport net op zee Borssele

De Commissie MER heeft op 2 mei 2016 haar voorlopig oordeel over het milieueffectrapport (MER) van het net op zee Borssele gepubliceerd.

De Commissie is van mening dat in het MER op twee punten nog belangrijke informatie ontbreekt. Ondanks dat de milieuconsequenties hiervan waarschijnlijk (gedeeltelijk) worden ondervangen door mitigerende maatregelen die in het MER, de PB en de ontwerp-besluiten worden genoemd, adviseert de Commissie deze informatie alsnog in beeld te brengen. Hierdoor ligt er straks een complete milieu-onderbouwing voor de te nemen besluiten over net op zee Borssele en wordt voor een ieder duidelijk wat de achtergrond van de te nemen mitigerende maatregelen is.

Het betreft:

1. Natuur:
 - a. Het is onduidelijk wat de effecten van werkzaamheden bij het hoogspanningsstation zijn op hoogwatervluchtplaatsen van vogels in de Westerschelde en
 - b. Het is onvoldoende duidelijk wat de gevolgen zijn voor Bruinvissen op de Noordzee;
2. Morfologie:

Er is onvoldoende inzicht in mogelijke veranderingen in de morfologie van de Westerschelde (ligging geulen, erosie, opslibbing) en (eventueel) benodigde maatregelen die in dat geval genomen worden en de milieuconsequenties hiervan.

De Commissie adviseert bovenstaande informatie op te nemen in een aanvulling op het MER en daarna pas te besluiten over het inpassingsplan en de vergunningen.

TenneT TSO B.V. geeft in deze aanvulling op het MER additionele informatie over de genoemde aspecten. Daarnaast geeft TenneT op verzoek van de Commissie MER een globale doorkijk naar een toekomstig netwerk van 'stopcontacten' op de Noordzee voor offshore windenergie.

- Bijlage 1: Effecten van heiwerkzaamheden hoogspanningsstation op hoogwatervluchtplaatsen van vogels in Natura 2000 Westerschelde & Saefthinghe
- Bijlage 2: Effecten onderwatergeluid op bruinvissen
- Bijlage 3: Morfologie in de Westerschelde (net op zee Borssele)
- Bijlage 4: Globale doorkijk stopcontacten op de Noordzee voor offshore windenergie

CONCEPT

**Bijlage 1 Effecten van heiwerkzaamheden hoogspanningsstation op
hoogwatervluchtplaatsen van vogels in Natura 2000
Westerschelde & Saeftinghe**

CONCEPT

ONDERWERP

Nadere analyse verstoring niet-broedvogels agv heien
hoogspanningsstation net op zee Borssele

PROJECTNUMMER

C05058.000050

ONZE REFERENTIE

078935260 A

DATUM

5-5-2016

VAN

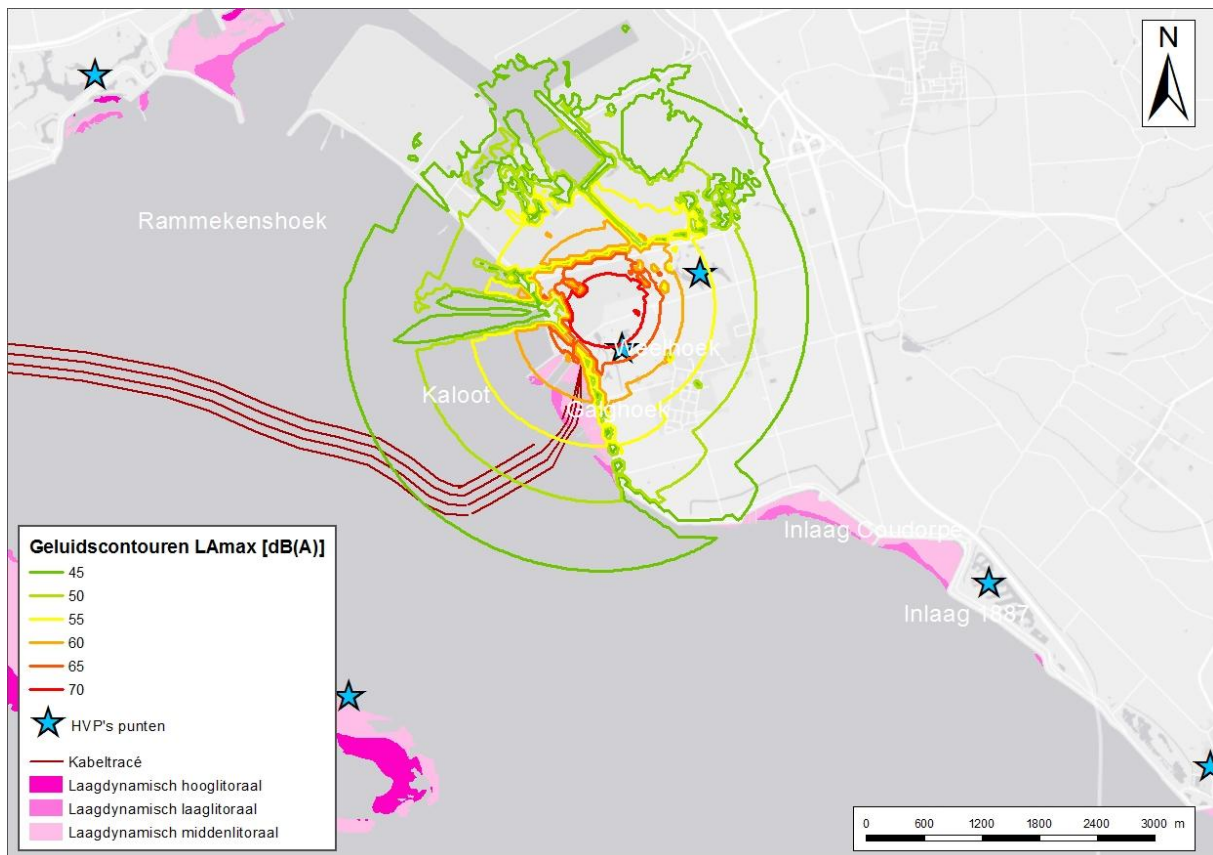
Wouter Stempfer

Aanleiding

Uit het commentaar van de Commissie MER op de PB en het MER net op zee Borssele is naar voren gekomen dat het onduidelijk is wat de effecten van werkzaamheden bij het hoogspanningsstation (hierna station) zijn op hoogwatervluchtplaatsen (HVP's) van vogels in de Westerschelde. De Commissie MER adviseert in een aanvulling op het MER een (worst-case) overzicht te geven van de aantallen vogels per soort op de HVP's in/nabij de 51 dB(A)-contour. Daarbij dient een onderbouwing te worden gegeven dat het tijdelijk uitwijken van deze vogels met zekerheid geen gevolgen heeft voor de natuurlijke kenmerken van Natura 2000-gebied Westerschelde & Saeftinghe. Mocht blijken dat aantasting niet op voorhand is uit te sluiten, dan dient in de aanvulling mitigerende maatregelen uit te worden gewerkt waarmee effecten wel zijn uit te sluiten. Met voorliggende memo wordt het advies van de Commissie MER opgevolgd en worden de effecten van de werkzaamheden bij het station op HVP's van vogels in de Westerschelde in beeld gebracht.

Afbakening invloedsgebied

In Figuur 1 zijn de geluidscontouren weergegeven die optreden tijdens de heiwerkzaamheden ten behoeve van het station. In de Passende Beoordeling (PB) is 51 dB(A) als grenswaarde aangehouden vanaf waar er sprake is van een effect op niet-broedvogels. Deze waarde ligt nog onder de waarde die door experts als mogelijke effectdrempel wordt gezien en is onder meer toegepast in de PB Maasvlakte 2 (Heinis et al. 2007) en PB havenbestemmingsplannen (HIC) (Groen et al. 2013). Omdat er niet tijdens het broedseizoen (maart t/m juli) geheid zal worden, zullen de effecten op broedvogels niet behandeld worden.



Figuur 1: Geluidscontouren als gevolg van heiwerkzaamheden voor het hoogspanningsstation.

Functie van het invloedsgebied als HVP

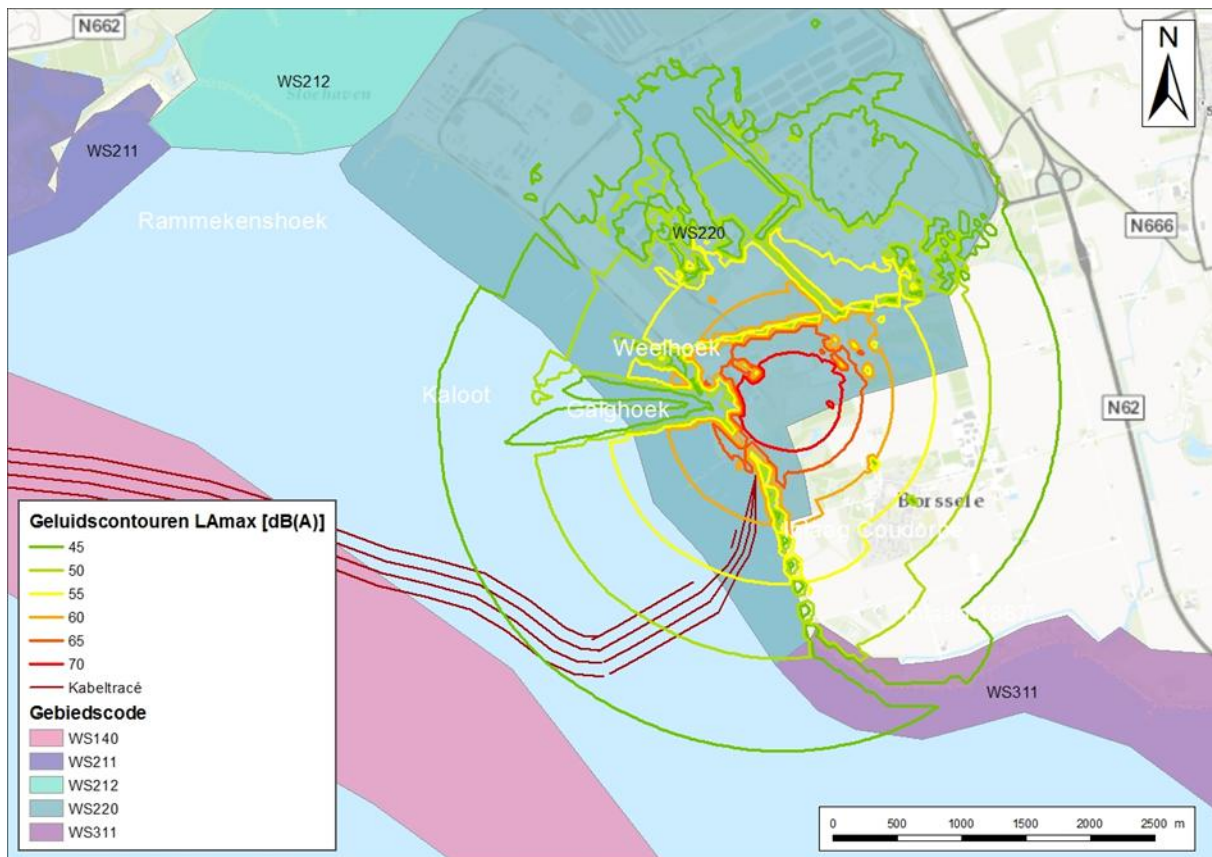
Tellingen tijdens hoogwater laten zien dat het dijktraject ter hoogte van het projectgebied, de Kaloot en de kleine sluffer nabij de uitlaat van koelwater van de kerncentrale een functie hebben als hoogwatervluchtplaats voor diverse soorten niet-broedvogels. Ook de binnendijs gelegen natuurgebieden Weelhoek en Galghoek kunnen als HVP functioneren (zie voor de ligging van deze HVP's Figuur 1 en Figuur 2). De slikken buitendijs worden bij afgaand water en laagwater gebruikt door vogels om te foerageren. Wanneer het water weer opkomt, verplaatsen vogels zich naar droge gebieden in de omgeving om het volgende tij af te wachten. De hoogwatervluchtplaatsen zijn dus zowel buitendijs en binnendijs gelegen. De buitendijs gelegen HVP's hebben te maken met verstoring door recreatie als gevolg van het gebruik van het strand (zwemlocatie), wandelaars op het dijktraject, uitlaten van honden (Grontmij, 2010 en 2011) en ligging van een kitesurflocatie direct voor het gebied (zie hiervoor ook bijlagekaart: 'GEB-3: Recreatie op het water' van het ontwerp-beheerplan Westerschelde & Saefinghe).



Figuur 2 Detailweergave van de HVP's Weelhoek, Galghoek en Kaloot. Het dijktraject langs de Westerschelde functioneert eveneens als HVP, zie ook Figuur 1).

Aantallen vogels op de HVP's ter hoogte van hoogspanningsstation

Het invloedsgebied (51 dB(A) geluidscontour) overlapt met het telvak WS220 (zie Figuur 3). Binnen dit telvak worden door Rijkswaterstaat maandelijkse tellingen gehouden bij hoogwater. Verder grenst het invloedsgebied aan het telvak WS311. Aangezien er niet of nauwelijks sprake is van overlap met de 51 dB(A) geluidscontour zijn effecten van verstoring hier te verwaarlozen en wordt verder niet ingegaan op dit gebied.



Figuur 3 Ligging telvakken RWS ter hoogte van het invloedsgebied.

Tabel 1 geeft de gemiddelde maandelijkse aanwezigheid van kwalificerende niet-broedvogels voor het telvak WS220 waarbinnen de HVP's zijn gelegen die overlappen met de verstoringzone van de werkzaamheden. Tijdens de maandelijkse tellingen wordt binnen een telvak geen onderscheid gemaakt in deelgebieden of individuele HVP's. Het telvak omvat daarnaast een groter gebied dan het invloedsgebied. Door te werken met de aantallen van een compleet telvak is dus uitgegaan van een worst case situatie. De heiwerkzaamheden nemen circa 4 maanden in beslag (er worden circa 2500 palen met een lengte van 22m toegepast, gebruikmakend van 2 tot 3 heistellingen). Ten tijde van dit schrijven is nog niet bekend wanneer de werkzaamheden gaan plaatsvinden, tijdens het broedseizoen vinden in ieder geval geen heiwerkzaamheden plaats.

Tabel 1 Gemiddelde aanwezigheid van kwalificerende niet-broedvogels tijdens hoogwater in telvak WS220 voor de periode 2010-2014. Tijdens het broedseizoen (grijs gearceerde maanden) vinden geen heiwerkzaamheden plaats.

	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december
Soort												
Bergeend	22	26	24	39	34	27	9	2	3	3	6	10
Bontbekplevier	0	1	1	2	2	2	3	4	6	0	0	1
Bonte Strandloper	0	2	2	10	26	0	0	0	0	0	70	0
Drieteenstrandloper	2	1	0	5	4	0	0	0	8	0	0	2
Fuut	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Grauwe Gans	342	249	133	189	205	198	332	262	186	188	211	192
Groenpootruiter	0	0	0	0	1	0	4	6	1	1	0	0

Kanoet	0	0	0	0	0	0	0	5	116	6	0	0
Kievit	190	47	27	12	19	12	19	6	6	23	127	129
Kleine Zilverreiger	44	33	21	8	7	10	10	13	7	18	39	37
Kluut	0	0	0	2	0	1	1	0	0	0	0	0
Kolgans	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
Krakeend	4	3	1	0	1	0	0	0	0	1	1	11
Lepelaar	1	1	5	2	1	6	14	8	7	0	0	0
Middelste Zaagbek	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Pijlstaart	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rosse Grutto	0	0	0	0	3	0	5	79	171	60	15	0
Scholekster	155	145	114	72	47	45	91	143	167	123	123	110
Slechtvalk	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1
Slobeend	15	8	9	8	3	3	0	0	9	16	6	12
Smient	106	30	53	1	0	0	0	0	2	19	39	79
Steenloper	12	14	6	1	1	0	0	1	0	3	13	5
Tureluur	5	4	11	10	11	5	8	3	4	2	11	4
Wilde Eend	168	194	76	65	72	98	76	225	196	266	235	380
Wintertaling	65	46	47	6	0	0	2	4	15	34	66	67
Wulp	60	55	39	12	8	1	41	49	39	56	48	31
Zilverplevier	0	1	0	3	8	0	0	1	33	3	4	1
Zwarte Ruiter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Relevante kwalificerende vogels – dat wil zeggen vogels die aanwezig kunnen zijn tijdens werkzaamheden in de periode august t/m februari – betreffen: bergeend, bontbekplevier, bonte strandloper, drieteenstrandloper, fuut, grauwe gans, groenpootruiter, kanoetstrandloper, kievit, kleine zilverreiger, kluut, kolgans, krakeend, lepelaar, middelste zaagbek, pijlstaart, rosse grutto, scholekster, slechtvalk, slobeend, smient, steenloper, tureluur, wilde eend, wintertaling, wulp, zeearend, zilverplevier en zwarte ruiter.

Functie invloedsgebied als HVP voor vogels

De rol van een HVP voor een vogelsoort is afhankelijk van de uitwijkmogelijkheden. Vooral steltlopers maken gebruik van HVP's in afwachting van het droogvallen van slikken. De andere soorten die in het telvak WS220 zijn waargenomen (bergeend, fuut, grauwe gans, kleine zilverreiger, kolgans, krakeend, lepelaar, middelste zaagbek, pijlstaart, slechtvalk, slobeend, smient, wilde eend en wintertaling) benutten dit gebied vooral als foerageer-, broed- of doortrekgebied en niet of in mindere mate als HVP. Voor deze niet-steltlopers zijn er voldoende uitwijkmogelijkheden, deze soorten zijn niet afhankelijk van de getijden om te foerageren en zijn dus ook niet genoodzaakt om te overtuigen (op basis van Jaspers, 2011).

Tabel 2 geeft weer welke functie het invloedsgebied voor steltlopers heeft tijdens hoogwater. Soorten die niet genoemd zijn in de tabel komen niet voor tijdens hoogwater binnen de verstoringszone (zie voor aanwezige vogelsoorten tijdens hoogwater Tabel 1). Het effect van de heiwerkzaamheden is dat het invloedsgebied (verstoringszone) tijdens hoogwater niet de verblijfsfunctie kan vervullen. Hierdoor nemen mogelijk aantallen vogels af. Voor de niet-dikgedrukte soorten in onderstaande tabel is geen nadere toetsing uitgevoerd. Deze soorten zijn flexibel en gemakkelijk(er) in staat om uit te wijken naar andere locaties. De soorten waarvoor het invloedsgebied wel een specifieke functie heeft (als HVP) en de uitwijkmogelijkheden beperkt (op basis van Jaspers, 2011), zijn dik gedrukt in onderstaande tabel en nader getoetst. Het is voor de beoordeling van deze soorten de vraag of de instandhoudingsdoelstellingen worden aangetast en/of voldoende uitwijkmogelijkheden op korte afstand bestaan.

Tabel 2 Functie van het dijktraject en verstoringszone voor kwalificerende steltlopers die aanwezig zijn tijdens hoogwater binnen telvak WS220.

Soort	Functie tijdens hoogwater (volgens Jaspers, 2011)
Bontbekplevier, drieteenstrandloper, groenpootruiter, kluut, steenloper, tureluur, zwarte ruiter	Dit zijn steltlopers die verspreid overtijen. De HVP's liggen relatief dicht bij de foerageergebieden. Omdat deze soorten niet gebruik maken van specifieke HVP's maar verspreid overtijen, kunnen deze bij verstoring beter uitwijken dan de volgende groep. Effecten op de populatie als gevolg van verstoring zijn uitgesloten, omdat deze soorten goed kunnen uitwijken.
Bonte strandloper, kanoetstrandloper, rosse grutto, scholekster, wulp, zilverplevier	Deze steltlopers overtijen op enkele grote HVP's die ver van foerageergebieden kunnen liggen. Vanwege het gebruik van specifieke HVP's zijn uitwijkmogelijkheden bij verstoring beperkt.
Kievit	Deze stelloper foerageren ook binnendijs en zijn niet afhankelijk van getij en HVP's

Uit bovenstaande tabel blijkt dat het nog nodig is om een nadere beoordeling te maken voor de bonte strandloper, kanoetstrandloper, rosse grutto, scholekster, wulp en zilverplevier.

Toetsing effecten van verstoring

Voor de vogels waarvoor het invloedsgebied een specifieke en mogelijk onvervangbare functie als HVP heeft (zie Tabel 2), is het gemiddelde aantal vogels dat in het telvak WS220 geteld wordt (zie Tabel 1), afgezet tegen het gemiddelde aantal vogels in de hele Westerschelde in de periode juli 2009 t/m juni 2014 (zie Tabel 3). Vervolgens is beoordeeld of het maximaal negatieve effect van de verstoring mogelijk afbreuk doet aan de instandhoudingsdoelstellingen. In eerste instantie is gekozen voor een cijfermatige benadering, wanneer de uitkomsten aanleiding geven, dan wordt nog een nadere effectanalyse gedaan. De cijfermatige aanpak kan wijzen op een significant effect, maar dan is het de vraag of dit ook daadwerkelijk aan de orde is. Bij deze cijfermatige aanpak zijn een tweetal worst-case aannames gedaan. Zo vormt het telvak een groter gebied dan het invloedsgebied waarbinnen verstoring optreedt als gevolg van de heiwerkzaamheden (zie ook Figuur 3). De werkzaamheden vinden daarnaast plaats over een periode van circa 4 maanden, in plaats van de 7 maanden waarin de berekening vanuit wordt gegaan (zie ook de tweede kolom in Tabel 3). Aangezien niet duidelijk is wanneer de werkzaamheden plaatsvinden, is echter uitgegaan van een werkperiode buiten het broedseizoen van 7 maanden.

Tabel 3 Aantallen kwalificerende niet-broedvogels in de verstoringszone tijdens hoogwater in telvak WS220 vergeleken met de aantallen in de gehele Westerschelde (seizoenen 2009 – 2013¹). Dit is alleen gedaan voor vogels waarvoor het telvak en invloedsgebied (verstoringszone van het project) een specifieke functie als HVP heeft tijdens hoogwater (zie Tabel 2). Het percentage is uitgerekend door het gemiddeld aantal vogels in het telvak (tweede kolom) te vergelijken met het gemiddeld aantal vogels in de Westerschelde (derde kolom).

Soort	Aantal vogels in telvak WS220 voor de duur van de werkzaamheden (aug t/m feb 2014)	Gemiddeld aantal vogels in de Westerschelde per jaar (seizoenen 2009-2013)*	Maandgemiddelde in de Westerschelde (seizoenen 2009-2013)*	Resterend aantal vogels bij maximale verstoring	Maandgemiddelde bij maximale verstoring	Instandhoudingsdoelstelling (IHD)	Verskil (maandgemiddelde – IHD)	% studiegebied t.o.v. Westerschelde
Bonte	72	134.309	11.192	134.237	11.186	15.100	-3.914	0,05%

¹ Periode loopt van juli 2009 t/m juni 2014.

strandloper								
Kanoet	127	16.526	1.377	16.399	1.367	600	767	0,77%
Rosse grutto	325	10.793	899	10.468	872	1.200	-328	3,01%
Scholekster	966	82.159	6.847	81.193	6.766	7.500	-734	1,18%
Wulp	338	52.719	4.393	52.381	4.365	2.500	1.865	0,30%
Zilverplevier	43	19.020	1.585	18.977	1.581	1.500	81	0,23%

*Gegevens afkomstig van SOVON (www.sovon.nl).

Uit bovenstaande tabel blijkt dat voor drie vogelsoorten op basis van aantallen alleen niet zonder meer is uit te sluiten dat de instandhoudingsdoelstelling in gevaar komt als gevolg van het project. Het gaat om de bonte strandloper, rosse grutto en scholekster. Voor deze drie soorten worden de instandhoudingsdoelstellingen (nog) niet gehaald en daarom is ieder effect negatief. Voor deze soorten is meer specifiek gekeken naar de uitwijkmogelijkheden, trend, verstoringsgevoeligheid en aard van verstoring om het daadwerkelijke effect te bepalen.

Bonte strandloper

- Trend (website SOVON Westerschelde): De trend is licht negatief. Uit het ontwerp-beheerplan blijkt dat er geen knelpunten zijn voor het behalen van de instandhoudingsdoelstelling en dat de instandhoudingsdoelstelling de eerste beheerplanperiode ook gehaald wordt (Ministerie van I&M, RWS, 2015). De draagkracht van het Natura 2000-gebied Westerschelde & Saeftinghe als doortrek- en overwinteringsgebied lijkt op orde te zijn voor de gewenste aantallen al is dit nog niet zichtbaar in de aantallen of trends. Deze soort profiteert van maatregelen die in het kader van het beheerplan voor andere steltlopers worden getroffen.
- Verstoringgevoeligheid (Krijgsveld et al., 2008): De gevoeligheid van deze soort voor verstoring is gemiddeld er kan gewinning optreden.
- Specifiek oordeel over uitwijkmogelijkheden op de locatie: Het telvak WS220 en de daarin gelegen HVP's zijn van belang voor een zeer beperkt aantal bonte strandlopers. In de omgeving vormt het aangrenzende telvak WS311 een belangrijke HVP locatie voor bonte strandlopers. Hier kunnen grote aantallen bonte strandlopers aanwezig zijn (met name in de maanden november t/m februari) waarbij tot wel duizenden strandlopers tegelijk worden waargenomen. Uit de maandelijkse tellingen van dit telvak (zie ook de bijlage van dit document) blijkt dat aantallen per jaar en per maand sterk kunnen fluctueren. Uit de waarnemingen van vele honderden tot zelfs duizenden strandlopers kan worden opgemaakt dat er ruimte voorhanden is op de aanwezige HVP's. De maximaal enkele tientallen tot honderden bonte strandlopers uit WS220 kunnen hier naar toe uitwijken in geval van verstoring. Aan de westzijde van het invloedsgebied is verder het telvak WS212 aanwezig. De aantallen bonte strandlopers in dit telgebied zijn min of meer vergelijkbaar met telvak WS220 al fluctueren ook hier de aantallen en is dus ruimte beschikbaar om strandlopers op te vangen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat er in de omgeving voldoende uitwijkmogelijkheden voorhanden zijn, daarnaast overlapt niet het gehele invloedsgebied met telvak WS220. De strekdammen bij de koelwateruitlaat en het westelijk deel van het dijktraject (ingang Sloehaven) blijft verstoringvrij. Deze locaties worden in de huidige situatie ook reeds als HVP benut.
- Effect op soort: Ter hoogte van het invloedsgebied komen een zeer beperkt aantal bonte strandlopers voor. Deze kunnen uitwijken in geval van verstoring naar aangrenzende HVP's in het telvak WS311. Dit zijn o.a. de Inlaag Coudorpe en het hier aanwezige dijktraject. Aanwezige strandlopers kunnen ook uitwijken naar WS212, daarnaast blijft een aantal HVP's binnen het telvak WS220 (strekdammen koelwateruitlaat en westelijk deel dijktraject) verstoringvrij. Vogels kunnen daardoor ook binnen het telvak uitwijken. Gezien de relatief beperkte duur van de werkzaamheden en aanwezigheid van voldoende uitwijkmogelijkheden zijn effecten uitgesloten. Het is niet noodzakelijk om mitigerende maatregelen te nemen om significant negatieve effecten te voorkomen.

Rosse grutto

- Trend (website SOVON Westerschelde): De trend is licht negatief. Uit het ontwerp-beheerplan blijkt dat er knelpunten zijn voor het behalen van de instandhoudingsdoelstelling (Ministerie van I&M, RWS, 2015). Het knelpunt ligt in het gebied en bestaat waarschijnlijk uit een afname van het foerageergebied of voedselaanbod (mogelijk zijn de (slik)platen te dynamisch en zijn er te weinig bodemdieren/kokkels). In het kader van het beheerplan wordt onderzoek uitgevoerd naar de oorzaak van de afname én naar mogelijkheden om de draagkracht van het Natura 2000-gebied Westerschelde & Saeftinghe voor deze soort te vergroten. Verslechtering wordt volgens het ontwerp-beheerplan waarschijnlijk voorkomen in de eerste beheerplanperiode omdat de soort kan profiteren van maatregelen uit Natuurherstelpakket Westerschelde en Natuurcompensatie Westerschelde en van aanvullende voorwaarden aan versturende activiteiten zoals laagvliegen en zonering van recreatie. De instandhoudingsdoelstelling kan in opvolgende beheerplanperioden worden bereikt.
- Verstoringsgevoeligheid (Krijgsveld et al., 2008): De gevoeligheid van deze soort voor verstoring is gemiddeld.
- Specifiek oordeel over uitwijkmogelijkheden op de locatie: Het telvak WS220 kan in de maanden augustus en september (tijdens de trekperiode) van belang zijn voor de rosse grutto, al zijn de aantallen relatief gezien beperkt. Jaarlijks kunnen de aantallen in deze maanden sterk fluctueren, waaruit blijkt dat de vogels het telvak ook mijden tijdens de trek. In de aangrenzende telvakken WS311, en WS212) komen ook rosse grutto's voor, al zijn de aantallen in de trekperiode lager. Binnen het telvak blijven een aantal HVP's onverstoorde (zie ook hiervoor bij de bonte strandloper) waar naar toe uitgeweken kan worden.
- Effect op soort: Ter hoogte van het invloedsgebied komen een beperkt aantal rosse grutto's voor. Tijdens de trekperiode kunnen in de maanden augustus en september tijdelijk hogere aantallen in het gebied verblijven, al zijn ook dan de aantallen relatief gezien beperkt. De vogels kunnen tijdens de trekperiode binnen het telvak uitwijken naar enkele onverstoorde HVP's bij de ingang van de Sloehaven (dijktraject) en strekdammen bij de koelwateruitlaat. Daarnaast kunnen ook in de aangrenzende telvakken WS311, WS211 en WS212 vogels worden opgevangen, hetzij in mindere mate. Gezien de relatief beperkte duur van de werkzaamheden (en aanwezigheid van uitwijkmogelijkheden (met name binnen het telgebied) zijn effecten uitgesloten. Het is niet noodzakelijk om mitigerende maatregelen te nemen om significant negatieve effecten te voorkomen.

Scholekster

- Trend (website SOVON Westerschelde): De trend is stabiel. Uit het ontwerp-beheerplan blijkt dat er knelpunten zijn voor het behalen van de instandhoudingsdoelstelling (Ministerie van I&M, RWS, 2015). Het knelpunt ligt in het gebied en bestaat waarschijnlijk uit een afname van het foerageergebied of voedselaanbod (mogelijk zijn de (slik)platen te dynamisch en zijn er te weinig bodemdieren/kokkels). In het kader van het beheerplan wordt onderzoek uitgevoerd naar de oorzaak van de afname én naar mogelijkheden om de draagkracht van het Natura 2000-gebied Westerschelde & Saeftinghe voor deze soort te vergroten. Verslechtering wordt volgens het ontwerp-beheerplan waarschijnlijk voorkomen in de eerste beheerplanperiode omdat de soort kan profiteren van maatregelen uit Natuurherstelpakket Westerschelde en Natuurcompensatie Westerschelde en van aanvullende voorwaarden aan versturende activiteiten zoals laagvliegen en zonering van recreatie. De instandhoudingsdoelstelling kan in opvolgende beheerplanperioden worden bereikt.
- Verstoringsgevoeligheid (Krijgsveld et al., 2008): De gevoeligheid van deze soort voor verstoring is gemiddeld. Vooral foeragerende scholeksters zijn gevoelig voor verstoring.
- Specifiek oordeel over uitwijkmogelijkheden op de locatie: Het telvak WS220 is voor een beperkt aantal scholekster van belang, waarbij de aantallen in de wintermaanden enigszins toenemen. In de aangrenzende telvakken WS311, WS211 en WS212 komen vergelijkbare aantallen scholekster voor. De aantallen scholeksters fluctueren in de wintermaanden enigszins, waaruit kan worden opgemaakt dat er ruimte voorhanden is op de hier aanwezige HVP's voor uitgeweken vogels uit telvak WS220. Daarnaast blijven enkele HVP's binnen het telvak onverstoorde (dijktraject nabij ingang Sloehaven, strekdammen koelwateruitlaat), waar naartoe uitgeweken kan worden.
- Effect op soort: Ter hoogte van het invloedsgebied komen een beperkt aantal scholekster voor. Deze kunnen uitwijken in geval van verstoring naar HVP's binnen het telvak WS220 die vrij blijven van verstoring (dijktraject Sloehaven, strekdammen koelwateruitlaat) en in de aangrenzende telvakken WS311, WS211 en WS212. Gezien de relatief beperkte duur van de werkzaamheden en aanwezigheid van voldoende uitwijkmogelijkheden zijn effecten uitgesloten. Het is niet noodzakelijk om mitigerende maatregelen te nemen om significant negatieve effecten te voorkomen.

Conclusie

In voorliggende memo zijn de effecten van de werkzaamheden bij het station op HVP's van vogels in de Westerschelde in beeld gebracht. Het invloedsgebied van de heiwerkzaamheden omvat het telvak WS220. Uit de

maandelijks tellingen van RWS blijkt dat het telvak WS220 van weinig belang is voor vogels om te overtuigen. De buitendijks gelegen HVP's hebben te maken met verstoring door recreatie als gevolg van het gebruik van het strand (zwemlocatie), wandelaars op het dijktraject, uitlaten van honden (Grontmij, 2010 en 2011) en ligging van een kitesurflocatie direct voor het gebied. Desondanks zijn er binnen dit telvak verschillende vogelsoorten aanwezig die gebruikmaken van HVP's om te overtuigen. Een deel van deze soorten zijn flexibel en gemakkelijk in staat om uit te wijken naar andere locaties, De soorten waarvoor het invloedsgebied een functie als HVP heeft en de uitwijkmogelijkheden beperkt zijn (op basis van Jaspers, 2011), zijn in deze memo nader beschouwd. Het gaat hierbij om de bonte strandloper, kanoetstrandloper, rosse grutto, scholekster, wulp en zilverplevier. Voor de bonte strandloper, rosse grutto en scholekster kan op basis van de huidige aantallen in het Natura 2000-gebied Westerschelde & Saeftinghe niet zonder meer worden uitgesloten dat de instandhoudingsdoelstelling in gevaar komt als gevolg van de heiwerkzaamheden.

Uit een nadere analyse blijkt dat een deel van de HVP's (dijktraject ingang Sloehaven, strekdammen koelwateruitlaat) binnen het telvak WS220 vrij blijven van verstoring en dat in aangrenzende telvakken (WS311, WS211 en/of WS212) HVP's aanwezig zijn waar ook naar toe uitgeweken kan worden bij verstoring door de heiwerkzaamheden. Uit de fluctuaties van de aantallen vogels op deze HVP's kan worden opgemaakt dat nog ruimte voorhanden is voor het opvangen van extra vogels. Dit laatste geldt met name voor de scholekster en bonte strandloper, terwijl de rosse grutto vooral binnen het telgebied WS220 zal uitwijken.

Gezien de relatief beperkte duur van de werkzaamheden en aanwezigheid van voldoende uitwijkmogelijkheden zijn effecten uitgesloten. Het is niet noodzakelijk om mitigerende maatregelen te nemen om significant negatieve effecten te voorkomen.

Ongeacht het uitblijven van effecten zal de initiatiefnemer vanuit zorgvuldigheidsbeginsel een aantal voorzorgsmaatregelen voorschrijven, waarmee de mate van verstoring zoals gepresenteerd in deze memo, minder groot zal zijn. Tijdens het heien wordt gebruik gemaakt van een geluidsabsorberende mantel, daarnaast wordt met meerdere heistellingen gewerkt, waardoor de duur van de werkzaamheden wordt beperkt.

Literatuur

- Heinis, F., C.T.M. Vertegaal, C.R.J. Goderie & P.C. van Veen, 2007. Habitattoets, Passende Beoordeling en uitwerking ADC-criteria ten behoeve van vervolgbesluiten van Maasvlakte 2.
- Jaspers, H., 2011. Leidraad voor het bepalen van de uitwijkmogelijkheden voor niet-broedvogels. Projectbureau Zeeweringen. Kenmerknr PZDB-M-11228
- Krijgsveld, K.L., R.R. Smits & J. van der Winden, 2008. Verstoringgevoeligheid van vogels. Update literatuurstudie naar de reacties van vogels op recreatie. Bureau Waardenburg/Vogelbescherming Nederland rapport nr. 08-173.
- Groen, R., W. Stempfer, C. T.M. Vertegaal, T. van den Broek, C.R.J Goderie & D. Heidinga, 2013. Passende beoordeling Havenbestemmingsplannen.
- Grontmij, 2010. Passende beoordeling Oostelijke Sloehavendam – Kaloot. Toetsing van de voorgenomen dijkverbetering langs de Westerschelde aan de Natuurbeschermingswet 1998. Projectbureau Zeeweringen PZDB-R-1 0196.
- Grontmij, 2011. Passende beoordeling Van Citterspolder 2. Toetsing van de voorgenomen dijkverbetering langs de Westerschelde aan de Natuurbeschermingswet 1998. Projectbureau Zeeweringen PZDB-R-11214.

Website:

- www.sovon.nl

Bijlage: Tabellen met waarnemingen

WS220 Seizoen 2010, waarnemingen per maand

	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december
Soort												
Bergeend	8	31	16	40	28	26	5	5	0	8	18	14

Bontbekplevier	0	3	2	5	4	3	4	14	7	0	0	0
Bonte Strandloper	0	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Drieteenstrandloper	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
Fuut	0	3	2	0	0	0	1	0	0	1	3	4
Grauwe Gans	19	54	150	154	280	397	430	38	120	0	160	40
Groenpootruiter	0	0	0	0	3	0	4	9	0	3	0	0
Kanoet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0
Kievit	80	44	30	19	24	14	14	7	9	9	240	3
Kleine Zilverreiger	23	40	23	2	3	13	9	12	13	11	52	32
Kluut	0	0	0	3	0	3	3	0	0	0	0	0
Kolgans	0	0	0	0	1	0	0	5	0	0	1	0
Krakeend	6	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	22
Lepelaar	2	1	0	0	0	3	31	7	21	0	0	0
Middelste Zaagbek	4	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pijlstaart	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rosse Grutto	0	1	0	0	2	0	0	7	0	290	13	0
Scholekster	155	242	122	68	48	33	74	180	210	135	53	47
Slechtvalk	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Slobeend	24	10	9	14	8	0	0	0	6	14	17	11
Smient	31	10	0	1	2	0	0	0	0	20	55	130
Steenloper	5	9	7	0	6	0	0	3	0	0	16	0
Tureluur	8	11	10	13	5	3	6	1	3	3	35	8
Wilde Eend	210	206	74	56	92	55	64	350	400	850	463	320
Wintertaling	64	53	79	12	0	0	0	0	5	21	62	60
Wulp	86	44	46	13	1	67	0	70	11	34	81	24
Zilverplevier	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	5
Zwarte Ruiter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0

WS220 Seizoen 2011, waarnemingen per maand

	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december
Soort												
Bergeend	28	5	6	41	14	9	14	0	9	6	5	7
Bontbekplevier	0	0	0	2	1	2	4	2	9	0	0	0
Bonte Strandloper	0	9	5	50	130	0	0	0	0	0	0	0
Drieteenstrandloper	0	0	0	20	1	0	1	0	0	0	0	0
Fuut	0	3	7	1	0	0	0	0	2	0	0	0
Grauwe Gans	700	250	46	190	380	85	470	60	120	350	110	140
Groenpootruiter	0	0	0	0	0	0	3	17	4	0	1	0
Kanoet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kievit	200	40	20	22	23	9	23	6	7	22	70	120
Kleine Zilverreiger	41	41	27	2	5	2	10	13	11	10	27	39

Kluut	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Kolgans	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Krakeend	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0
Lepelaar	0	0	25	0	1	13	21	3	0	0	0	1
Middelste Zaagbek	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pijlstaart	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rosse Grutto	0	0	0	1	0	0	0	18	64	0	0	0
Scholekster	184	144	62	48	65	33	42	95	190	110	150	88
Slechtvalk	1	1	0	0	2	2	0	0	2	0	1	0
Slobeend	0	8	0	7	1	3	0	0	6	34	0	5
Smient	130	10	11	0	0	0	0	0	0	66	11	130
Steenloper	19	4	6	3	0	0	0	2	0	0	0	4
Tureluur	5	5	18	9	23	4	7	4	5	3	9	4
Wilde Eend	400	160	33	88	60	63	44	200	180	130	230	360
Wintertaling	38	26	0	12	0	0	0	0	20	6	95	110
Wulp	40	46	23	4	2	0	28	18	9	50	61	14
Zilverplevier	0	3	1	16	39	1	0	0	0	5	0	0
Zwarte Ruiter	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0

WS220 Seizoen 2012, waarnemingen per maand

	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december
Soort												
Bergeend	30	26	32	36	20	36	8	2	5	0	7	4
Bontbekplevier	0	3	1	2	1	3	2	3	0	0	0	6
Bonte Strandloper	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Drieteenstrandloper	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0
Fuut	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grauwe Gans	310	350	90	220	31	150	220	500	150	240	350	0
Groenpootruiter	0	0	0	0	1	0	1	6	0	0	0	0
Kanoet	0	0	0	0	0	0	0	0	280	0	0	0
Kievit	320	0	30	10	20	14	12	7	0	0	84	170
Kleine Zilverreiger	55	20	23	5	9	8	6	18	3	17	36	35
Kluut	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Kolgans	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Krakeend	6	0	0	0	4	0	0	0	0	0	2	3
Lepelaar	0	0	0	0	0	4	1	8	2	0	0	0
Middelste Zaagbek	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pijlstaart	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rosse Grutto	0	0	0	0	14	0	0	250	600	0	64	0

Scholekster	150	70	170	96	55	49	90	110	110	60	160	140
Slechtvalk	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1
Slobeend	50	0	6	11	5	7	0	0	7	13	6	28
Smient	70	38	130	3	0	0	0	0	4	4	44	55
Steenloper	5	22	7	0	0	0	0	0	1	0	41	13
Tureluur	3	0	2	4	20	4	3	2	2	0	6	3
Wilde Eend	110	210	170	41	96	180	59	133	70	150	240	400
Wintertaling	140	34	68	8	0	0	3	10	12	104	80	86
Wulp	64	71	34	23	15	0	45	63	36	46	50	55
Zilverplevier	0	2	0	0	1	0	0	0	150	0	19	0
Zwarte Ruiter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

WS220 Seizoen 2013, waarnemingen per maand

Soort	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december
Bergeend	18	34	26	40	46	26	9	5	0	3	0	23
Bontbekplevier	0	0	0	0	2	2	5	2	0	0	0	0
Bonte Strandloper	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Drieteenstrandloper	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fuut	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
Grauwe Gans	360	60	228	110	155	170	260	230	220	150	205	380
Groenpootruiter	0	0	0	0	0	0	8	0	0	4	0	0
Kanoet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kievit	220	20	22	5	17	6	45	9	9	8	60	320
Kleine Zilverreiger	52	38	5	8	9	7	17	20	7	18	48	39
Kluut	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0
Kolgans	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Krakeend	0	12	0	0	0	0	0	0	0	6	0	4
Lepelaar	0	0	0	0	0	3	3	18	8	0	0	0
Middelste Zaagbek	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
Pijlstaart	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rosse Grutto	0	0	0	0	0	0	0	10	0	7	0	0
Scholekster	200	160	106	31	31	52	110	150	85	230	141	200
Slechtvalk	0	1	1	1	0	3	0	0	0	0	0	1
Slobeend	0	6	12	0	0	0	0	0	9	19	7	14
Smient	150	40	33	0	0	0	0	0	0	0	14	60
Steenloper	28	32	7	3	1	0	0	0	0	15	6	0
Tureluur	2	3	6	10	3	6	18	5	0	4	0	3
Wilde Eend	120	310	103	92	63	60	140	60	130	130	100	370
Wintertaling	42	80	68	0	0	0	0	9	20	18	61	41
Wulp	80	46	80	22	23	0	60	40	80	80	46	56

Zilverplevier	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0
Zwarte Ruiter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

WS220 Seizoen 2014, waarnemingen per maand

Soort	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december
Bergeend	25	32	42	38	62	38	7	0	0	0	2	2
Bontbekplevier	0	0	0	0	1	1	0	1	16	0	0	0
Bonte Strandloper	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	350	0
Drieteenstrandloper	0	0	0	4	17	0	0	0	0	0	0	0
Fuut	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Grauwe Gans	320	530	150	270	180	190	280	480	320	200	230	400
Groenpootruiter	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
Kanoet	0	0	0	0	0	0	0	26	300	0	0	0
Kievit	130	130	33	5	13	17	0	0	6	75	180	33
Kleine Zilverreiger	48	26	27	22	9	18	6	1	3	36	31	39
Kluut	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Kolgans	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Krakeend	7	0	5	0	0	1	0	0	0	0	0	28
Lepelaar	3	3	0	12	4	7	13	4	2	0	0	1
Middelste Zaagbek	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pijlstaart	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Rosse Grutto	0	0	0	0	0	0	26	110	190	5	0	0
Scholekster	84	110	110	115	37	56	138	180	240	82	110	73
Slechtvalk	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Slobeend	0	18	19	8	2	4	0	0	16	0	0	2
Smient	150	50	90	0	0	0	0	0	8	5	70	20
Steenloper	5	4	1	0	0	0	2	0	0	2	0	7
Tureluur	5	3	20	15	4	10	4	5	12	2	5	3
Wilde Eend	0	86	0	48	50	130	74	380	200	70	140	450
Wintertaling	42	38	19	0	0	1	5	0	18	21	30	40
Wulp	28	70	11	0	3	2	7	56	60	70	0	7
Zilverplevier	0	0	0	1	0	0	0	5	15	7	0	0
Zwarte Ruiter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

WS311 Seizoen 2010, waarnemingen per maand

Soort	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december
Bergeend	45	17	12	20	40	53	27	0	0	0	8	26
Bontbekplevier	8	6	4	2	4	4	6	0	0	2	0	0
Bonte Strandloper	9000	780	40	0	0	0	0	0	0	6	2120	746
Drieteenstrandloper	0	0	0	0	18	0	0	0	0	90	39	0
Fuut	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Goudplevier	0	0	0	0	0	0	0	0	170	320	0	0
Grauwe Gans	0	15	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0
Groenpootruiter	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Kanoet	0	10	0	0	0	0	0	0	0	5	14	0
Kievit	0	6	0	0	8	17	0	0	0	0	0	0
Kleine Zilverreiger	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kluut	19	27	0	0	1	2	0	0	0	0	13	54
Lepelaar	0	0	4	0	1	8	3	0	0	0	0	0
Rosse Grutto	0	1	0	6	0	0	0	0	0	1	0	5
Scholekster	268	93	40	8	6	10	32	0	36	193	259	129
Smient	140	7	122	0	0	0	0	0	0	0	550	156
Steenloper	0	31	0	42	0	0	0	0	0	47	7	1
Tureluur	5	0	2	6	23	19	27	0	46	0	19	13
Wilde Eend	347	10	6	14	52	36	15	0	78	0	220	640
Wintertaling	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Wulp	41	55	47	1	4	2	11	0	2	2	7	10
Zilverplevier	0	17	176	9	487	0	0	0	0	14	0	61
Zwarte Ruiter	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

WS311 Seizoen 2011, waarnemingen per maand

Soort	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december
Bergeend	56	4	19	12	7	6	0	0	0	0	1	0
Bontbekplevier	0	5	3	0	0	3	0	0	1	0	0	22
Bonte Strandloper	1510	0	0	0	5	0	0	0	0	650	30	3330
Drieteenstrandloper	0	0	0	0	0	0	0	0	0	145	0	0
Fuut	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Goudplevier	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
Grauwe Gans	0	0	3	0	0	18	29	2	0	0	0	0

Kanoet	112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70
Kievit	0	0	2	6	2	0	0	0	0	140	0	0
Kluut	0	0	2	15	0	0	0	0	0	0	0	0
Rosse Grutto	0	0	0	0	0	0	0	2	0	14	0	0
Scholekster	105	113	52	10	9	4	4	100	225	210	226	189
Steenloper	10	28	0	10	1	0	0	1	33	25	20	14
Strandplevier	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Tureluur	1	0	3	0	3	0	4	0	0	0	13	1
Wilde Eend	0	0	7	0	10	14	0	340	0	2	0	0
Wulp	68	6	7	0	0	0	0	9	75	9	0	13
Zilverplevier	0	0	0	0	0	0	0	9	58	16	27	300

WS311 Seizoen 2012, waarnemingen per maand (geen tellingen uitgevoerd in de maanden maart, april, juni, juli, september en oktober)

Soort	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december
Bergeend	56	31	0	0	14	0	0	15	0	3	0	9
Bonte Strandloper	0	410	0	0	0	0	0	0	0	0	845	0
Drieteenstrandloper	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	110	0
Goudplevier	0	0	0	0	0	0	0	0	115	0	0	0
Grauwe Gans	0	0	0	0	0	0	0	85	0	35	0	0
Kanoet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
Kievit	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0
Kluut	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Krakeend	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Lepelaar	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Rosse Grutto	2	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	3
Scholekster	121	333	0	0	2	0	32	60	65	18	20	190
Slobeend	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Smient	1670	565	0	0	0	0	0	0	0	5	0	465
Steenloper	4	14	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0
Tureluur	8	7	0	0	0	0	0	4	0	0	2	3
Wilde Eend	620	18	0	0	12	0	3	7	50	40	40	830
Wintertaling	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Wulp	34	45	0	0	0	0	0	110	0	0	13	0
Zilverplevier	0	35	0	0	0	0	0	0	6	0	30	0

WS311 Seizoen 2013, waarnemingen per maand (geen tellingen uitgevoerd in de maanden maart, april, juni, juli, september en oktober)

Soort	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december
Bergeend	3	25	0	0	9	0	0	2	0	0	0	19
Bontbekplevier	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Bonte Strandloper	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Fuut	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Grauwe Gans	16	50	0	0	59	0	0	6	0	0	1	0
Kanoet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Kleine Zilverreiger	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Kolgans	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Lepelaar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Scholekster	262	204	0	0	35	0	0	0	0	0	372	225
Slechtvalk	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Smient	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	360
Steenloper	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Tureluur	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wilde Eend	100	0	0	0	17	0	0	6	0	0	45	586
Wulp	2	82	0	0	0	0	0	0	0	0	43	26
Zilverplevier	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0

WS311 Seizoen 2014, waarnemingen per maand (geen tellingen uitgevoerd in de maanden maart, april, juni, juli, september en oktober)

Soort	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december
Bergeend	50	28	0	0	7	0	0	9	0	0	0	0
Bontbekplevier	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bonte Strandloper	4	230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	220
Fuut	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Goudplevier	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Grauwe Gans	9	96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kanoet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
Kleine Zilverreiger	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Krakeend	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lepelaar	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Rosse Grutto	0	0	0	0	0	0	0	57	0	0	0	0
Scholekster	169	243	0	0	31	0	0	120	0	0	117	302
Steenloper	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13

Tureluur	4	2	0	0	0	0	0	46	0	0	19	0
Wilde Eend	7	141	0	0	14	0	0	0	0	0	50	0
Wulp	0	129	22	0	0	0	0	0	0	0	24	52
Zilverplevier	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	137
Zwarte Ruiter	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0

WS212 Seizoen 2010, waarnemingen per maand

Soort	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december
Bergeend	47	136	73	146	52	80	23	9	9	22	45	68
Bontbekplevier	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0
Bonte Strandloper	0	0	0	0	0	0	0	1	0	90	0	220
Fuut	1	3	9	0	16	3	0	2	1	3	11	3
Groenpootruiter	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
Kievit	0	2	0	5	2	2	9	10	6	0	17	9
Kleine Zilverreiger	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0
Kluut	2	30	8	3	0	0	2	0	0	3	8	50
Lepelaar	0	0	0	1	1	8	0	3	0	0	0	0
Middelste Zaagbek	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Rosse Grutto	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Scholekster	202	155	79	90	28	74	106	72	230	110	202	59
Slobeend	2	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Smient	1400	430	64	0	0	0	0	0	0	220	240	1000
Steenloper	2	3	5	3	0	0	0	0	2	1	0	3
Tureluur	48	18	47	9	5	2	19	112	51	28	103	44
Wilde Eend	110	49	80	28	36	32	22	58	38	94	25	280
Wintertaling	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0
Wulp	0	79	53	80	4	11	31	18	59	130	220	23
Zilverplevier	0	0	0	0	0	0	0	3	0	15	2	22

WS212 Seizoen 2011, waarnemingen per maand

Soort	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december
Bergeend	112	250	37	86	68	50	60	13	9	28	23	44
Bonte Strandloper	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Drieteenstrandloper	0	0	0	0	38	0	0	0	0	0	0	0
Fuut	8	1	8	6	5	1	0	6	7	3	3	12
Grauwe Gans	0	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Groenpootruiter	0	0	0	0	2	0	0	6	5	0	0	0
Kievit	70	0	0	3	0	4	0	0	4	0	6	30
Kleine Zilverreiger	0	0	1	0	0	0	1	1	3	1	1	1
Kluut	0	1	5	5	0	0	0	0	0	0	0	1
Lepelaar	0	0	0	0	3	2	7	10	0	0	0	0
Middelste Zaagbek	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Rosse Grutto	0	0	0	0	1	0	0	5	12	2	0	0
Scholekster	110	150	45	92	70	70	90	110	150	180	275	270
Smient	430	1050	3	0	0	0	0	0	0	30	310	400
Steenloper	6	2	0	3	0	0	0	1	2	1	0	3
Tureluur	43	31	13	19	13	5	27	25	52	12	50	34
Wilde Eend	110	170	6	33	70	84	28	70	150	120	47	150
Wintertaling	4	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wulp	190	64	35	40	0	24	41	340	160	39	75	100
Zilverplevier	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	0

WS212 Seizoen 2012, waarnemingen per maand

Soort	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december
Bergeend	140	84	60	64	82	49	36	6	6	10	21	14
Fuut	9	17	2	2	1	5	0	0	5	10	11	3
Grauwe Gans	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Groenpootruiter	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Kievit	0	0	5	3	3	0	7	0	0	7	14	15
Kleine Zilverreiger	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	0
Kluut	0	0	370	6	0	0	0	0	0	0	0	6
Lepelaar	0	0	0	0	10	2	6	0	0	0	0	0
Rosse Grutto	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Scholekster	70	165	190	146	43	53	92	150	160	130	150	170
Slobeend	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	28
Smient	600	520	240	9	0	0	0	0	0	22	300	540

Steenloper	7	3	4	0	0	0	1	1	0	0	3	7
Tureluur	12	0	0	0	1	0	6	9	33	0	27	19
Wilde Eend	330	140	55	22	26	48	19	65	55	80	560	250
Wintertaling	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
Wulp	360	230	220	55	11	3	77	244	190	130	65	360
Zilverplevier	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0

WS212 Seizoen 2013, waarnemingen per maand

Soort	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december
Bergeend	54	44	124	92	52	91	24	15	21	32	19	42
Bontbekplevier	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0
Bonte Strandloper	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	16
Fuut	8	7	1	0	0	0	5	5	2	0	3	9
Grauwe Gans	0	0	0	0	0	0	13	60	0	0	0	0
Groenpootruiter	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	0
Kanoet	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Kievit	0	0	0	0	8	0	0	13	0	0	0	0
Kleine Zilverreiger	0	0	1	0	0	0	0	1	4	2	0	0
Kluut	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	4
Lepelaar	0	0	0	0	1	2	31	0	8	0	0	0
Middelste Zaagbek	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8	0
Rosse Grutto	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	1	5
Scholekster	210	170	110	166	49	22	65	190	120	256	86	110
Smient	400	940	175	0	0	0	0	0	0	310	428	1050
Steenloper	3	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tureluur	3	7	43	0	5	2	7	8	0	0	16	4
Wilde Eend	70	55	44	14	70	128	20	70	60	13	60	0
Wintertaling	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	4
Wulp	266	225	170	170	35	70	110	160	130	34	60	44
Zilverplevier	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	5

WS212 Seizoen 2014, waarnemingen per maand

Soort	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december
Bergeend	54	140	175	144	42	72	16	16	32	44	36	33
Fuut	12	0	0	0	0	2	0	1	0	8	22	14
Grauwe Gans	0	0	0	0	7	3	0	0	0	0	0	30

Groenpootruiter	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0
Kievit	6	0	2	0	2	3	14	9	0	0	8	0
Kleine Zilverreiger	0	1	0	0	2	1	3	4	0	0	0	0
Kluut	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Krakeend	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lepelaar	0	0	0	0	0	5	6	14	0	0	0	0
Middelste Zaagbek	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Rosse Grutto	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Scholekster	140	140	170	68	66	92	120	310	164	155	170	190
Smient	900	600	400	0	0	0	0	0	100	260	660	510
Steenloper	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0
Tureluur	0	0	12	0	0	5	2	0	9	0	9	5
Wilde Eend	160	90	55	27	29	22	45	120	110	130	70	180
Wintertaling	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wulp	440	260	190	4	4	10	240	70	200	150	200	11
Zilverplevier	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Bijlage 2 Effecten onderwatergeluid op bruinvissen

CONCEPT

ONDERWERP
effecten op bruinvissen door onderwatergeluid

PROJECTNUMMER
C05058.000050

DATUM
9-5-2016

ONZE REFERENTIE

VAN
Belinda J. Kater

AAN
Yvonne Verlinde

Effecten op de bruinvis

De heiwerkzaamheden tijdens de aanlegfase veroorzaken impulsgeluid onder water. Deze werkzaamheden vinden plaats tijdens de aanleg van de platforms, waarbij de jacketfundatie voor de palen geheid moet worden. Heien leidt tot impulsgeluiden onderwater in de zuidelijke Noordzee (kustzone) waaronder ook de Vlake van de Raan.

Impuls geluid door heiwerkzaamheden kan leiden tot gedragseffecten en fysiologische effecten. Gedragseffecten zijn verstoring in de vorm van stress en/of vluchtgedrag. Onder fysiologische effecten behorende tijdelijke (TTS - Temporary Threshold Shift) of 'permanente' (PTS - Permanent Threshold Shift) gehoorbeschadiging.

Door de 'werkgroep onderwatergeluid' zijn de drempels voor bruinvissen voor vluchten, TTS en PTS vastgesteld. Deze drempels staan in onderstaande tabel.

Drempel	Single strike / cumulatief	waarde
Vermijding	SELss	140 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$
TTS-onset	SELcum	164 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$
PTS-onset	SELcum	179 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$

Berekeningen door TNO

Om een eerste verkenning te doen naar het voor bruinvissen verstoorde areaal en de mate waarin TTS en PTS kunnen optreden is door TNO een berekening met AQUARIUS 1.0. De berekeningen voor het prinses Amalia park (Q7) zijn als basis genomen. De resultaten van deze berekeningen zijn te vinden in de bijlage.

Om voldoende keuzeruimte te houden in de toekomst, en omdat niet alle uitvoeringsinformatie al in deze fase bekend is, is voor deze berekeningen uitgegaan van een worst-case situatie. Dit betekent dat:

- er uit is gegaan van een maximale hei energie van 1600 kJ. Meestal ligt de hei energie nodig voor jacket-palen lager;
- er behalve 'slow-start' geen mitigerende maatregelen in de berekeningen zijn opgenomen;
- er geen rekening wordt gehouden met de afname van het afstralen van geluid omdat de paal in de bodem verdwijnt;
- er geen rekening is gehouden met de kleinere paaldiameter (4,5m in Q7 versus 1,8m hier).

Vermijdingsoppervlak en afstanden voor PTS-onset en TTS-onset

Uit de modelberekeningen is het totale oppervlakte bepaald van het gebied waaruit verondersteld wordt dat de bruinvissen voor het heigeluid zullen vluchten. Dit areaal is bij windstil weer het grootste, namelijk 2507 km². De maximale vermijdingsafstand op 1 meter onder het wateroppervlak is hierbij 39 km. Bij een windsnelheid van 6,5 m/s is dit oppervlak 1321 km², en de maximale vermijdingsafstand 29 km. Dieren die zich bij aanvang van het

heien binnen de afstand waarop het geluid een vermijdingsreactie geeft bevinden zwemmen weg met een snelheid van 3,4 m/s.

De afstand waarop bij bruinvissen TTS-onset kan optreden bedraagt 26 km bij windstil weer, en bij een windsnelheid van 6,5 m/s 17 km. De PTS-onset afstanden zijn bij windstil weer anderhalve kilometer, en bij 6,5 m/s minder dan een kilometer.

Effecten van het heien op de bruinvissen populatie

Doordat aanwezige bruinvissen de heillocatie en omgeving vermijden is sprake van een tijdelijke afname van het oppervlak beschikbaar foerageergebied. De gegevens in de Passende Beoordeling voor kavel I en II voor de aantallen bruinvissen in het gebied zijn gebruikt om de effecten te berekenen, de resultaten zijn opgenomen in tabel 1. De gebruikte methodiek is gelijk aan de methodiek in voorgenoemde Passende Beoordeling (van Duin et al. 2015a; van Duin et al. 2015b).

Tabel 1: Populatiereductie bruinvissen ten gevolge van heien.

Parameter	Jan-mei	Jun-aug	Sep-dec
Areaal verstoord gebied (km ²)	2507	2507	2507
Aantal bruinvissen	3560	1203	961
verstoringdagen	7121	2406	1923
Populatie reductie	21	7	6

Het effect is op geen enkel moment in het jaar verwaarloosbaar.

Geluidsnormen

Het effect zal worden geminimaliseerd door de geluidsnormen uit de ontwerp-kavelbesluiten Borssele III¹ en Borssele IV² te hanteren. Deze geluidsnormen zijn opgenomen in tabel 2. Het betreft het heien van 8 of 16 palen, dus de geluidsnormen van 35-38 windturbines zijn van toepassing.

¹ www.rvo.nl/sites/default/files/LR_89497_Borsselle%20III_V2.pdf

² www.rvo.nl/sites/default/files/LR_89497_Borsselle%20IV_V2.pdf

Tabel 2: Geluidsnormen voor heien uit kavelbesluit Borssele III en IV.

	Geluidsnorm (dB re $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ SEL1 op 750 meter van de geluidsbron)		
	periode		
Aantal op te richten windturbines	Januari tot en met mei	Juni tot en met augustus	September tot en met december
77 - 95	159	165	166
64 - 76	160	166	167
55 - 63	162	167	169
49 - 54	163	169	170
43 - 48	163	169	171
39 - 42	164	170	172
35 - 38	165	171	172

Het geluidsniveau ligt in deze worst-case situatie bij windstil weer op een SEL van 169 dB re $1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$ op 1 meter onder het wateroppervlakte en op 178 dB re $1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$ op 1 meter boven de bodem. Bij een windsnelheid van 6,5 m/s is dit respectievelijk 166 en 177 dB re $1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$.

Dit betekent dat in deze worst-case berekeningen de geluidsnorm conform bovenstaande normen voor 35-38 palen overschreden wordt en aanvullende maatregelen nodig zijn.

Worst-case benadering

De berekeningen zoals in dit stadium uitgevoerd zijn gebaseerd op een opeenstapeling van worst-case aannames, die zich richten op de hei-energie, de paaldikte, de weersomstandigheden, etc. De resultaten laten zien dat in deze situatie de normen uit het kavelbesluit worden overschreden, en dat aanvullende maatregelen noodzakelijk zijn. Dit komt overeen met de constatering in de Passende Beoordeling.

De realistische benadering kan beter worden geschetst na de keuze van de platform bouwer. Op dat moment is meer bekend over de aanleg en het reële heischema. Zodra deze keuze is gemaakt, zal op basis hiervan TNO worden gevraagd meer project specifieke berekeningen uit te voeren. Uit deze berekeningen zal blijken of er nog steeds risico bestaat dat de geluidsnorm op 750 meter worden overschreden. Wanneer dit het geval is, zullen door TNO de effecten van mogelijke mitigerende maatregelen worden berekend. Zo kan worden bepaald met welke maatregel wel aan de geluidsnorm wordt voldaan. Die maatregel wordt vervolgens tijdens het heien toegepast.

Mitigerende maatregelen

- Om eventuele gehoorbeschadiging (TTS en/of PTS) van zeezoogdieren en vissen nabij de heillocatie van de platforms te voorkomen worden mitigerende maatregelen getroffen. Een half uur voor aanvang van de heiwerkzaamheden wordt een ADD (Acoustic Deterrent Device) gebruikt om aanwezige dieren te verjagen. De ADD moet een minimaal bereik van 500 meter hebben. De ADD zal aan blijven gedurende de heiwerkzaamheden, de ADD wordt stilgelegd als het heien voor een periode van meer dan 4 uur wordt stilgelegd en aan het eind van de werkdag. Als gevolg van deze maatregelen zal van gehoorbeschadiging geen sprake zijn, dieren zullen tijdig de omgeving van de heillocatie vermijden.
- De heiwerkzaamheden aan de platforms worden aangevangen met een slow start (toenemende frequentie heien) en soft start (toenemende hei-energie heien) met een op basis van het heischema vast te stellen maximale hei-energie. Dit geldt ook voor een eventuele herstart van de heiwerkzaamheden na een onderbreking.
- Indien de nieuwe berekeningen laten zien dat de norm nog steeds wordt overschreden wordt gedacht aan mitigerende maatregelen als een bellenscherm, piles sleeves of andere vormen van 'sound dampers'.

Conclusie

Bij het modelmatig vaststellen van de effecten van heien op bruinvissen is uitgegaan van een worst-case situatie. Deze keuze voor worst-case is gemaakt vanuit het uitgangspunt dat de informatie in deze fase nog niet volledig is. Zodra de werkwijze bekend is, worden aanvullende berekeningen gedaan.

De huidige berekeningen laten zien dat de normen voor bruinvissen op 750 meter van het heien overschreden worden. Hieruit blijkt dat bij deze uitgangspunten aanvullende maatregelen nodig zijn. Deze zullen gevonden worden in het aanpassen van het heischema, bijvoorbeeld door het gebruik van een lagere hei-energie, en/of door het nemen van aanvullende geluiddempende maatregelen. De maatregelen zullen dusdanig van aard zijn dat de norm op 750 meter met de uiteindelijke werkwijze niet overschreden worden. Wanneer uit de berekeningen van de daadwerkelijke werkwijze blijkt dat de normen voor bruinvissen op 750 meter van het heien niet overschreden worden, worden geen aanvullende maatregelen genomen.

Met deze werkwijze wordt gegarandeerd dat de staat van instandhouding van bruinvissen niet wordt aangetast. Significant negatieve effecten zijn uitgesloten.

Notitie

Aan
Belinda Kater (Arcadis)

Van
Bas Binnerts & Sander von Benda Beckmann

Onderwerp
Onderwatergeluidberekeningen Borssele (project nummer 060.23105)

Technical Sciences
Oude Waalsdorperweg 63
2597 AK Den Haag
Postbus 96864
2509 JG Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 10 00

Datum
3 mei 2016

Onze referentie
XXXX

E-mail
bas.binnerts@tno.nl

Doorkiesnummer
+31 88 866 33 09

1 Inleiding

Arcadis heeft TNO gevraagd om berekeningen uit te voeren aan de effecten die het onderwatergeluid bij de aanleg van het TenneT platform, onderdeel van het Borssele windpark, op het onderwaterleven kan hebben. De verspreiding van het onderwatergeluid bij het heien van een jacketfundatie is berekend en vertaald naar het oppervlak rond de heipaal waarbinnen het geluid tot verstoring van bruinvissen en zeehonden kan leiden of tot een 'permanente' gehoordrempelverhoging (PTS). Bij de berekeningen zijn de in de werkgroep Onderwatergeluid van Rijkswaterstaat afgesproken procedures en grenswaarden toegepast.

2 Inhoud

- 1 Inleiding
 - 2 Inhoud
 - 3 Aanpak
 - 4 Heilocatie
 - 5 Heiscenario
 - 6 Bronsterkte van het heigeluid
 - 7 Omgevingsparameters
 - 8 Drempelwaarden voor effecten op bruinvissen en zeehonden
 - 9 Berekeningen en resultaten
 - 10 Conclusie
 - 11 Referenties
-
- A Schaal voor de ernst van gedragsbeïnvloeding [Southall et al 2007]
 - B Enkele geluidverspreidingskaarten (enkele klap)
 - C Enkele geluidverspreidingsgrafieken (cumulatief)

3 Aanpak

De effectafstanden en onderwatergeluidkaarten zijn berekend met behulp van de versie 1.0 van het TNO rekenmodel AQUARIUS. Dit model berekent de ruimtelijke verspreiding van het geluid, op basis van de energie van de heiklappen, de bathymetrie, het sediment en de windsterkte. AQUARIUS 1.0 is gebaseerd op een benaderingsmethode voor het propagatieverlies die is beschreven in [Weston 1971, 1976]. De heipaals als geluidbron wordt in deze aanpak niet direct gemodelleerd. Het model gaat uit van het onderwatergeluid dat is gemeten tijdens het heien voor het Prinses Amalia windpark [de Jong & Ainslie 2012]. Het gemeten geluid wordt geschaald met de actuele hamerenergie en het AQUARIUS-model wordt gebruikt om het geluidveld vanuit de bestaande meetgegevens te extrapoleren naar grotere afstanden.

Datum

3 mei 2016

Onze referentie

XXXX

Blad

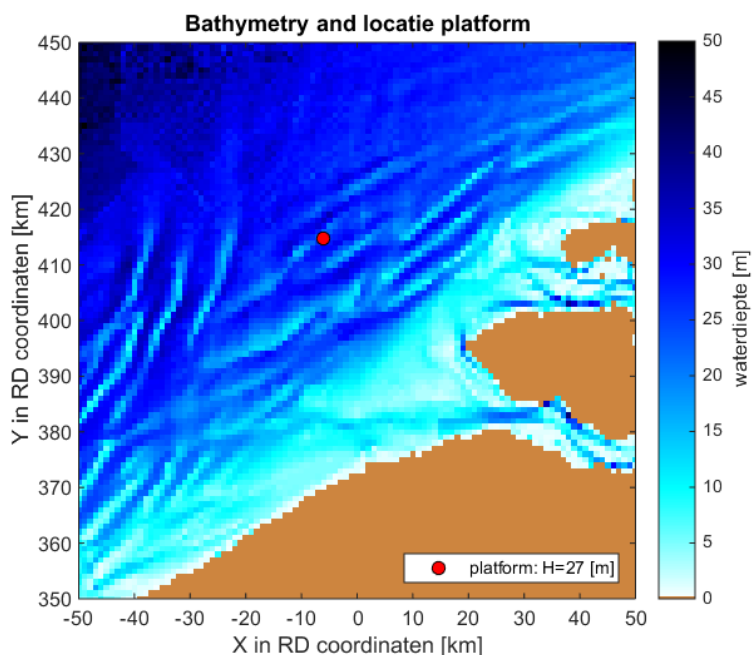
2/12

4 Heilocatie

Er is 1 heilocatie geselecteerd ter plekke van het TenneT platform. Tabel 1 bevat de locatie van het platform (in ETRS 1989 UTM 31N) en de lokale waterdiepte zoals berekend met de publieke bathymetrie database (<http://portal.emodnet-bathymetry.eu/>). Figuur 1 toont de bathymetrie (in meter) rondom het platform (rode stip) op een kaart in rijks driehoek (RD) coördinaten.

Tabel 1: locatie van het TenneT platform

	X_{UTM} [m]	Y_{UTM} [m]	Lokale waterdiepte [m]
Middelpunt TenneT platform	503919.02	5727665.34	27



Figuur 1: gebruikte Emodnet Bathymetriekaart met daarin aangegeven de locatie van het TenneT platform (rode stip)

5 Heiscenario's

Datum
3 mei 2016

Onze referentie
XXXX

Blad
3/12

Hei-energie

Op advies van TenneT wordt er voor de akoestische berekeningen in deze studie uitgegaan van een maximale hei-energie van 1600 kJ. Voor jacket-palen is de maximale hei-energie meestal lager dan deze waarde (± 900 kJ), waardoor de gehanteerde hei-energie als "worst-case" kan worden beschouwd.

Scenario heien jacket

Om de cumulatieve blootstelling van de dieren rondom het platform aan het onderwater geluid te berekenen wordt er uitgegaan van een gestileerd maar realistisch 'Slow-start' scenario. Dit scenario is gestileerd op basis van een representatief heiscenario van een windturbinefundatie voor het Teesside park in het Verenigd Koninkrijk:

- Voor het goed positioneren van de paal wordt in de eerste ca. 10 minuten met een lagere energie (= ca. 20% van het volledige vermogen van de hei-hamer) en frequentie geheid ('soft start').
- In de daaropvolgende ca. 30 minuten wordt de hei-energie opgevoerd tot maximaal vermogen (= ca. 95%).
- Na deze 40 minuten wordt vervolgens ononderbroken op dit maximale vermogen geheid.
- Er wordt van uitgegaan dat er voor het heien van één paal maximaal 2.600 heiklappen nodig zijn.
- De uiteindelijke totale aanlegduur (periode van heien) bedraagt circa 80 minuten per jacket paal.
- Voor het berekenen van de cumulatieve blootstelling aan het hei-geluid wordt er uitgegaan van het heien van één jacket-paal.

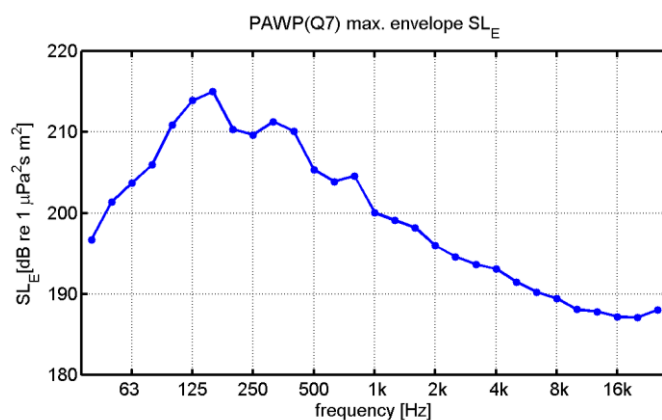
6 Bronsterkte van het heigeluid

We gaan er van uit dat het heigeluid zoals gemeten bij het Prinses Amaliawindpark (Q7) [de Jong & Ainslie 2012] als maatgevend mag worden beschouwd voor het heien van windturbinefundaties in het zoekgebied Borssele. Met behulp van het AQUARIUS model is in [Ainslie et al 2012] een schatting gemaakt van het propagatieverlies PL van het geluid van een puntbron, midden in de waterkolom op de heilocatie, naar de verschillende meetlocaties voor Q7 (21 m waterdiepte, 'medium sand' sediment, 4,5 m/s wind op 10 m hoogte). Door het berekende propagatieverlies (PL) bij de gemeten geluidbelasting (SEL) op te tellen is een schatting gemaakt van de spectra van een energiebronsterkte $SL_E = SEL + PL$ per heiklap voor de verschillende meetpunten. De bovengrens van deze schattingen (Figuur 2) wordt hier gebruikt als input voor de AQUARIUS berekening van de geluidverspreiding bij het heien voor Borssele. De over de frequentiebanden gesommeerde SL_E per heiklap is 221 dB re $1 \mu Pa^2 s m^2$. De laagste schattingen van de SL_E uit de diverse meetpunten bij Q7 is 215 dB re $1 \mu Pa^2 s m^2$.

Datum
3 mei 2016

Onze referentie
XXXX

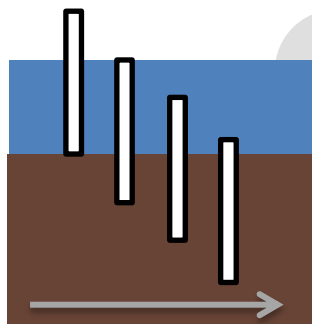
Blad
4/12



Figuur 2: Geschatte bovengrens voor het energie bronniveau spectrum (1/3-octave) voor het heigeluid, gebaseerd op de meetresultaten van Q7 (zie de tekst).

De heiklap energie die in deze studie wordt aangenomen (1600kJ) is hoger dan de 800 kJ die bij Q7 is toegepast. Aannemend dat een vast percentage van de klapenergie wordt omgezet in geluidenergie, zou het energiebronniveau bij een veronderstelde klapenergie van 1600 kJ daardoor 3 dB groter¹ zijn. Bij gebrek aan meetgegevens bij deze hogere hei-energie nemen we vooralsnog aan dat de spectrale verdeling niet verandert.

Tijdens het heien van een jacket paal zal vanaf een gegeven moment de paal zo ver de bodem in gaan dat de afstraal effectiviteit hierdoor zal afnemen; omdat de paal niet meer de hele water kolom zal overbruggen (zie Figuur 3). Voor deze studie wordt er als “worst-case” vanuit gegaan dat de paal gedurende de gehele hei-periode over de hele water kolom afstraalt.



Figuur 3: afnemende afstraal efficiëntie door afnemend afstralend oppervlakte in de water kolom

Daarnaast is de diameter van de paal kleiner (1.8 m) t.o.v. het Q7 scenario (4.2m). Uit eerdere metingen [Bellmann et al, 2014] zou afgeleid kunnen worden dat de geluidproductie kleiner is bij een kleinere paaldiameter, maar omdat die afname ook het gevolg kan zijn van een lagere hamerenergie en van een kleinere

¹ De toename van de energie met een factor komt overeen met een toename van het energieniveau met $10\log_{10}(1600/800) \approx 3$ dB.

waterdiepte bij die metingen is voorzichtigheidshalve besloten om in deze studie geen rekening te houden met die eventuele afname.

Tot slot wordt er in deze studie van uit gegaan dat er geen geluids-mitigerende maatregel wordt toegepast.

Datum
3 mei 2016

Onze referentie
XXXX

Blad
5/12

7 Omgevingsparameters

De geluidverspreiding is uitgerekend voor de in Tabel 2 gegeven waarden van de geschatte omgevingsparameters.

Tabel 2: Omgevingsparameters voor de propagatieberekeningen

Waterdiepte bij het platform	27 m
Bodem type [Ainslie 2010]	'medium sand'
Bodem geluidsnelheid	1785 m/s
Bodem dichtheid	2086 kg/m ³
Bodem absorptie	0,88 dB/golflengte
Zeewater geluidsnelheid	1490 m/s
Zeewater dichtheid	1000 kg/m ³
Windsnelheid (10 m hoogte)	0 m/s c.q. 6,5 m/s

Wind boven zee verstoort het wateroppervlak, waardoor geluid verstrooid en geabsorbeerd wordt. Daardoor neemt het propagatieverlies toe bij toenemende windsnelheid. Dat effect is vooral merkbaar bij windsnelheden (op 10 m boven het wateroppervlak) groter dan 3 tot 4 m/s. Bij de berekening van de geluidverspreiding wordt daarom uitgegaan van twee windsnelheden:

- i. 0 m/s, als 'worst case';
- ii. een gemiddelde windsnelheid op de beoogde planlocatie. Voor Borssele hebben we daarvoor 6,5 m/s (op 10 m boven het zeeoppervlak) gekozen.

8 Drempelwaarden voor effecten op bruinvissen en zeehonden

De berekening van de geluidverspreiding heeft als doel in te kunnen schatten hoeveel bruinvissen en zeehonden effecten kunnen ondervinden van de geluidbelasting tijdens het heien. Dat aantal hangt samen met het voorkomen van dieren binnen een afstand tot de heipaal waarbinnen het blootstellingsniveau een drempelwaarde overschrijdt waarbij die effecten mogelijk optreden. In dit memorandum beperken we ons tot de berekening van die afstanden en het bijbehorende oppervlak.

In navolging van [Southall et al 2007] onderscheiden we gedragseffecten en fysiologische effecten (TTS: tijdelijke verhoging van de gehoordrempel en PTS: permanente verhoging van de gehoordrempel) ten gevolge van onderwatergeluid. Voor beide typen effecten worden in [Southall et al 2007] drempelwaarden voorgesteld, maar zijn uit onderzoek in Nederland en Duitsland ook recentere gegevens beschikbaar, die meer specifiek toepasbaar zijn voor effecten van heigeluid op bruinvissen en zeehonden in de Noordzee. De te hanteren drempelwaarden zijn in de jaren 2013 - 2014 op basis van consensus gekozen in een door Rijkswaterstaat (RWS) georganiseerde werkgroep 'onderwatergeluid', zie Tabel 3. Ook de in Tabel 3 gegeven zwemsnelheden waarmee de dieren

wegzwemmen zijn binnen de RWS werkgroep besproken en vastgesteld [KEC, 2015]. Ze zijn gebaseerd op een gezamenlijke interpretatie van gegevens uit diverse publicaties uit de wetenschappelijke en 'grijze' literatuur.

Datum
3 mei 2016

Onze referentie
XXXX

Blad
6/12

Tabel 3: In deze studie gehanteerde drempelwaarden en zwemsnelheden voor bruinvissen en zeehonden

	bruinvis	zeehond
Vermijding	$SEL_{SS} > 140 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$	$SEL_{SS,W} > 145 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$
TTS-onset	$SEL_{CUM} > 164 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$	$SEL_{CUM,W} > 171 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$
PTS-onset	$SEL_{CUM} > 179 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$	$SEL_{CUM,W} > 186 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$
Zwem snelheid	3,4 m/s (12,2 km/u).	4,9 m/s (17,6 km/u)

9 Berekeningen en resultaten

Er zijn 4 (2x2x1x1) scenario's doorgerekend voor het bepalen van de vermijding- en TTS/PTS-contouren ten gevolge van het onderwatergeluid bij het heien voor de windturbinefundaties voor het Borssele park:

- Voor 2 diersoorten (bruinvis en zeehond)
- Voor 2 windsnelheden (0 m/s en 6,5 m/s)
- Voor 1 hei-energie (1600 kJ)
- Voor 1 locatie (Figuur 1)

Er zijn geluidkaarten berekend voor de SEL_{SS} (bruinvis) en $SEL_{SS,W}$ (zeehond) voor de 4 scenario's voor twee verschillende zwemdieptes (1 m onder de waterspiegel en 1 m boven de zeebodem) bij de maximale klapenergie, rekening houdend met de bathymetrie rond het park. In de berekende geluidkaarten zijn contourlijnen getekend bij de drempelwaarde voor gedragsbeïnvloeding (Tabel 3, vermijding). In appendix B van deze notitie zijn de geluidskaarten opgenomen.

Vermijding

Op basis van dergelijke kaarten is het totale oppervlakte berekend binnen de contourlijn waarbinnen verwacht wordt dat dieren van de geluidbron weg zullen vluchten. Tabel 4 geeft de vermijdingsoppervlakken weer voor de berekende scenario's.

Tabel 4: Berekend vermijdingsoppervlak (km^2) voor zeehonden en bruinvissen, voor een hei-energie van 1600 kJ en twee windsnelheden.

Dier	Zeehond		Bruinvis	
Hei-energie [kJ]	1600	1600	1600	1600
Windsnelheid [m/s]	0	6,5	0	6,5
Vermijdingsoppervlakte [km^2]	1227	739	2507	1321

TTS/PTS

Daarnaast is er voor de hierboven geschreven scenario's ook gekeken naar de cumulatieve blootstelling van de dieren aan onderwatergeluid gedurende het heien van een complete paal voor de water diepte ter plekke van het platform (27 m). In deze berekening is rekening gehouden met een realistisch heiscenario (sectie 5) en met vermijdingsgedrag van de dieren.

Daarbij is een in de RWS werkgroep vastgesteld scenario gehanteerd, dat een realistische 'worst case' simuleert [KEC, 2015]. Omdat de ontvangen geluidniveaus nabij het wateroppervlak overal lager zijn dan de geluidniveaus op grotere diepte gaan we er van uit dat alle dieren zich bij aanvang van het heien op een vaste positie op 1 m van de bodem bevinden. Aangenomen wordt dat de dieren na het waarnemen van de tweede klap voldoende informatie hebben verzameld om op het geluid te reageren. Vanaf klap 3 bevinden alle dieren zich in de berekeningen op dezelfde locatie als bij de eerste twee klappen, maar dan op 1 m van het wateroppervlak. Vanaf die derde klap vluchten de blootgestelde dieren van de paal weg, met de in Tabel 3 gegeven constante snelheid en op een constante diepte, zo lang de ontvangen SEL_{SS} boven de drempelwaarde voor vermijdingsgedrag valt. Vanaf het moment dat de ontvangen SEL_{SS} beneden de drempelwaarde voor vermijdingsgedrag valt blijven de dieren stationair. De SEL_{CUM} hangt daarmee af van de positie waar het dier zich bevindt bij de aanvang van het heien.

In appendix C zijn de grafieken opgenomen waaruit de effectafstanden voor vermijding en fysiologische effecten kunnen worden afgelezen. Deze figuren tonen de berekende geluidsblootstelling (SEL_{SS} en SEL_{CUM}) als functie van de afstand van het dier tot de heipaal. Dieren die zich bij aanvang van het heien binnen de afstand bevinden waarbij het geluid een vermijdingsreactie veroorzaakt, zwemmen tijdens het heien naar de rand van dit gebied. De uiteindelijke SEL_{CUM} hangt af van de positie waar het dier zich bevindt bij de aanvang van het heien. De resulterende effectafstanden zijn samengevat in Tabel 5.

Dier	Zeehond		Bruinvis	
Hei-energie [kJ]	1600	1600	1600	1600
Windsnelheid [m/s]	0	6,5	0	6,5
vermijdingsafstand 1 m boven zeebodem (km)	25,5	20	38,8	29,3
vermijdingsafstand 1 m onder zeeoppervlak (km)	8	5,4	12,7	8,6
afstand voor TTS-onset (km)	14,9	9,9	25,9	17,2
afstand voor PTS-onset (km)	0,2	0,2	1,5	0,9

Tabel 5: Berekend effectafstanden (km) voor zeehonden en bruinvissen, in een uniforme waterdiepte van 27 m, voor een hei-energie van 1600 kJ en twee windsnelheden.

10 Conclusie

Dit memo geeft de resultaten van een berekening van de afstanden waarop het heigeluid t.g.v. het heien van de jacket fundatie van het TenneT platform mogelijke effect kan hebben op bruinvissen en zeehonden.

Bij het beoordelen van de berekende effectafstanden dient rekening gehouden te worden met de vele onzekerheden in berekeningen en grenswaarden. De berekeningsresultaten geven een indicatie van de orde van grootte van de afstanden tot de heipaal waarop het onderwatergeluid kan leiden tot verstoring, vermijdingsgedrag of fysiologische effecten.

Datum
3 mei 2016

Onze referentie
XXXX

Blad
7/12

11 Referenties

Ainslie 2010, Principles of Sonar Performance Modeling. Springer-Praxis

Ainslie et al 2012, 'What is the source level of pile-driving noise in water?' In The Effects of Noise on Aquatic Life, edited by Popper & Hawkins (Springer), pp 445-448.

de Jong & Ainslie 2012, report TNO 2012 R10081 'Analysis of the underwater sound during piling activities for the Off-shore Wind Park Q7' (update of TNO report MON-RPT-033-DTS-2007-03388)

Bellmann et al, 2014, 'Hydroschallmessungen, ein erfahrungsbericht aus der Praxis oder Welche Fragen sind noch offen?', BSH - Workshop Schallschutz Hamburg 9/10/2014

KEC, 2015, 'Kader Ecologie en Cumulatie t.b.v. uitrol windenergie op zee: deelrapport B: bijlage TNO - onderzoek Cumulatieve effecten op zeezoogdieren'

Southall et al 2007, 'Marine mammal noise exposure criteria: Initial scientific recommendations', Aquatic Mammals 33 (4), pp 411-521

Weston 1971, 'Intensity-range relations in oceanographic acoustics', Journal of Sound and Vibration 18(2), pp 271-287

Weston 1976, 'Propagation in water with uniform sound velocity but variable-depth lossy bottom', Journal of Sound and Vibration 47(4), pp 473-483

Zampolli et al 2013, 'Validation of finite element computations for the quantitative prediction of underwater noise from impact pile driving', accepted for the Journal of the Acoustical Society of America (in press)

Datum

3 mei 2016

Onze referentie

xxxx

Blad

8/12

A. Schaal voor de ernst van gedragsbeïnvloeding [Southall et al 2007]

Datum
3 mei 2016

Onze referentie
XXXX

Blad
9/12

450

Southall et al.

Table 4. Severity scale for ranking observed behavioral responses of free-ranging marine mammals and laboratory subjects to various types of anthropogenic sound

Response score ¹	Corresponding behaviors (Free-ranging subjects) ²	Corresponding behaviors (Laboratory subjects) ²
0	- No observable response	- No observable response
1	- Brief orientation response (investigation/visual orientation)	- No observable response
2	- Moderate or multiple orientation behaviors	- No observable negative response; may approach sounds as a novel object
	- Brief or minor cessation/modification of vocal behavior	
	- Brief or minor change in respiration rates	
3	- Prolonged orientation behavior	- Minor changes in response to trained behaviors (e.g., delay in stationing, extended inter-trial intervals)
	- Individual alert behavior	
	- Minor changes in locomotion speed, direction, and/or dive profile but no avoidance of sound source	
	- Moderate change in respiration rate	
	- Minor cessation or modification of vocal behavior (duration < duration of source operation), including the Lombard Effect	
4	- Moderate changes in locomotion speed, direction, and/or dive profile but no avoidance of sound source	- Moderate changes in response to trained behaviors (e.g., reluctance to return to station, long inter-trial intervals)
	- Brief, minor shift in group distribution	
	- Moderate cessation or modification of vocal behavior (duration ≈ duration of source operation)	
5	- Extensive or prolonged changes in locomotion speed, direction, and/or dive profile but no avoidance of sound source	- Severe and sustained changes in trained behaviors (e.g., breaking away from station during experimental sessions)
	- Moderate shift in group distribution	
	- Change in inter-animal distance and/or group size (aggregation or separation)	
	- Prolonged cessation or modification of vocal behavior (duration > duration of source operation)	
6	- Minor or moderate individual and/or group avoidance of sound source	- Refusal to initiate trained tasks
	- Brief or minor separation of females and dependent offspring	
	- Aggressive behavior related to noise exposure (e.g., tail/flipper slapping, fluke display, jaw clapping/gnashing teeth, abrupt directed movement, bubble clouds)	
	- Extended cessation or modification of vocal behavior	
	- Visible startle response	
	- Brief cessation of reproductive behavior	
7	- Extensive or prolonged aggressive behavior	- Avoidance of experimental situation or retreat to refuge area (≤ duration of experiment)
	- Moderate separation of females and dependent offspring	
	- Clear anti-predator response	
	- Severe and/or sustained avoidance of sound source	- Threatening or attacking the sound source
	- Moderate cessation of reproductive behavior	
8	- Obvious aversion and/or progressive sensitization	- Avoidance of or sensitization to experimental situation or retreat to refuge area (> duration of experiment)
	- Prolonged or significant separation of females and dependent offspring with disruption of acoustic reunion mechanisms	
	- Long-term avoidance of area (> source operation)	
	- Prolonged cessation of reproductive behavior	
9	- Outright panic, flight, stampede, attack of conspecifics, or stranding events	- Total avoidance of sound exposure area and refusal to perform trained behaviors for greater than a day
	- Avoidance behavior related to predator detection	

¹Ordinal scores of behavioral response severity are not necessarily equivalent for free-ranging vs laboratory conditions.

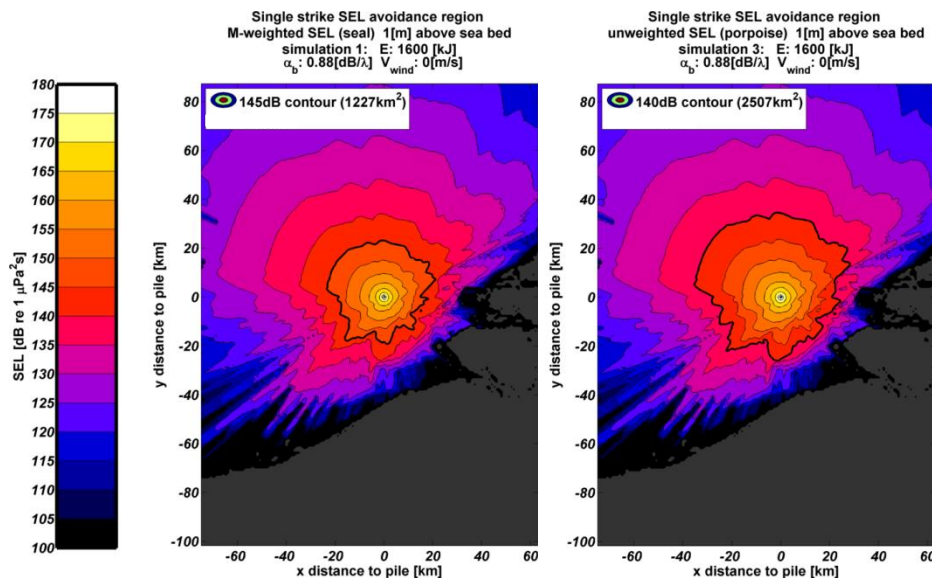
²Any single response results in the corresponding score (i.e., all group members and behavioral responses need not be observed). If multiple responses are observed, the one with the highest score is used for analysis.

B. Enkele geluidverspreidingskaarten (enkele klap)

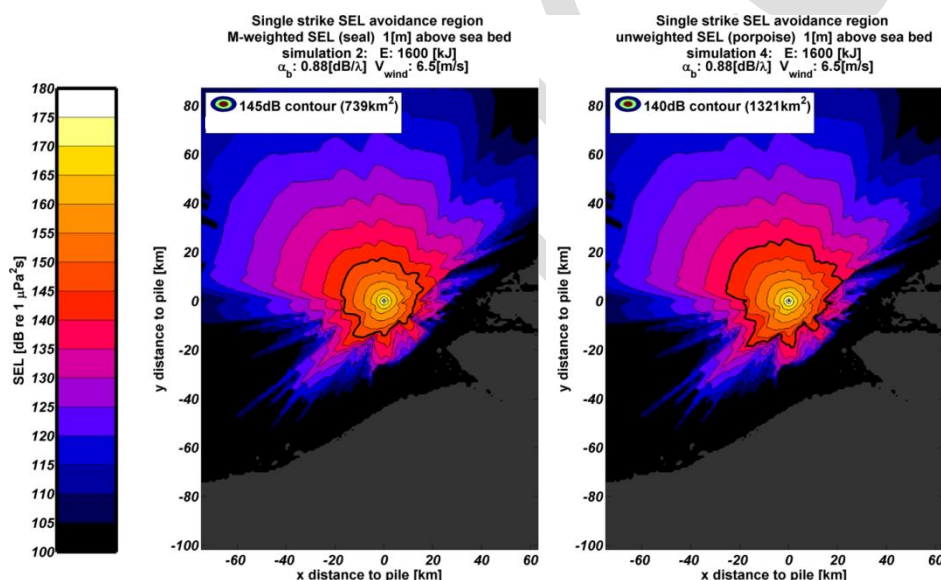
Datum
3 mei 2016

Onze referentie
XXXX

Blad
10/12



Scenario 1: (1600 kJ, wind 0 m/s): berekende verdeling van de SEL_{ss} op een diepte van 1 m boven de zeebodem, voor zeehonden (gewogen, links) en bruinvissen (ongewogen, rechts). De zwarte lijnen tonen de contour waarbinnen de drempelwaarde voor vermijdingsgedrag (Tabel 3) wordt overschreden.



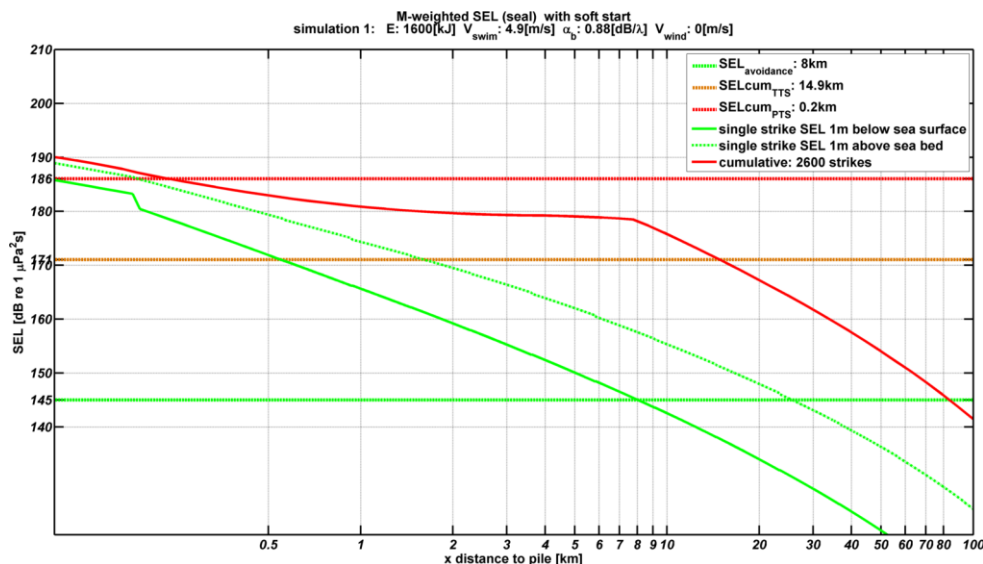
Scenario 2: (1600 kJ, wind 6.5 m/s): berekende verdeling van de SEL_{ss} met vermijdingscontour voor zeehonden (gewogen, links) en bruinvissen (ongewogen, rechts). (zie verder 'scenario 1')

C. Enkele geluidverspreidingsgrafieken (cumulatief)

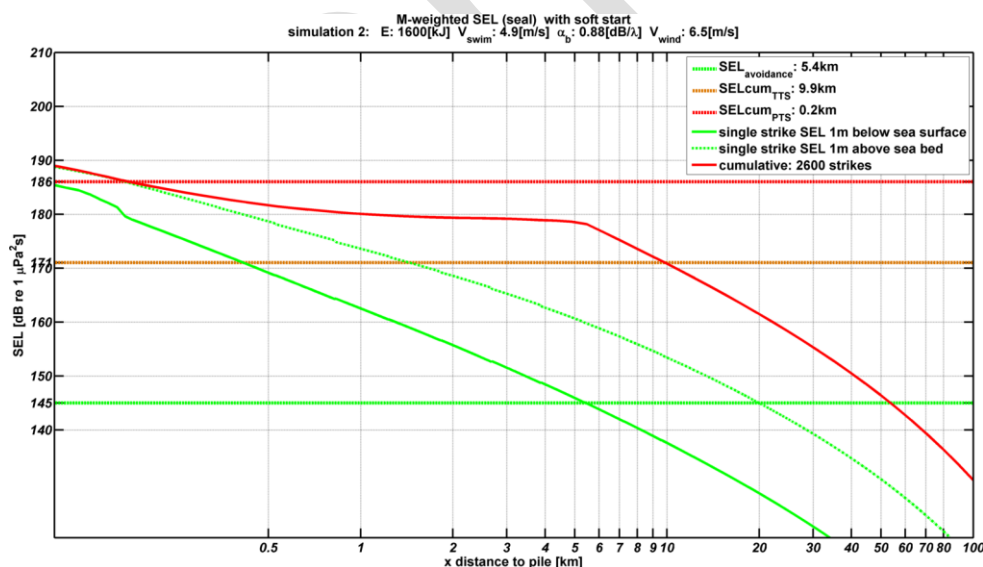
Datum
3 mei 2016

Onze referentie
XXXX

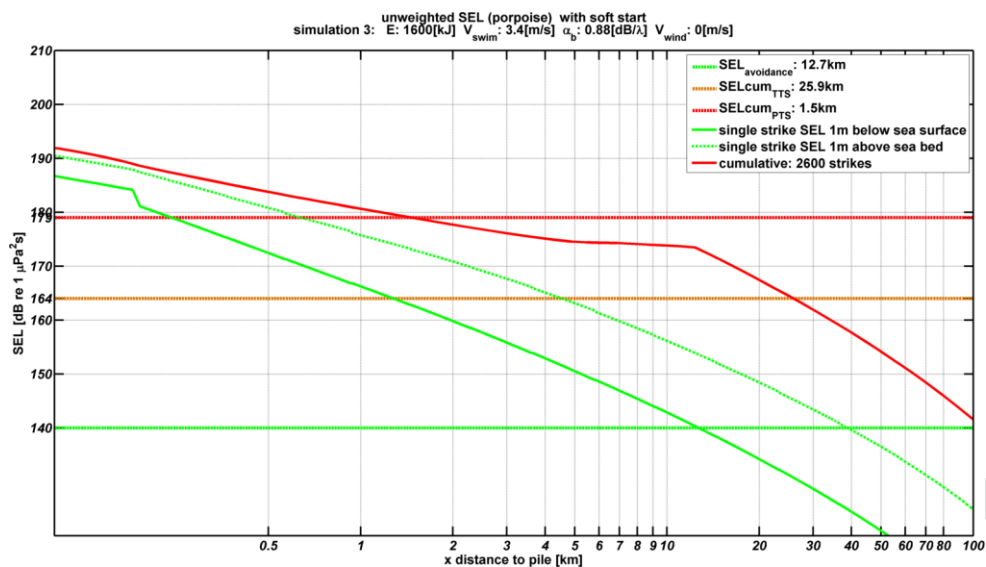
Blad
11/12



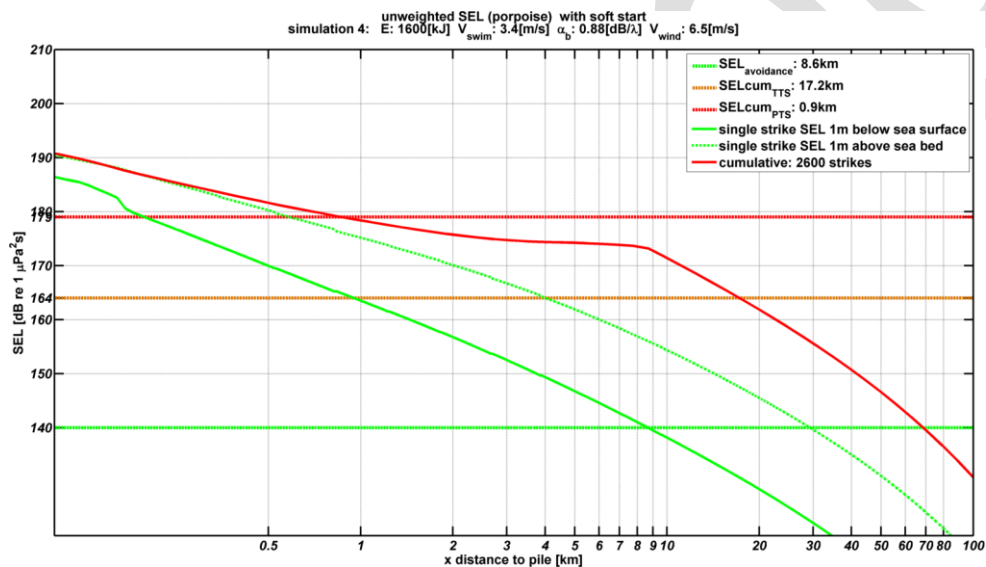
Scenario 3 (Diepte 27 m, 1600 kJ, wind 0 m/s, zeehonden): berekende verdeling van de $SEL_{SS,W}$ op een diepte van 1 m onder de waterspiegel ("single strike SEL 1m below sea surface", groene doorgetrokken lijn) en op 1 m boven de zeebodem ("single strike SEL 1m above sea bed", groene gestippelde curve) en de $SEL_{CUM,W}$ ("cumulative", rode doorgetrokken lijn), als functie van de afstand tot de paal waarop het dier zich bij aanvang van het heien bevindt. Het snijpunt van de groene curven (SEL_{SS}) met de groene horizontale lijn ("SEL avoidance") geven de vermijdingsafstanden voor zeehonden op twee dieptes. De snijpunten van de rode lijn ($SEL_{CUM,W}$) met de rode ("SEL cum PTS") en oranje ("SEL cum TTS") horizontale lijnen geven de 'PTS-afstand' en 'TTS-afstand', zie Tabel 3 en [KEC, 2015] voor meer informatie.



Scenario 4 (Diepte 27 m, 1600 kJ, wind 6.5 m/s, zeehonden): berekende verdeling van de $SEL_{SS,W}$ op twee dieptes en de $SEL_{CUM,W}$ (zie verder het bijschrift bij Scenario 3)



Scenario 5 (Diepte 27 m, 1600 kJ, wind 0 m/s, bruinvissen): berekende verdeling van de SEL_{SS} op twee dieptes en de SEL_{CUM} (zie verder het bijschrift bij Scenario 3)



Scenario 6 (Diepte 27 m, 1600 kJ, wind 6.5 m/s, bruinvissen): berekende verdeling van de SEL_{SS} op twee dieptes en de SEL_{CUM} (zie verder het bijschrift bij Scenario 3)

Datum
3 mei 2016

Onze referentie
XXXX

Blad
12/12

Bijlage 3 Morfologie in de Westerschelde (net op zee Borssele)

- *TenneT 160503 Morfologie net op zee Borssele oplegnotitie voor CieMER R02*
- *Waterproof WP2015_1013_R1r4_Seabed mobility based burial depth assessment*

CONCEPT

1 Inleiding

De hoogspanningskabels die de Borssele offshore windmolenparken met het elektriciteitsnetwerk op het vasteland zullen moeten gaan verbinden, zullen in de zeebodem begraven worden. Daarmee worden de kabels beschermd tegen externe bedreigingen als gesleept vistuig, ankers, aan de grond lopende schepen, verloren ladingen etc. etc. Ook worden daardoor andere gebruikers van de zeebodem, als bijvoorbeeld bodemvissers, beschermd tegen ongewenst contact met de kabels.

De bodem van de zee langs de route van de Borssele kabels is echter constant in beweging. Het gevolg daarvan is dat de begraafdiepte van de kabels over de levensduur van die kabels verandert. Op sommige plekken wordt de begraafdiepte met de tijd minder, op ander plekken raken de kabels juist steeds dieper begraven. Het verminderen en toenemen van de begraafdiepte is op bepaalde plekken van de route een cyclisch proces, waarbij de duur van de cyclus korter is dan de levensduur van de kabels.

Wanneer de begraafdiepte van de kabels te gering dreigt te worden, wordt onderhoud op de begraafdiepte noodzakelijk. Het is het streven om het onderhoud op de begraafdiepten van de Borssele kabels gedurende de levensduur tot een minimum te beperken, om daarmee de invloed op het milieu en verstoring van andere gebruikers van de zee, zoals de scheepvaart naar Antwerpen, te minimaliseren. Bovendien zijn de kosten die gemoeid zijn met het onderhoud op de begraafdiepte zodanig significant, dat de kosten van een initieel dieper begraven van de kabel op kan wegen tegen een vermindering in het onderhoud van de begraafdiepte.

In opdracht van TenneT is door WaterProof bv een studie verricht naar de gevolgen van de morfodynamica (bewegingen van het zeebed) langs de routes van de Borssele kabels op het onderhoud van de begraafdiepte van de kabels. De uitkomsten van deze studie zijn door TenneT gebruikt om voor de aanbesteding van de installatie een begraafdiepte voor te schrijven die het onderhoud op de begraafdiepte tot een minimum moet beperken, binnen de grenzen van wat uitvoeringstechnisch en vergunningstechnisch mogelijk is.

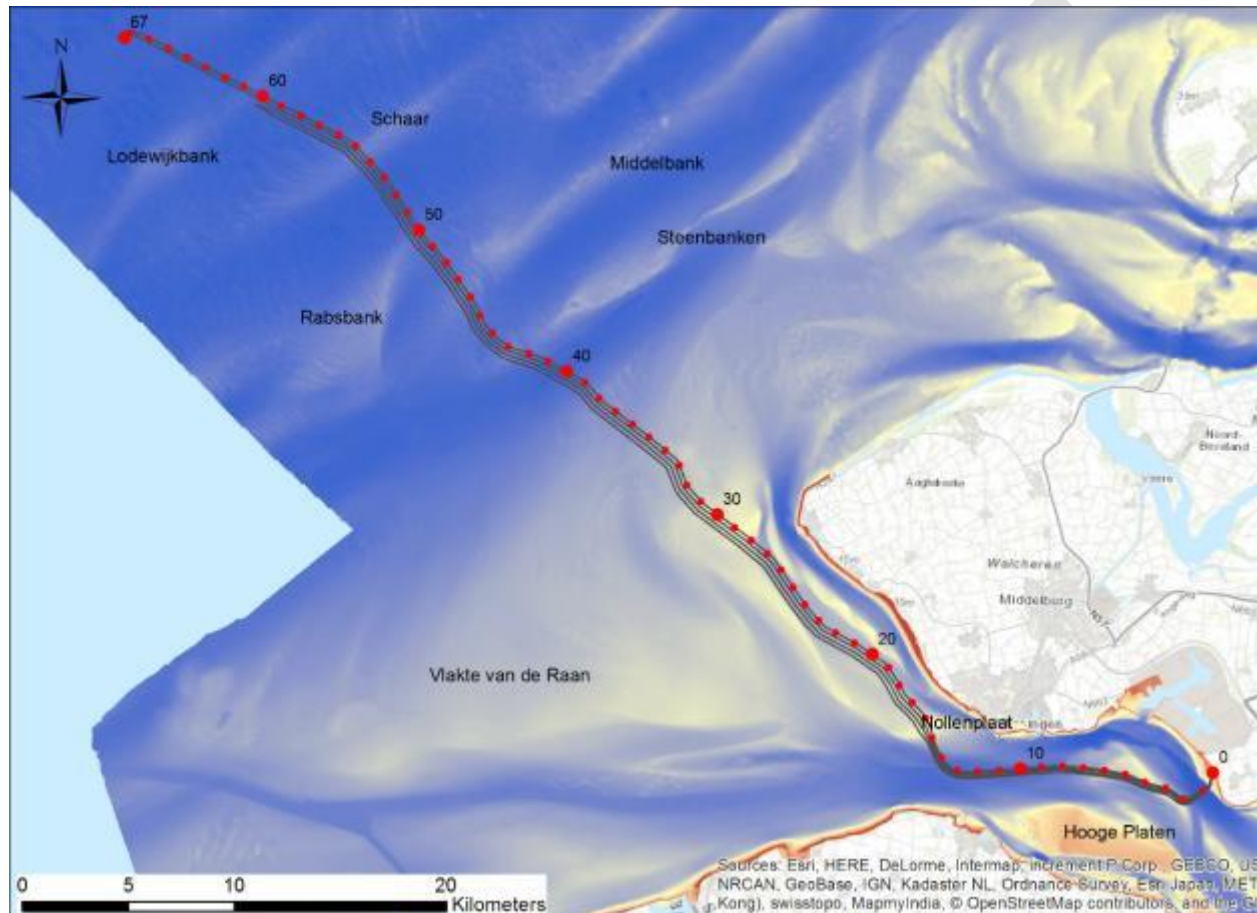
In deze notitie staat beschreven wat TenneT met de conclusies en aanbevelingen uit het rapport van de morfodynamica studie heeft gedaan in het kader van de aanbesteding voor de kabels.

2 Uitkomsten van de morfodynamica studie

2.1 Opzet van de studie

TenneT heeft een studie uit laten voeren door WaterProof naar de hoeveelheid onderhoud op de begraafdiepte die over de levensduur van de kabels nodig zou zijn ten gevolge van de morfodynamica langs de kabelroute. Het onderhoudsbezwaar over de levensduur is uitgerekend voor verschillende initiële begraafdiepten en voor verschillende herbegraafmethoden. Voor het vaststellen van de morfodynamische

veranderingen van het zeebed over de tijd is zowel naar het verleden als naar de toekomst gekeken. Het verleden is bestudeerd aan de hand van de dieptepeilingen langs de route vanaf 1964 tot heden en de toekomst is bestudeerd met behulp van computermodellen voor stromingen en morfodynamische ontwikkelingen, waarbij gerekend is tot 2057. Gerekend is met het model Simona Kustzuid-2004-v3 voor de waterstanden en stromingen in het gebied waar de kabels zullen worden geïnstalleerd en met het SEDTUBE model voor morfologische ontwikkelingen.



Figuur 1 Overzicht van de Borssele kabelroutes

Als onderdeel van de studie is berekend hoe diep de kabel begraven zou moeten worden tijdens de aanleg om over de levensduur niet dichterbij zeebedoppervlakte te komen. Wanneer de kabel initieel op die diepte begraven zou worden, dan zou het onderhoudsbezwaar over de levensduur minimaal moet zijn.

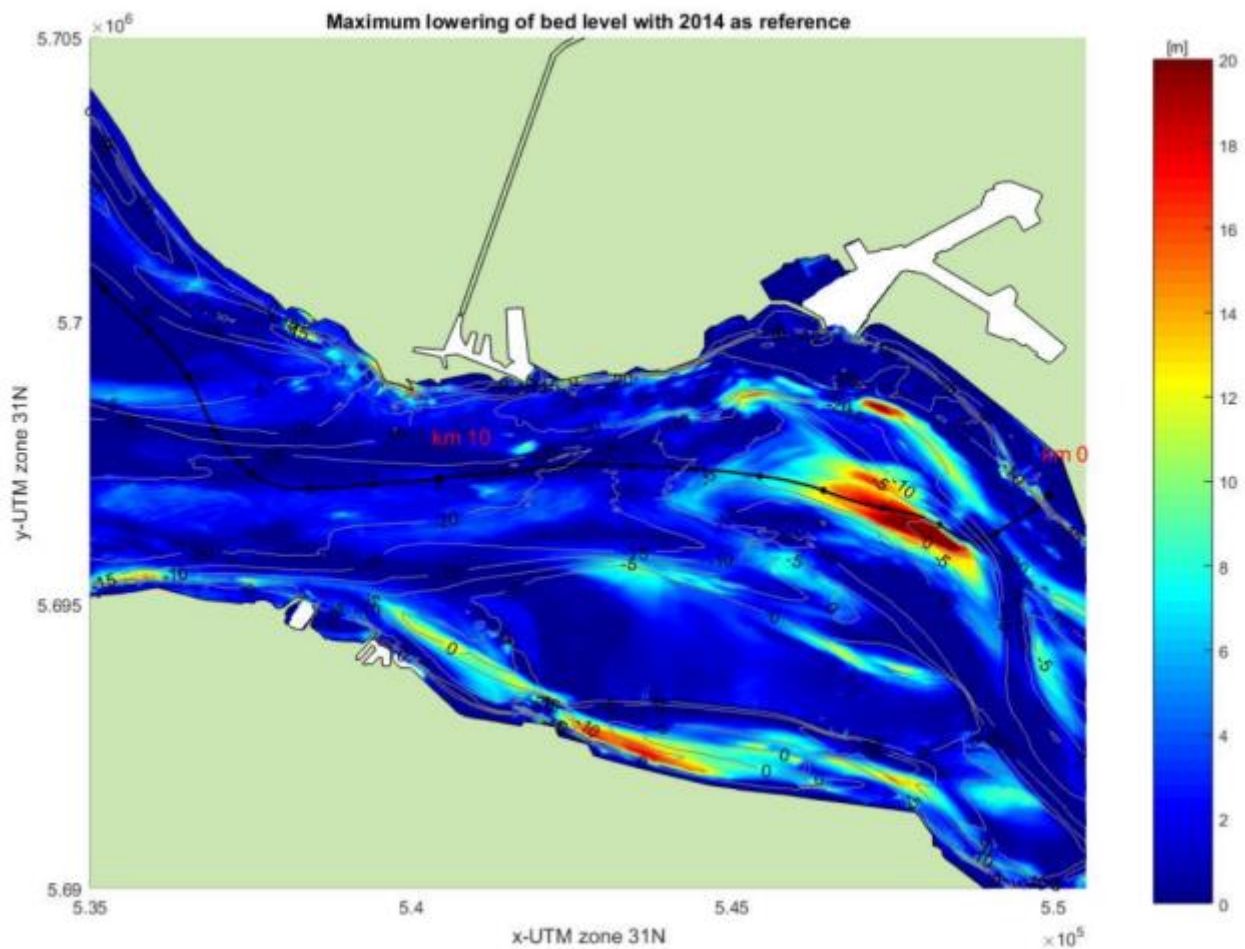


Figuur 2 Het deel van de kabelroutes in de Westerschelde en voor de kust van Borssele

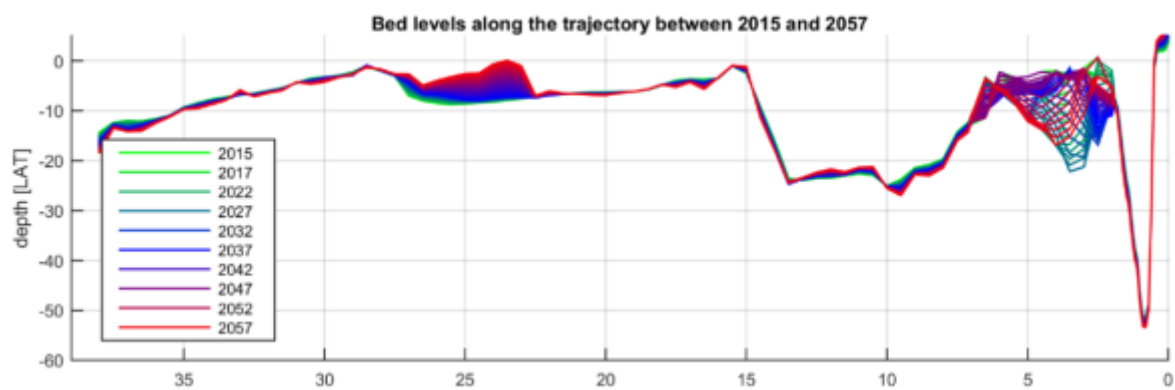
2.2 Maximale begraafdiepte in zand

Bij de start van de studie werd nog uitgegaan van een maximale begraafdiepte van de kabels van 6 meter in zand. De studie heeft zich daarom ook gericht op het onderhoudsbezwaar met betrekking tot het voorkomen van een begraafdiepte van meer dan 6 meter over de levensduur van de kabel. Deze maximale begraafdiepte in zand is echter achterhaald (zie hieronder) en daarmee zijn de uitkomsten met betrekking tot het beperken van de begraafdiepte over de tijd tot maximaal 6 meter ook achterhaald.

Parallel aan de morfodynamica studie is door TenneT de maximale begraafdiepte in zand meer in detail onderzocht. Daartoe is aanvullend grondonderzoek verricht in de Westerschelde, tot 20m diep in mobiel zand, om de thermische weerstand van het zand op grotere dieptes beter te leren kennen. Ook is het model kritisch tegen het licht gehouden waarmee is vastgesteld wat een maximale begraafdiepte van een kabel is vanuit thermisch oogpunt. Uitkomst van deze parallelle studie naar de maximale begraafdiepte in zand is dat een begraafdiepte tot 22 meter in het soort mobiele zand dat in de Westerschelde voorkomt geen thermische beperking in de transportcapaciteit van de kabels op zal leveren. Daarmee is al het mogelijke onderhoud op de maximale begraafdiepte van de kabel komen te vervallen. Het onderhoudsbezwaar dat resteert, is het op diepte houden van de kabel.



Figuur 3 De berekende verlaging van het zeebed in de Westerschelde over de levensduur van de kabels



Figuur 4 De berekende liggingen van het zeebed in de Westerschelde en voor Walcheren over de levensduur van de kabels

2.3 Beperkingen aan de morfodynamica studie

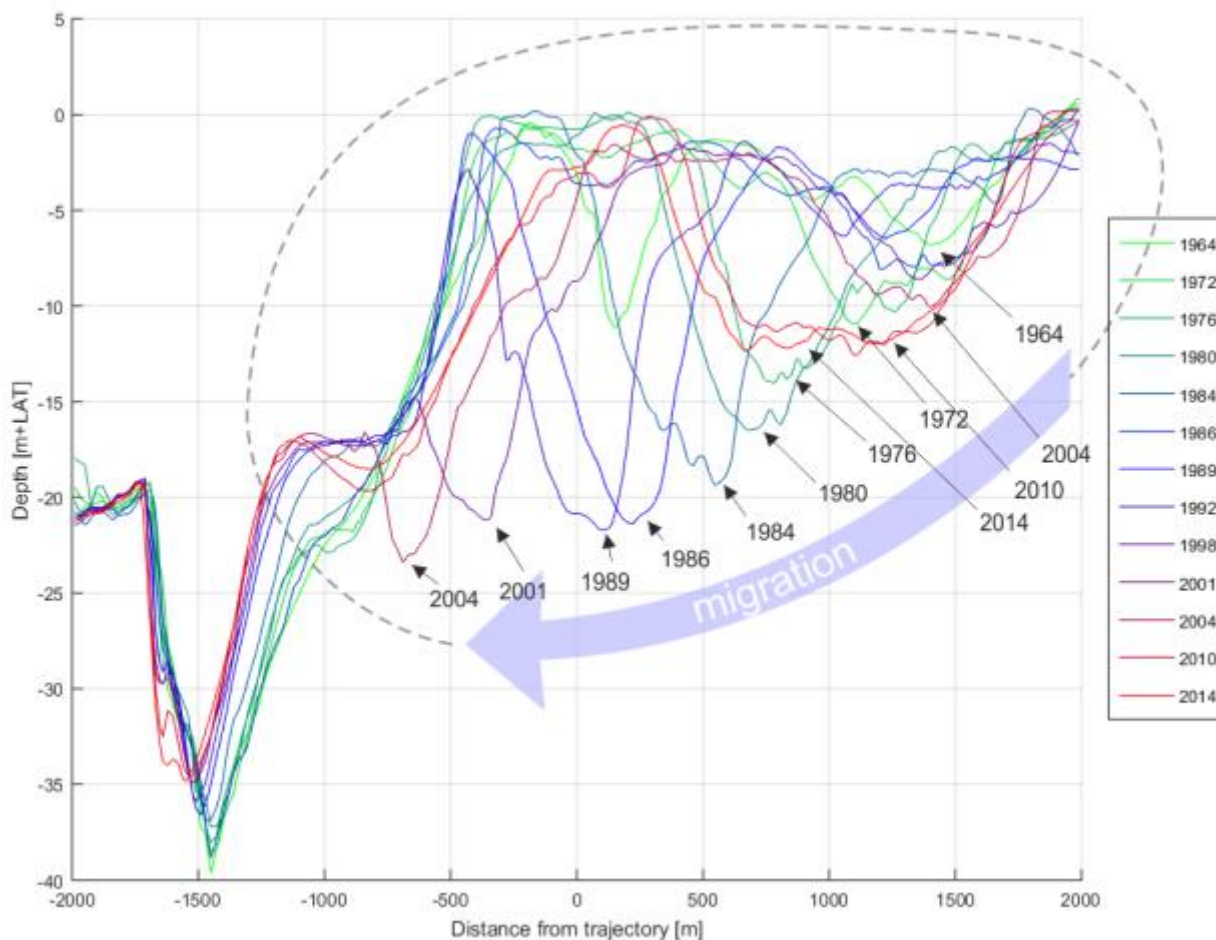
Veranderingen in het kombergingsoppervlak en in de diepte van de hoofdgeul hebben invloed op het stromingspatroon en op de stroomsnelheden in de Westerschelde en daarmee op de morfodynamische ontwikkelingen. De studie naar de morfodynamische ontwikkelingen langs de Borssele kabelroute is uitgegaan van het Westerschelde gebied zoals dat er op dit moment bijligt. In de studie is geen rekening gehouden met mogelijke veranderingen in het kombergingsoppervlak in de Westerschelde, wat het gevolg zou zijn van onderwaterzettingen van poldergebieden in het kader van natuurontwikkeling. Ook is er geen rekening gehouden met een nieuwe verdieping van de Westerschelde.

Reden dat deze ontwikkelingen niet in de modelstudies zijn meegenomen ligt in de onzekerheden rond deze ontwikkelingen. Het modelleren van de verschillende mogelijke veranderingen in het kombergingsoppervlak van de Westerschelde ten behoeve van berekeningen voor het onderhoudsbezwaar voor de Borssele kabels werd geacht te uitgebreid en te complex te zijn binnen het gestelde kader. Daarnaast zijn er goede mogelijkheden om eventuele veranderingen in het onderhoudsbezwaar ten gevolgen van veranderingen in het kombergingsoppervlak of in de vaargeuldiepte, ten opzichte van het berekende, op te vangen door middel van aanvullend onderhoud daar waar nodig. Dat aanvullende onderhoud langs delen van de kabelroute waar extra erosie op zou kunnen treden door de veranderde omstandigheden in het Westerschelde gebied, zou dan gelijktijdig met onderhoud uitgevoerd kunnen worden dat sowieso nodig zal zijn op de Spijkerplaat.

2.4 Uitkomsten van de morfodynamica studie

Uit de studie is gebleken dat langs vrijwel het gehele tracé van de Borssele kabels, met uitzondering van de Spijkerplaat, het onderhoudsbezwaar over de levensduur van de kabel geminimaliseerd kan worden binnen de huidige technische mogelijkheden op het gebied van het begraven van kabels in de zeebodem.

Voor de Spijkerplaat is een cyclische verandering van de ligging van de zeebodem over de levensduur van de kabel van tot 22 meter te verwachten. Initieel begraven van de kabel op 22 meter onder het zeebed valt buiten de grenzen van wat op het moment technisch haalbaar is, rekening houdend met beperkingen aan baggerwerk bij aanleg die volgen uit de vergunningen.



Figuur 5 Historische ontwikkeling van het zeebed ter hoogte van de Spijkerplaat: dwarsdoorsnede haaks op de kabelroute

2.5 Aanbevelingen van de morfodynamische studie

2.5.1 Maximale begraafdiepte

De eerste aanbeveling uit de studie is om de maximale begraafdiepte van de kabels nader te onderzoeken, omdat de begrenzing aan de begraafdiepte van de kabels leidt tot een significante hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk over de levensduur van de kabels. Een dergelijk onderzoek is door TenneT zelf, in voorbereiding op de aanbesteding van de Borssele kabels, uitgevoerd parallel aan de morfodynamica studie. De uitkomst van die studie is dat de kabels zonder ingrijpende aanpassingen in het ontwerp van de kabels tot 22 meter diep begraven kunnen raken in het type mobiele zand van de Westerschelde zonder dat de transportcapaciteit doordoor thermisch wordt beperkt. Omdat de begraafdiepte van de kabels in mobiel zand daarmee geen maximum waarde meer heeft, is de noodzaak tot onderhoudsbaggerwerk om de begraafdiepte beperkt te houden komen te vervallen.

2.5.2 Verleggen van de kabelroute bij de Spijkerplaat

De morfodynamica studie beveelt aan om de route van de kabel ter hoogte van de Spijkerplaat nog eens nader te beschouwen, omdat een iets zuidelijkere route tot minder onderhoud op de begraafdiepte kan leiden.

TenneT heeft in een eerder stadium de mogelijkheden onderzocht om de kabelroute ter hoogte van de Spijkerplaat meer naar het zuiden te verleggen. In overleg met RWS, de MOW, Haven van Antwerpen en Haven van Gent is deze route over de Spijkerplaat echter vastgelegd. Op basis daarvan zijn ook de vergunningaanvragen ingediend en is de kabelcorridor vergund. Begraafdiepte op de Spijkerplaat

De morfodynamica studie adviseert een zo groot mogelijke initiële begraafdiepte op de Spijkerplaat. TenneT heeft voor het begraven van de kabels in de Westerschelde een begraafdiepte van 10 meter onder het zeebed voorgeschreven in de aanbestedingsdocumenten. Dit is veel dieper dan de 3 meter die in de Watervergunning is voorgeschreven. 10 meter wordt geacht het maximaal haalbare te zijn binnen de grenzen van wat op dit moment technisch mogelijk is en van wat onder de vergunningen aan voorbereidend baggerwerk toelaatbaar is. Daarmee wordt het onderhoud op de begraafdiepte op de Spijkerplaat over de levensduur van de kabels niet voorkomen maar wel tot een haalbaar minimum beperkt.

2.5.3 Optimaliseren van de kabelroutes door de zandgolven

Op zee voor de kust van Walcheren doorkruisen de kabelroutes gebieden met mobiele zandgolven. Dit zijn een soort onderwaterduinen die zich door het getij gedreven met enkele meters per jaar langs de kust verplaatsen. De hoogte van deze zandgolven is tot enkele meters en daarmee een veelvoud van de begraafdiepte die ter plekke vereist wordt door de vergunningen. Om te voorkomen dat de mobiliteit van de zandgolven leidt tot het bloot komen te liggen van de kabels, zullen de zandgolven voorafgaande aan de installatie van de kabel op de kabelroute weggebaggerd worden. De kabels worden daarna begraven in het zand onder de mobiele zandgolven.

De morfodynamica studie adviseert om de route van de kabels in het gebied met de zandgolven binnen de beschikbare corridor te optimaliseren, zodanig dat de dalen tussen de zandgolven optimaal gevolgd worden door de kabel routes en dat het initiële baggerwerk in de zandgolven in omvang beperkt kan blijven. TenneT heeft het optimaliseren van de kabelroute in het gebied met de zandgolven onderdeel gemaakt van de voorbereidingsactiviteiten die door de aannemer uitgevoerd moeten gaan worden in het kader van de installatie werkzaamheden. TenneT werkt daarnaast ook zelf aan een optimalisatie van de route door het gebied met de zandgolven als vergelijkingsmateriaal voor de route optimalisatie van de aannemer. Alles uiteraard binnen de vergunde corridor.

3 Implementatie van de uitkomsten

3.1 Randvoorwaarden voor de installatie

3.1.1 Randvoorwaarden vanuit de vergunningen

Het baggerwerk dat uitgevoerd kan worden in voorbereiding op de installatie van de Borssele kabels wordt beperkt door de vergunningen. De belasting van het milieu ten gevolge van de vertroebeling die bij het baggeren optreedt, is daarvoor bepalend. Ten gevolge van deze beperking is het niet mogelijk om bij de aanleg van de kabels eerst een meer dan 12 meter diep kanaal door de Spijkerplaat te baggeren, zodat de kabels met een 10 meter lange installatie-jetlans tot 22 meter diep geïnstalleerd kunnen worden ter hoogte van de Spijkerplaat. Onderhoud op de begraafdiepte van de kabels op de Spijkerplaat gedurende de levensduur van de kabels is daardoor onvermijdelijk geworden.

3.1.2 Technische randvoorwaarden

Voor de installatie van de kabels wordt gezocht naar innovatieve begraafmethoden waarmee een zeer grote begraafdiepte gerealiseerd kan worden. TenneT heeft hiermee eerder ervaring opgedaan bij de aanbesteding van de COBRA kabel die tussen Nederland en Denemarken geïnstalleerd zal gaan worden. De COBRA kabel wordt in de Waddenzee door morfodynamische gebieden geïnstalleerd, vergelijkbaar met de situatie in de Westerschelde. Uit de aanbesteding van de COBRA kabel is gebleken dat een initiële begraafdiepte zonder baggeren van tot 10m in zand mogelijk wordt geacht. Voor de installatie van de Borssele kabels wordt uitgegaan van een vergelijkbare installatiemethode als de methode die op COBRA als meest gunstige naar voren is gekomen.

3.2 Initiële begraafdiepte van de kabels

In de aanbestedingsdocumenten voor de Borssele kabels is een begraafdiepte van maximaal 10m voorgeschreven voor de Spijkerplaat, rekening houdend met wat er maximaal mogelijk is met de technische middelen van dit moment en met de grenzen die door de vergunningen worden gesteld. Voor de overige secties van de Borssele kabels in het gebied van de Westerschelde en voor de kust van Walcheren wordt in de aanbestedingsdocumenten een begraafdiepte voorgeschreven die volgt uit morfodynamica studie, met als doel minimaal onderhoud op de begraafdiepte over de levensduur van de kabel. De grotere initiële begraafdiepte vormt dan een buffer waarmee bewegingen in het zeebed opgevangen kunnen worden en een minimale veilige begraafdiepte over een langere tijd zeker gesteld moet kunnen worden.

In de gebieden met zandgolven is een begraafdiepte gedefinieerd ten opzichte van een niet mobiel referentieniveau onder die zandgolven. Ook voor gebieden met zogenaamde “mega ribbels” is een niet mobiel referentievlak gedefinieerd ten opzichten waarvan de kabels begraven moeten worden. Mega ribbels zijn ribbels op het zeebed van tot ongeveer een meter in hoogte die gevormd worden onder invloed van de golven aan het wateroppervlakte. Door het definiëren van een referentieniveau voor het begraven van de kabels onder de mobiele zandgolven en mega ribbels wordt de invloed van mobiele zandgolven en mega ribbels op de begraafdiepte van de Borssele kabels over de levensduur van de kabels tot een praktisch minimum beperkt.

3.3 Route optimalisatie en zandgolven

De kabelsecties vanaf de kust van Walcheren tot aan de platformlocaties op zee doorkruisen gebieden met zandgolven. In dat gebied zal een optimalisatie uitgevoerd worden op de kabelroute om daarmee de kabels zo veel mogelijk door de dalen tussen de zandgolven in te voeren en om de baggervolumes in de zandgolven te beperken. Daar waar toch zandgolven worden gekruist, zal voorafgaande aan het begraven van de kabels een corridor door de zandgolven worden gebaggerd. De kabels zullen begraven worden onder de mobiele zandgolven. De invloed van de mobiliteit van de zandgolven op de begraafdiepte van de kabels zal daarmee beperkt worden, waardoor onderhoud op de begraafdiepte minimaal zal zijn.

Ook daar waar op de kabelroutes obstakels als bijvoorbeeld ongesprongen explosieven, scheepswrakken en andere objecten liggen, zal de route geoptimaliseerd worden. Binnen de grenzen van de kabelcorridor, zoals die in de Watervergunning is opgenomen, zal gezocht worden naar een route die de aangetroffen obstakels zo veel als mogelijk uit de weg gaat. Alleen wanneer ontwijken niet mogelijk blijkt te zijn zal een obstakel geruimd of anderszins verwijderd worden.

4 Onderhoud van de begraafdiepte van de kabels

4.1 Monitoren van de begraafdiepte

Tijdens het gebruik van de kabels zal de begraafdiepte van de kabels periodiek worden opgemeten. De minimale frequentie voor het opmeten van de begraafdiepte van de kabels is vastgelegd in de Watervergunning. Tijdens de eerste jaren van het gebruik zal halfjaarlijks een dergelijke opmeting worden uitgevoerd in de Westerschelde. Voor de Noordzee geldt een jaarlijkse frequentie. Aan de hand van de opgemeten ontwikkelingen in de begraafdiepte van de kabels ten gevolge van de zeebedmobiliteit zal de frequentie van het opmeten aangepast kunnen worden. Bij een stabiele diepteligging of bij een toenemende diepteligging kan er een verzoek ingediend worden bij het bevoegd gezag tot een lagere opmeetfrequentie.

Het opmeten van de diepte van een elektriciteitskabel onder de zeebodem is een vrij omvangrijke onderneming, waarbij gebruik gemaakt wordt van state of the art kabeldiepte opmeetapparatuur. TenneT heeft met het opmeten van de begraafdiepte van elektriciteitskabels in de zeebodem uitgebreide ervaring opgedaan, bijvoorbeeld op de BritNed en de NorNed interconnector-kabels. Als afronding van de installatiewerkzaamheden zal de gerealiseerde begraafdiepte van de Borssele kabels met geschikte state-of-the-art apparatuur ingemeten worden. Die metingen zullen vergeleken worden met installatiediepte van de kabels zoals die gemeten is tijdens het installeren. Daar waar de kabels voorbij de detectiegrens van de huidige state of the art inmeetapparatuur begraven zijn, zal de installatiediepte aangehouden worden. Op dit moment is het mogelijk om geïnstalleerde kabels tot een diepte van ongeveer 8 meter onder het zeebed te detecteren wanneer er op die kabel een detectiesignaal wordt gezet. Dat zal ook gebeuren voor de opmeting van de gerealiseerde initiële begraafdiepte van de Borssele kabels direct na de installatie.

Met behulp van de opmeting na installatie zal vastgelegd worden wat de absolute diepteligging van de kabels is. De begraafdiepte-opmetingen die gedurende de gebruiksfase uitgevoerd zullen gaan worden, zullen bestaan uit het opmeten van de actuele diepteligging van het zeebed en het vervolgens uitrekenen van de lokale relatieve begraafdiepte van de kabels. Over de wijze van het vaststellen van de begraafdiepte van kabel op zee wordt door TenneT overleg gevoerd met het bevoegd gezag. Het bevoegd gezag wordt door TenneT ook actief betrokken bij de ontwikkelingen in het opmeten van de begraafdiepte van elektriciteitskabels op zee.

4.2 Herbegraven in zand en slappe klei

Er kunnen twee verschillende aanleidingen zijn tot het herbegraven van kabels op zee. Allereerst kunnen de morfodynamische ontwikkelingen van het zeebed aanleiding geeft tot herbegraven. De begraafdiepte van de kabels kan minder dreigen te worden dan noodzakelijk om de veiligheid van de kabels en van andere gebruikers van de zee te kunnen verzekeren. Dan is herbegraven nodig. Voorbeeld hiervan is het herbegraven van elektriciteitskabels ten noorden van de Duitse Waddeneilanden waarvan de begraafdiepte door morfodynamische ontwikkelingen, bijvoorbeeld het voorbijtrekken van een mui (geul onderwater waardoor terugtrekkend water naar zee terugstroomt) over de kabelroute voor een Waddeneiland, niet meer aan de locale eisen voldoet.

Daarnaast kan het ook nodig zijn om kabels te herbegraven omdat ontwikkelingen in het gebied daartoe aanleiding geven, wanneer daar niet al bij de initiële installatie rekening mee is gehouden. Bijvoorbeeld wanneer een vaargeul verder uitgediept zal gaan worden om aan schepen met een grotere diepgang dan voorheen toegang te verschaffen tot achterliggende havens. Ook dan is herbegraven noodzakelijk. Voorbeeld hiervan is het herbegraven van de NorNed interconnectorkabel in de Westereems ten noorden van Rottumeroog, dat in april en mei 2016 in uitvoering is, in verband met de plannen om de vaargeul daar te verdiepen. Voor de installatie van de Borssele kabels is rekening gehouden met een verdere verdieping van de vaargeul van de Westerschelde, waartoe de kabels op de kruisingen met de vaargeul onder LAT -25 meter geïnstalleerd zullen worden.

Voor het herbegraven van elektriciteitskabels op zee staan verschillende technieken ter beschikking. TenneT bouwt op het moment ervaring op met de geschiktheid en de technische mogelijkheden van die technieken in de Nederlandse en Duitse grondomstandigheden. De grondomstandigheden langs de Borssele kabels komen overeen met wat elders langs de Nederlandse en Duitse kust wordt aangetroffen. Voor herbegraven van kabels in niet cohesief zand en slappe klei kan gebruik gemaakt worden van een onderwaterrobot (Remotely Operated Vehicle, ROV) met jetzwaarden waarmee het zeebed gefluïdiseerd wordt. De kabel zinkt dan naar een grotere diepte weg.



Figuur 6 Een typische ROV jettrencher: de T1200 van Canyon

Een nog effectievere methode van herbegraven is de zogenaamde Mass Flow Excavation (MFE) waarbij een waterstraal met een groot debiet en een lage druk gebruikt wordt om lokaal het zand of slappe klei los te maken, waardoor de kabel dieper in de grond in kan zakken. Daarmee kunnen grotere herbegraafdiepten worden bereikt dan met een jettrencher. MFE is succesvol toegepast om de BritNed kabel bij de aanleg dieper te begraven dan met een ROV jettrencher mogelijk bleek. MFE is recentelijk (2015) succesvol toegepast om de NorNed kabel in de Waddenzee te herbegraven en (2016) om de NorNed kabel in de Westereems dieper te begraven ten behoeve van het verdiepen van de Westereems.



Figuur 7 Mass Flow Excavation zoals toegepast door van Oord om de NorNed kabel te herbegraven

Onderzoek uitgevoerd in opdracht van TenneT [Svašek, 25-10-2015, "Environmental impact cable maintenance methods" 1782/U15294/C/SPo] heeft laten zien dat de vertroebeling die optreedt tijdens jettrenchen en tijdens MFE met elkaar vergelijkbaar is en ordes kleiner is dan de vertroebeling die optreedt tijdens baggeren. De invloed op het milieu door het optreden van vertroebeling bij het herbegraven van kabels op zee wordt zodanig beperkt geacht dat het bevoegd gezag geen aparte vergunningen vereist voor het herbegraven van de kabels.

4.3 Herbegraven in stijve klei en sterk veen

De elektriciteitskabels voor de Borssele windmolenparken zullen op zee en in de Westerschelde ook op enkele plekken begraven moeten worden in pakketten met klei en veen. Voor het gebied van de Westerschelde gaat het om ongeveer 25% van de kabelroute. Een groot deel van die klei en veen is zacht en zwak genoeg om installatie met een jettrencher mogelijk te laten zijn, eventueel met een jettrencher met meer hoge druk jets binnen de grenzen van wat nu op de markt beschikbaar is. Een kleiner deel van de klei en veen zal te stijf en sterk zijn voor begraven van de kabels met een jettrencher. Die stukken van de kabels zullen initieel op een andere manier begraven worden, bijvoorbeeld met een kettingfrees of met behulp van een ploeg. Dergelijke installatiemethoden zijn echter niet geschikt voor het herbegraven van de kabels omdat bij dergelijke begraafmethoden de kabel door de machine geleid moet worden. Een eenmaal begraven kabel kan niet meer door een machine geleid worden omdat die kabel nu eenmaal in de grond vast zit. Voor herbegraven van kabels resteren daarom enkel methoden die de kabels niet op hoeven te pakken. Voor het herbegraven van kabels in stijve klei zijn op dit moment beperkte middelen beschikbaar op de markt. Stijve klei biedt echter een goede bescherming aan kabels. Stijve klei is ook niet onderhevig aan

morfodynamische ontwikkelingen die relevant zijn op de levensduur van de kabels. Stijve klei erodeert daarvoor te langzaam. Mocht het al zo zijn dat de begraafdiepte in stukken met stijve klei niet meer aan de gestelde voorwaarden voldoet, dan is het plaatsen van een steenstorting op die plekken een zeer geëigende methode om de bescherming van de kabels te vergroten. Met het plaatsen van steen op kabels om de kabels te beschermen is uitgebreide ervaring. Ter plekke van kruisingen met andere kabels en leidingen op de bodem van de zee zijn steenstoringen de gebruikelijke veelvuldig toegepaste methode om kabels te beschermen.

4.4 Verdiepen van de vaarweg in stijve klei of sterk veen

Herbegraven van kabels in stijve klei of sterk veen zal alleen noodzakelijk zijn wanneer het zeebed door de mens verlaagd zal worden, bijvoorbeeld in verband met het uitdiepen van een vaarweg. Dat is voor de Borssele kabels mogelijk het geval bij het kruisen van de vaarweg op de Rede van Vlissingen. Om daar een juiste diepteligging bij aanleg te kunnen verzekeren, ongeacht mogelijke aanwezigheid van stijve klei of sterk veen, voorziet de aanpak van het installeren in een zogenaamde “pretrenching run” voor dit stuk van de route. Daarbij zal het beoogde begraafapparaat eerst door de grond gehaald worden zonder kabel. Wanneer het dan niet mogelijk blijkt om op de benodigde diepte door de grond te komen, zal een andere methode van installeren toegepast moeten worden. Bij de aanbesteding van het project is met een dergelijke alternatieve installatiemethoden voor stijve klei bij de kruising met de vaarweg op de Rede van Vlissingen al rekening gehouden. Mogelijkheden zijn bijvoorbeeld de inzet van een kettinfrees of het uitbaggeren van een gleuf tot de vereiste begraafdiepte voorafgaande aan de installatie van de kabels.

Wanneer de Westerschelde door de mens onvoorzien verder verdiept zal worden op een plek waar de Borssele kabels in stijve klei of sterk veen begraven zijn, dan zal er op dat moment gezocht moeten worden naar een dan beschikbare techniek om de kabels daar en in die grondomstandigheden dieper te herbegraven. Gedacht zal moeten worden aan het inzetten van een jettrencher met een grotere waterjetdruk dan tot nu toe gebruikelijk. Op dit moment is een effectieve waterjetdruk op de jetzwaarden van tot in de orde van 10 bar gebruikelijk. Recente proefnemingen in Duitsland hebben laten zien dat met een waterjetdruk van rond de 20 bar op de jetzwaarden ook keileem gesneden kan worden, zij het bij een erg lage voortgangssnelheid. Keileem is harder dan de klei die in de Westerschelde aangetroffen wordt. Proefnemingen tijdens de aanleg van de BritNed kabel hebben aangetoond dat waterjetdrukken van in ieder geval tot 30 bar veilig toegepast kunnen worden op zeekabels. Daarmee is het herbegraven van kabels in stijve klei of sterk veen met behulp van een hogere waterjetdruk dan tot nu toe gebruikelijk een kansrijke oplossingsrichting.

Een herbegraafmethode voor harde klei en sterk veen die nu al ingezet kan worden is het installeren van een nieuw stuk kabel op de gewenste diepte parallel aan de bestaande kabel. Dat nieuwe stuk kabel moet dan aan weerszijden van de vaarweg verbonden worden aan de bestaande kabel. Het bestaande stuk kabel in de vaarweg moet dan verwijderd worden. Dat is een omvangrijke operatie, die echter zeer goed vergelijkbaar is met het repareren van een kabel die beschadigd is geraakt tijdens het gebruik.

5 Samenvatting

1. De kabels die de Borssele windmolenparklocaties met het elektriciteitsnetwerk op land zullen gaan verbinden, zullen begraven worden in een mobiel zeebed. De mobiliteit van het zeebed kan de begraafdiepte van de kabels toe laten nemen of af laten nemen.
2. Bij de installatie van de kabels wordt met de zeebedmobiliteit rekening gehouden. Daartoe is de mobiliteit van het zeebed vanaf 1964 tot heden bestudeerd en is de ontwikkeling van het zeebed tot 2057 voorspeld met behulp van een computermodel.
3. Tijdens het installeren van de kabels zal rekening gehouden worden met de voorspelde ontwikkelingen van het zeebed. Waar dat nodig is en waar het technisch en binnen de grenzen van de vergunningen mogelijk is zal de kabel initieel zodanig diep worden begraven dat het onderhoud op de begraafdiepte tot een minimum zal worden beperkt.
4. Onderhoud op de begraafdiepte van de kabel over de levensduur ter hoogte van de Spijkerplaat is niet te voorkomen bij de huidige stand van de techniek en gegeven de beperkingen gesteld aan het baggeren ten behoeve van een diepere installatie.
5. Het computermodel waarmee de ontwikkelingen van het zeebed over de levensduur van de kabel zijn voorspeld gaat uit van het huidige kombergingsoppervlak van de Westerschelde en van de bestaande vaargeuldiepten. Ontwikkelingen als het mogelijk ontpolderen van gebieden in de Westerschelde en het verder verdiepen van de Westerschelde zijn niet in het model meegenomen. Eventuele nadelige effecten van dergelijke ontwikkelingen in het Westerscheldegebied op de begraafdiepte van de kabels kunnen echter wel opgevangen worden met het voorziene onderhoud op de begraafdiepte van de kabels ter hoogte van de Spijkerplaat.
6. Een parallelle studie heeft ervoor gezorgd dat de eerdere veronderstelde maximale begraafdiepte van de kabels in zand van 6 meter is komen te vervallen. Daarmee is onderhoud van de begraafdiepte in de zin van het beperken van de begraafdiepte in zand tot maximaal 6 meter komen te vervallen.
7. De aanbevelingen die gedaan worden in de morfodynamica studie zijn overgenomen daar waar dat mogelijk is binnen de kaders die gesteld worden door de vergunningen.
8. Het verleggen van de kabelroute naar een minder mobiele route in de Westerschelde is niet overgenomen, omdat een dergelijke route buiten de vergunde corridor valt. De complicaties van het trachten te veranderen van de vergunde corridor worden niet geacht op te wegen tegen de relatief geringe vermindering in het onderhoudsbezwaar op de begraafdiepte van de kabels op de verlegde route.
9. In de gebieden met mobiele zandgolven zullen de kabelroutes binnen de vergunde corridor geoptimaliseerd worden zodanig dat de dalen tussen de zandgolven waarmogelijk gevolgd zullen worden en het baggerwerk in de zandgolven geminimaliseerd kan worden.
10. Doordat de vergunningen grenzen stellen aan het hoeveelheid baggerwerk bij de aanleg, vanuit het oogpunt om de belasting van het milieu door de optredende vertroebeling te beperken, en omdat bij de huidige stand van de techniek kabels niet dieper dan 10 meter in het zeebed begraven kunnen worden, is het niet mogelijk om op de Spijkerplaat onderhoud op de begraafdiepte van de kabel te voorkomen.
11. Langs de overige delen van de kabel routes kan het onderhoud op de begraafdiepte over de levensduur tot een minimum beperkt blijven wanneer gebruik gemaakt wordt van de op dit moment beschikbare installatietechnieken waarmee een groter initiële begraafdiepte bereikt kan worden. De grotere initiële begraafdiepte vormt dan een buffer waarmee bewegingen in het zeebed opgevangen kunnen worden en een minimale veilige begraafdiepte over een langere tijd zeker gesteld moet kunnen worden.
12. Voor het begraven van de kabels is een referentieniveau gedefinieerd onder de mobiele zandgolven en mega ribbels. Daardoor wordt de invloed van de mobiliteit van de zandgolven en de mega ribbels op de begraafdiepte van de kabels over de levensduur beperkt.

Seabed mobility based burial depth assessment Borssele cable

TenneT TSO B.V.

19-04-2016, final

Reference order specification: ONL-TTB-03112

Titel

Seabed mobility based burial depth assessment, Borssele cable

Client

TenneT TSO B.V.

Reference

WP2015_01013_R1r4

Keywords

Cable burial, sand waves, dredging, sand transport, morphology, offshore wind farm, Borssele.

Summary

The Dutch government has designated three areas in the Dutch North Sea for offshore windfarm development. The first area to be developed is the Borssele Wind Farm Zone (BWFZ). The subsea power cables are to be buried into the seabed to protect them against external threats. The seabed along the cable route however is mobile. Erosion and accretion constantly change the level of the seabed. As a result, the depth of burial of the subsea power cables changes over time.

The main objective of this study is to quantify the expected amount of maintenance on the depth of burial of the subsea power cables that is needed throughout the 40-year life span of the 5 cables, as a result of the dynamic morphology in the project area. The required maintenance has been calculated for two phases: (1) in case that the cables would have been buried in 1974 and (2) in case they are buried in 2017. Also, two maintenance requirements are considered: (1) to increase the depth of burial (reburial via e.g. trenching) for protection of the cable and; (2) to decrease the depth of burial (lowering the seabed above the cable by means of dredging in case required) to ensure sufficient heat exchange of the cable.

It is concluded that both phases result in comparable reburial maintenance requirements. The study shows that especially attention should be drawn to the area where the cables cross the Spijkerplaat. This very morphological active sand bank has a large effect on the maintenance requirements and optimal installation depth.

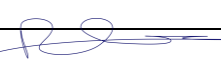
Version	Date	Author	Review & approval
1.0	14-12-2015	L.M. Perk MSc	R.S. Snoek MSc
2.0	25-03-2016	L.M. Perk MSc	R.S. Snoek MSc
3.0	07-04-2016	L.M. Perk MSc	R.S. Snoek MSc
4.0	19-04-2016	L.M. Perk MSc 	R.S. Snoek MSc 

TABLE OF CONTENTS

Table of contents	5
List of abbreviations	7
1 General	8
1.1 Background	8
1.2 Objective	10
1.3 Approach	10
1.4 Applied models	11
2 Description of Project area	13
2.1 Location and route	13
2.2 Available bathymetric data	15
2.2.1 Data sets used in this study	15
2.2.2 Quality of the data sets	15
2.3 Hydrodynamics	17
2.3.1 Water levels	17
2.3.2 Flow velocities	17
2.4 Morphodynamics	19
2.4.1 General	19
2.4.2 Sandwaves on top of Zeelandbanken (KP 67 – KP 38)	20
2.4.3 Vlake van de Raan and Voordelta (KP 38 – KP 15)	23
2.4.4 Western Scheldt (KP 15 – KP 0)	26
2.4.5 Morphodynamics along trajectory	32
2.5 Dredging volumes navigation channel Western Scheldt	34
3 Phase 1: First assessment of maintenance requirements	35
3.1 Introduction	35
3.2 Starting points	35
3.3 Approach	37

3.4	Sedimentation in the trench above the cable	40
3.5	Results	43
3.5.1	Introduction	43
3.5.2	Capital dredging for cable installation	43
3.5.3	Maintenance needs kilometre 0 - 38, Western Scheldt & Voordelta	45
3.5.4	Sensitivity analysis	49
4	Phase 2: Detailed assessment of maintenance requirements	51
4.1	Introduction	51
4.2	Empirical bed level evolution prediction tool	51
4.2.1	Introduction	51
4.3	Predicted bed level evolution Zeelandbanken, KP 38 - 67	53
4.3.1	Approach	53
4.3.2	Statistical analysis	56
4.3.3	Predicted bed levels along the trajectory (KP 38 – 67)	60
4.4	Predicted bed level evolution Westerschelde & Vlakte van de Raan, KP 0 - 38	63
4.4.1	Prediction method applied to KP 7.5 – KP 38, Vlakte van de Raan, Rede van Vlissingen	63
4.4.2	Prediction method applied to KP 2 – KP 7, Spijkerplaat	66
4.4.3	Prediction method applied to KP 0 – KP 2, Honte channel	69
4.4.4	Predicted bed levels along the trajectory (KP 0 – 38)	70
4.5	Estimation of future maintenance requirements; cable burial in 2017	71
4.5.1	Sand waves area, KP 38 - 67	71
4.5.2	Sensitivity analysis	75
4.5.3	Westerschelde & Vlakte van de Raan, KP 0- 38	76
4.5.4	Sensitivity analysis	81
4.5.5	Comparison with results of Phase 1 and accuracy of the results	83
4.6	Optimal installation depth with lowest reburial requirements	84
5	Phase 3: Comparison results with ARCADIS study	85
5.1	comparison results with ARCADIS study	85
6	Conclusions & Recommendations	86
6.1	Conclusions	86
6.2	Recommendations	91
7	References	93

LIST OF ABBREVIATIONS

BWFZ	-	Borssele Wind Farm Zone
CAPEX	-	Capital Expenditures
DGPS-RTK	-	Digital Global Positioning System – Real Time Kinematic
HW	-	High water
KP	-	Kilometre Point
LAT	-	Lowest Astronomical Tide
LW	-	Low water
MSL	-	Mean Sea Level
OPEX	-	Operational Expenditures
RWS	-	Rijkswaterstaat

1 GENERAL

1.1 BACKGROUND

The Dutch government has designated three areas in the Dutch North Sea for offshore windfarm development. The first area to be developed is the Borssele Wind Farm Zone (BWFZ). The BWFZ is part of the development of Offshore Wind Energy as agreed on in the Agreement on Energy for Sustainable Growth (2013). Part of this agreement is the production and installation of 220 kV high voltage export cables in the seabed between the mainland near Borssele and the BWFZ as well as a 66 kV high voltage redundancy cable between the two platform locations (see Figure 1.1).

One of the objectives of the Agreement on Energy for Sustainable Growth is the reduction of total costs, including installation (CAPEX) and maintenance/operational (OPEX) costs. For the production and installation of the offshore cable, the total costs over the entire design life span (40 years) are considered.

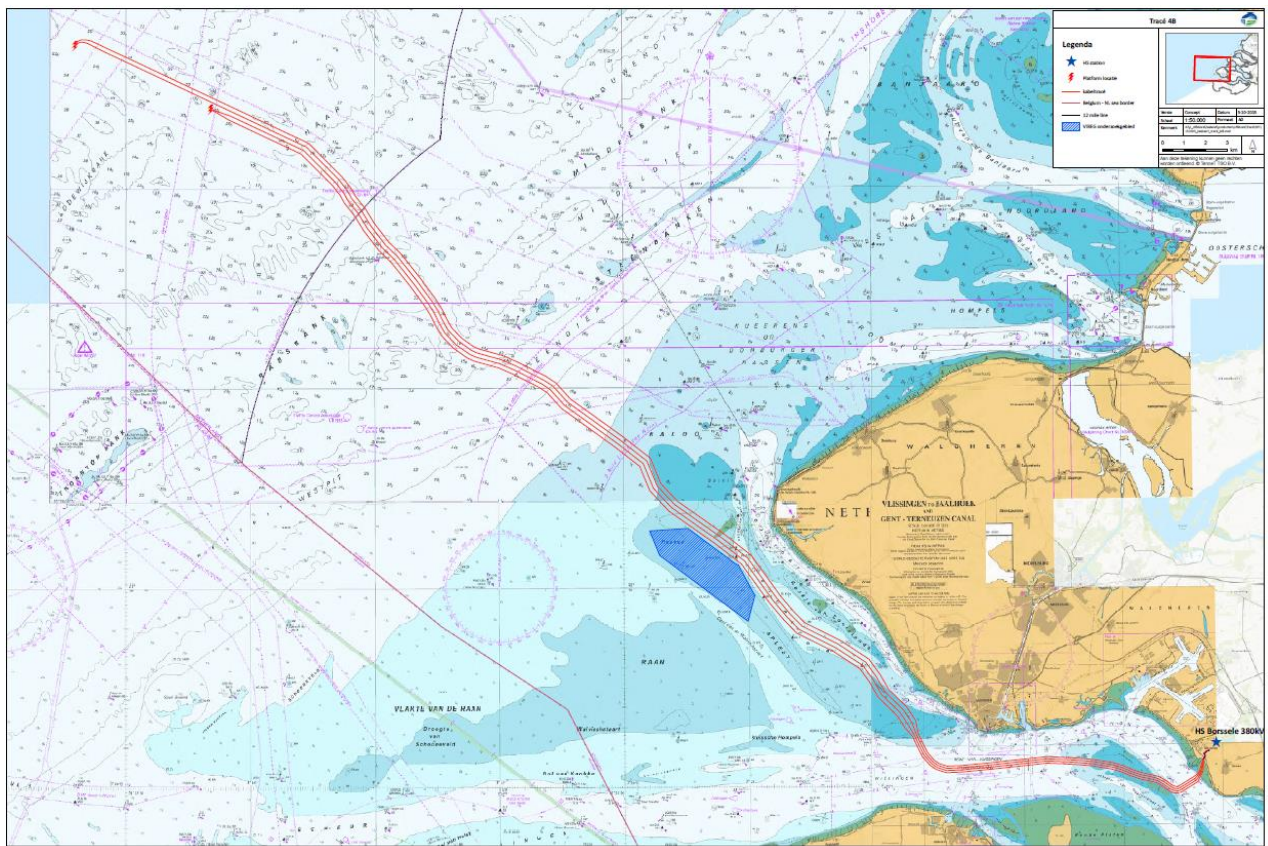


Figure 1.1: Borssele cable trajectory

The subsea power cables are to be buried into the seabed to protect them against external threats, as for instance fishing activities and erroneous anchoring, as well as to protect other users of the sea against hooking behind a cable, for instance with fishing gear. The seabed along the cable route however is mobile. Erosion and accretion constantly change the level of the seabed. As a result, the depth of burial of the subsea power cables changes over time. At some locations this will result in an increase in the depth of burial, in other locations in a decrease of the depth of burial.

Erosion of the seabed results in a reduction of the depth of burial. A significant reduction of the depth of burial can require maintenance on the depth of burial: the cables would have to be reburied along those sections where the protection provided by the burial has become less than acceptable. The risk on exposures of the cable as well as maintenance on the depth of burial over the lifetime can be reduced by an increased depth of burial during the installation. Deeper installation increases the installation costs (CAPEX) and reduces the maintenance costs (OPEX).

The subsea power cables heat up when in use. Heat needs to be transferred to the surrounding of the cable to maintain the design transportation capacity. Therefore, the depth of burial has a maximum value, as the surrounding sediment needs to be cooled by the flow of seawater. The maximum depth of burial due to heating is related to the specific design of the cables. The increase of the depth of burial by means of sedimentation could result locally in burial depths beyond the maximum design depth of burial of the cables. To overcome over heating of the cables, a different design of the cables would be needed for the applicable sections where accretion can result in overheating. For instance, larger conductors or copper instead of aluminium for its conductors. A dedicated cable design for increased burial depths bears additional costs (CAPEX).

Maintenance on the depth of burial requires reburial of the cables into the seabed or, if the cable has a maximum depth of burial, dredging soil away from the cable to reduce the cover where needed. The NorNed cable has been reburied recently in the Waddenzee area. Reducing the cover of a subsea power cable in order to avoid over heating does not have a track record with TenneT. The OPEX costs associated with reburial of a subsea power cable as well as the costs associated with a reduction of the cover on a cable are to be considered significant. In addition to that dredging to reduce the cover on a cable is to be assessed from an environmental point of view if the dredging quantities required appear to be significant.

To optimize and minimise the total costs over the life span of the cable, a CAPEX-OPEX assessment will be executed in which both the capital and operational expenses and costs will be assessed in relation to each other. This underlying study provides important information to this CAPEX-OPEX assessment; for a number of subsea power cable installation alternatives both the investment requirements for installation and the total maintenance requirements will be calculated. This will help in finding the most economical total costs during the entire life span of the cable.

1.2 OBJECTIVE

The main objective of this study is to quantify the amount of expected maintenance on the depth of burial of the subsea power cables that is needed throughout the 40-year life span of the 4 cables, as a result of the dynamic morphology in the project area. To do so, the main objective is divided into two parts:

1. Determine the necessary maintenance requirements per kilometre for (1) different initial burial depths and reburial depths based on available historical bathymetric data (1974-2014) and (2) in case the cables would have been buried in 1974. Two maintenance requirements are considered; (1) requirements to increase the depth of burial (reburial via i.e. trenching) and (2) to decrease the depth of burial (lowering the seabed above the cable by means of dredging in case required)
2. Assess how the bathymetry in the project area will evolve in the coming 40 years and quantify the necessary maintenance requirements based on the predicted morphologic evolution between 2017 and 2057.

1.3 APPROACH

The first task of this study is to acquire the historic bathymetric information of the Western Scheldt and North Sea and to investigate the hydrodynamics and morphodynamics in the area. In Chapter 2 the project area is described, hydrodynamics are presented and the historical morphologic behaviour of the seabed along the cable trajectory is mapped.

The bathymetric data is thoroughly analysed in two phases in order to derive the expected maintenance requirements. In phase 1, the maintenance requirements are calculated for the hypothetical scenario that the cable was installed in 1974 and maintained until 2014. In phase 2, the historical seabed behaviour is used to predict the position of the seabed in the coming 40 years (2017- 2057).

The approach and results of phase 1 are described in Chapter 3. The minimum depth of burial requirement considered for this study states that the cable should be positioned at least 1.0 m below the seabed, resulting in reburial needs in case the depth of burial becomes less than 1.0 m. The maximum depth of burial requirement states that the cable cannot be positioned deeper than 6.0 m below the seabed (in areas with mobile sand) due to insufficient temperature transmission to the surrounding of the cable. At locations where the depth of burial becomes larger than 6.0 m, the seabed above the cable needs to be lowered by means of dredging.

The approach and results of phase 2 are described in Chapter 4. The historical seabed behaviour is used to predict the position of the seabed in the coming 40 years (2017- 2057). An empirical morphological model is built based on historical bathymetric data, to predict how the bathymetry along the project area will change

in the coming 40 years. Based on this model, the expected maintenance requirements for the coming 40 years are calculated and compared with the results of phase 1.

In Chapter 5 the results of both phase 1 and phase 2 are compared to the preliminary results as presented in the Environmental Impact Assessment.

In Chapter 6 the conclusions and recommendations are given. References of cited literature are given in Chapter 7.

1.4 APPLIED MODELS

The models that are used in this study are described below.

Simona flow model

In this study, the Simona Kustzuid-2004-v3 model is applied. This model is used to determine water levels and flow velocities in the area and has been calibrated in the past on available flow velocities and water level data. In the present study, a spring-neap tidal cycle is simulated. The flow velocities and water levels that result from this model are used as input for the SEDTUBE model. Figure 1.2 presents the model grid of the Kustzuid model. A more detailed description of the hydrodynamic Kustzuid-2004-v3 model is presented in Appendix B.

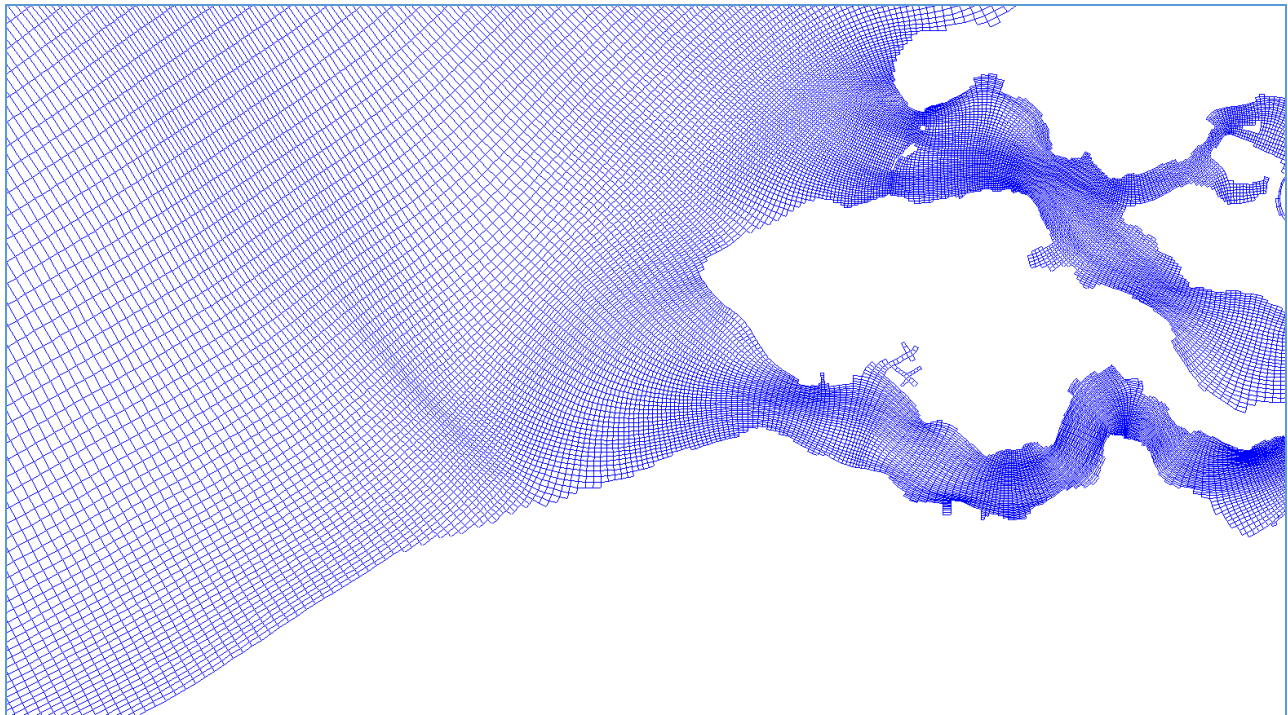


Figure 1.2. Model grid of the Kustzuid model

SEDTUBE morphological model

To determine the behaviour of sand waves and the amount of sediment that will be trapped in the required trenches, the numerical model SEDTUBE is used. This model is developed by Prof. Dr. Leo van Rijn and calculates sediment transport along a cross-section. Both waves and (tidal) currents can be taken into account. The model is highly capable in simulating horizontal movement and deformation of sand waves under different hydrodynamic conditions (Tonnon et al., 2006). In addition, sediment trapping and deformation of trenches can be calculated for different sediment grain sizes. Figure 1.3 shows an example of predicted sand wave dynamics under certain flow conditions. A more detailed description of SEDTUBE is presented in Appendix C.

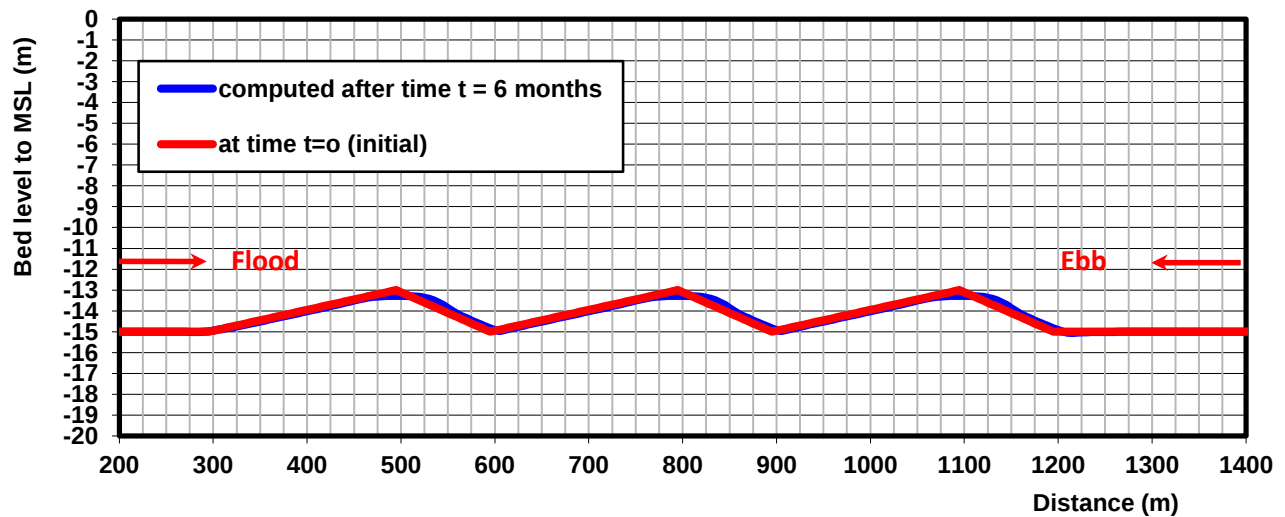


Figure 1.3. Example of sand wave migration during asymmetrical tide, sediment grain size 0.35mm, tidal range 2m, $U_{flood}=0.62$ m/s, $U_{ebb}=0.58$ m/s, no waves imposed, modelled with SEDTUBE.

2 DESCRIPTION OF PROJECT AREA

2.1 LOCATION AND ROUTE

The cable trajectory as applied in this study is RPL A01 and has a length of 67 km, running from the landfall at Borssele, through the Western Scheldt, to the BWFZ. Along this trajectory, 5 cables will be installed, 4 of which (220 kV) will run parallel with a mutual distance of 200 m in the North Sea area and 100 m in the Western Scheldt (KP 0 – KP 15) and 1 (66 kV) between the platform locations at 200m distance of the other two (220 kV) cables in that section. Figure 2.1 shows the cable trajectory in black, together with the most recent available bathymetric survey of the project area (2014 for the Wester Scheldt area and 2005 for the Voordelta). The red nodes represent the kilometre posts along the trajectory of the cable calculated from the mainland at Borssele. A close-up of the cable route in the Western Scheldt area is given in Figure 2.2.

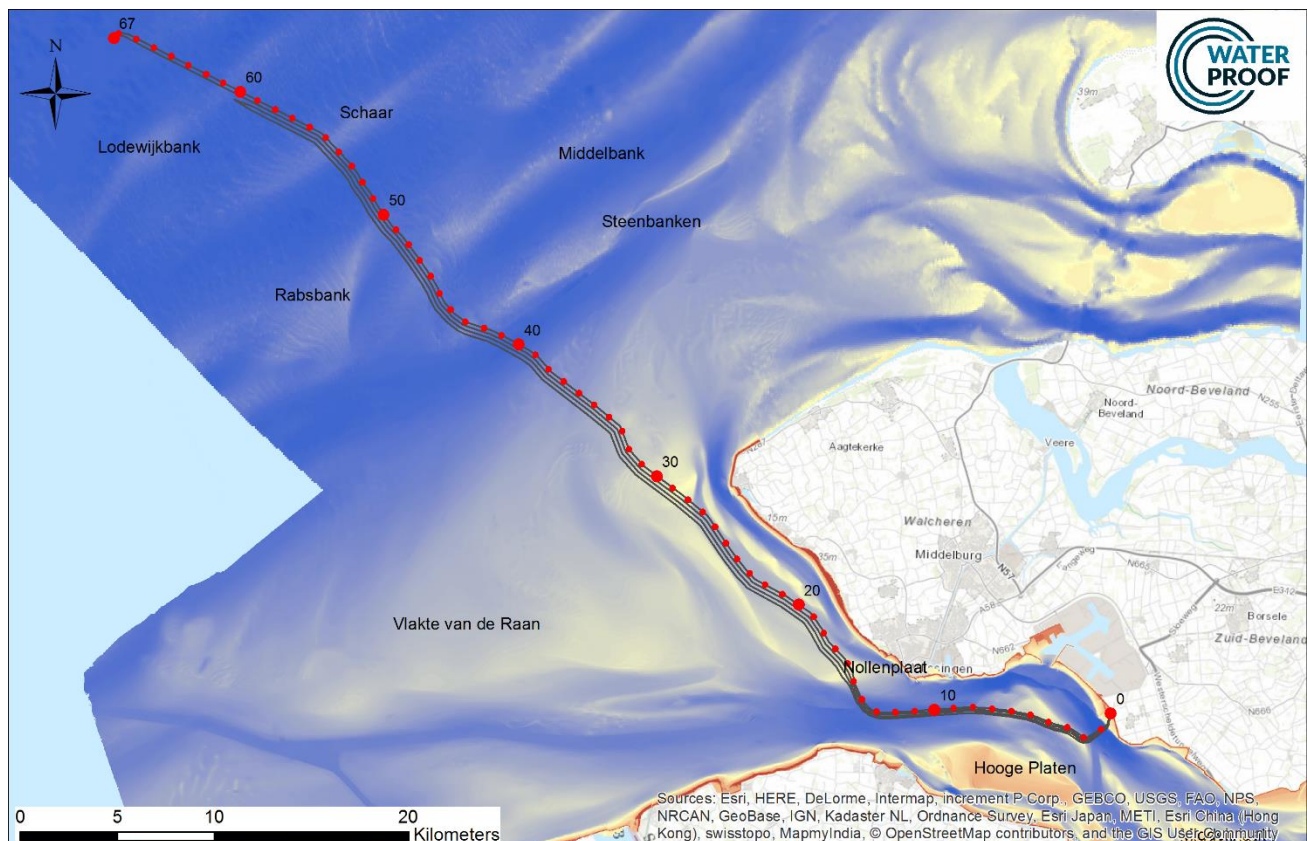


Figure 2.1: Overview and naming of morphologic features in the North Sea zone

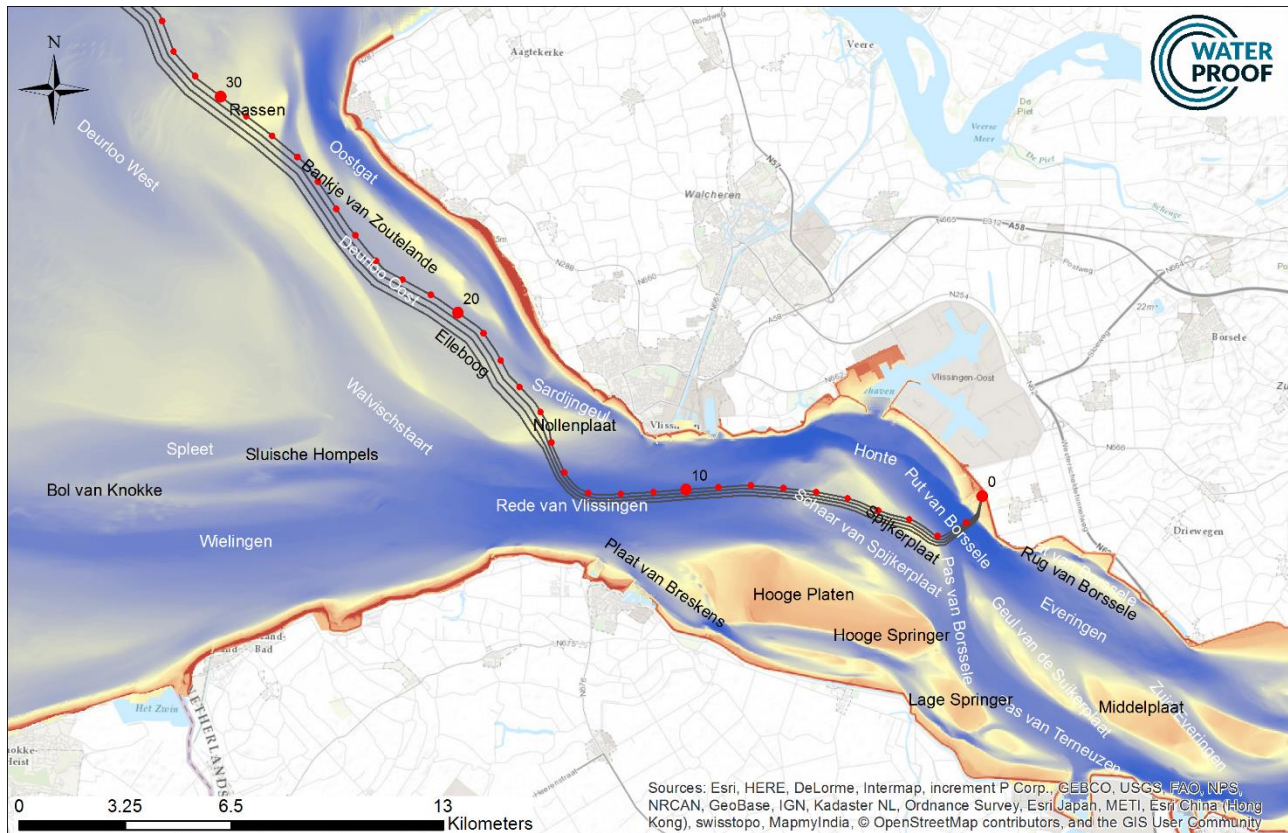


Figure 2.2. Morphology and naming of morphologic features in the Western Scheldt

As shown in Figure 2.3, the depth along the cable route varies from about LAT 0 m to -50 m. Starting from Borssele towards the offshore platforms, the cable first passes a deep (navigation) channel ('Put van Borssele') where depths reach over 50 m. Between KP 2 and 7, it crosses the shoal of Spijkerplaat. Further seaward, between KP 8 and 13 the channel 'Rede van Vlissingen' is crossed. At KP 15, the cable enters a channel-shoal system, which is part of the ebb-tidal delta of the Western Scheldt (Cleveringa, 2007). The accompanying morphologic features are the Nollenplaat, Elleboog, Deurloo Oost, Bankje van Zoutelande and Rassen (Figure 2.2). Seaward of KP 35, the cable enters a deeper part of the Dutch continental shelf, where bed levels are between approximately LAT -30 m and -40 m. In this area, sandwaves are active (mobile) which influence the burial depth of the cables in this area over time.

2.2 AVAILABLE BATHYMETRIC DATA

2.2.1 Data sets used in this study

In this study various bathymetric data from the Delta coast and Western Scheldt area are used. The data sets are available from Rijkswaterstaat and originate from previous historical studies as Alkyon (2006a, b and c), Bok (2002), De Kruif (2001), and the monitoring Maasvlakte projects.

Table 2.1 gives an overview of the available bathymetric datasets. Planview overviews of the available bathymetric surveys and bed levels along the trajectory for various survey periods are presented in Appendix A01.01 to A01.17. Also, detailed plots of the bathymetry at the Spijkerplaat are given in Appendix A01.18 to A1.45. In Appendix A01.46-A01.49 the plan view overviews are given of the Zeelandbanken area.

For the Western Scheldt 28 bathymetric surveys are available, for the Voordelta 17 and in the deeper parts of the Delta coast (Zeelandbanken area, starting roughly from NAP –20 m) 6 datasets are available. This area has been surveyed less frequent than the shallower parts.

The historical digital bathymetric data consist of a 20 m x 20 m raster with depth values in centimetres. The 2015 dataset was surveyed with a 0.3 x 0.3 m resolution and is converted to a 20 x 20 m resolution to be able to compare the most recent bathymetry with the historical datasets. Some variations exist in the total area that is covered by the data. The bathymetry of the Delta coast was not surveyed completely in one year, but in a period of two to four years. This means that although the bathymetry is indicated as a single year the actual year of origination may differ to up to 2 years.

Table 2.1. Overview of available bathymetric surveys

Location	Bathymetric surveys
Zeelandbanken	1999,2000,2001,2004,2010,2015
Voordelta	1964, 1968, 1972, 1976, 1980, 1984, 1989, 1992, 1998, 2001, 2004, 2005, 2008, 2010, 2011, 2014, 2015
Western Scheldt	Voordelta data + 1800, 1818, 1860, 1878, 1890, 1905, 1931, 1955, 1958, 1960, 1962

2.2.2 Quality of the data sets

The quality of the bathymetric data varies strongly as stated in (Alkyon, 2008) and Lekkerkerk et.al. (2006) who analysed and compared the various available datasets. They conclude that errors occur in the datasets which create erroneous erosion/ sedimentation patterns when subtracting two datasets from each other. The most likely cause for this is the presence of systematic errors in the soundings or during data handling. Aspects that could influence the data are geometry of the vessel, the locations of the echo sounder, roll, pitch and heave sensors and positioning antenna, the settings of the software and corrections for water temperature and salinity. Also the determination of the local depth relative to the datum induces

inaccuracies, especially at the time when no DGPS-RTK system was used and compensations were done based on water level measurements at fixed stations.

The increased accuracy of the measurements is suggesting that recent bathymetric data is more reliable than the old bathymetric data. However, according to Alkyon (2007) systematic errors occur throughout the entire period from 1964 to 2004. The impact of systematic errors on sediment volumes is much larger than compared to stochastic errors. The bathymetric data must therefore be interpreted with caution, regardless of its age.

The difference in surveyed bed level between 2014 and 2015 is relatively large when compared to the differences between more historic survey campaigns (see Figure 2.21). The most probable reason for this is that both survey campaigns have been executed by different companies while the historical data has mostly been measured by RWS.

Notwithstanding above, the available dataset is very valuable for underlying study, especially because the focus lies on the most profound morphological changes in which slight errors in datum levels play a minor role. The dataset provides us with important information on the morphological behaviour of the sand banks in the Western Scheldt and Voordelta. Moreover, the limited available data in the Zeelandbanken area has been successfully used to estimate sandwave migration speeds.

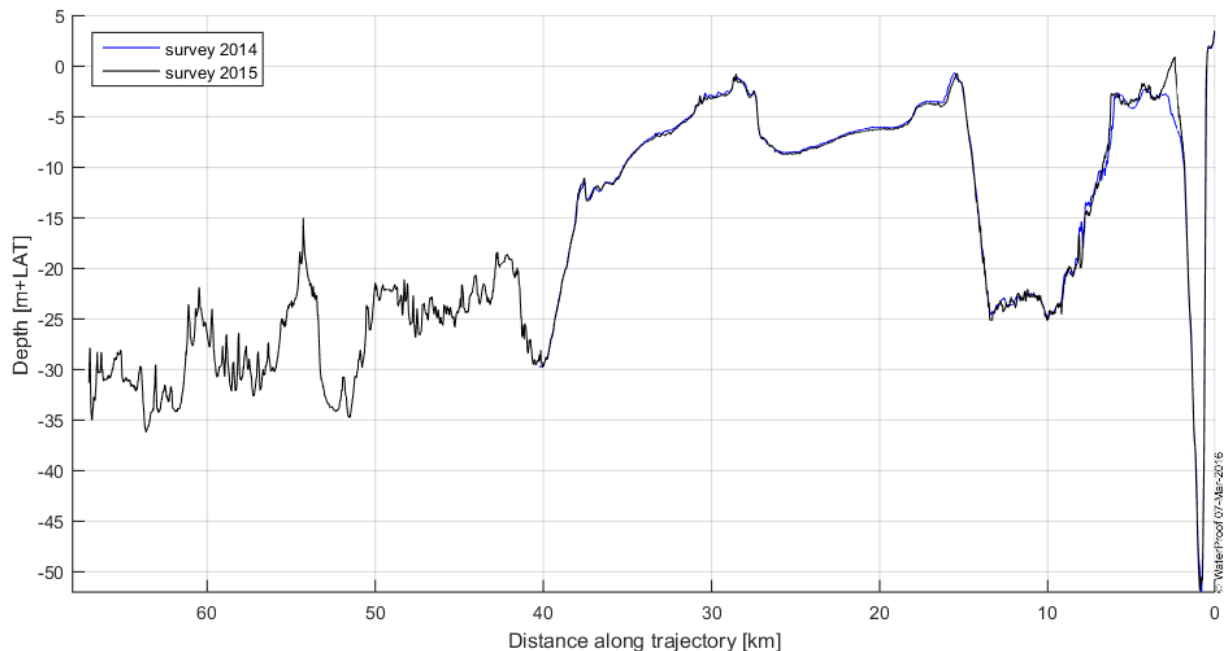


Figure 2.3. Bed level in 2014 (blue) and 2015 (black) along the cable trajectory.

2.3 HYDRODYNAMICS

2.3.1 Water levels

The tidal range in the study area increases in an easterly direction, due to the funnel-like shape of the Western Scheldt. Table 2.2 gives the high water level, low water level and tidal range for three locations: Westkapelle (25km seaward of Borssele), Vlissingen (10km seaward of Borssele) and Hansweert (25km landward of Borssele) during spring tide, average tide and neap tide.

Table 2.2. Water level data for three locations in the Western Scheldt. HW and LW levels are given in cm NAP (source: waterstanden, Rijkswaterstaat).

Location	Spring tide			Average tide			Neap tide		
	HW [cm]	LW [cm]	HW-LW [cm]	HW [cm]	LW [cm]	HW-LW [cm]	HW [cm]	LW [cm]	HW-LW [cm]
Westkapelle	216	-175	391	179	-157	336	134	-129	263
Vlissingen	243	-204	447	205	-181	386	155	-147	302
Hansweert	277	-228	505	242	-206	448	195	-170	365

2.3.2 Flow velocities

Maximum flow velocities in the larger channels are approximately 1.5-2.0 m/s during average tidal conditions, which increases to 3.0 m/s during spring tide in the deeper channels (Van Duren, 2009). In the smaller channels and across the shoals, maximum velocities of 0.5 to 1.0 m/s are found. During spring tide, maximum velocities are larger, whereas they are smaller during neap tide. The maximum depth-averaged flow velocities in the Western Scheldt during the ebb and flood phase of an average tide are given in Figure 2.4 and Figure 2.5. Further offshore, flow velocities are dominated by the tidal flow regime along the Dutch coast where depth-averaged flow velocities in the order of 0.7 m/s are found. Appendix A02.1 to A02.24 shows the hourly depth-averaged flow velocities for the North Sea area. In Appendix A02.25 to A02.48 present the hourly depth-averaged flow velocities for the Western Scheldt area.

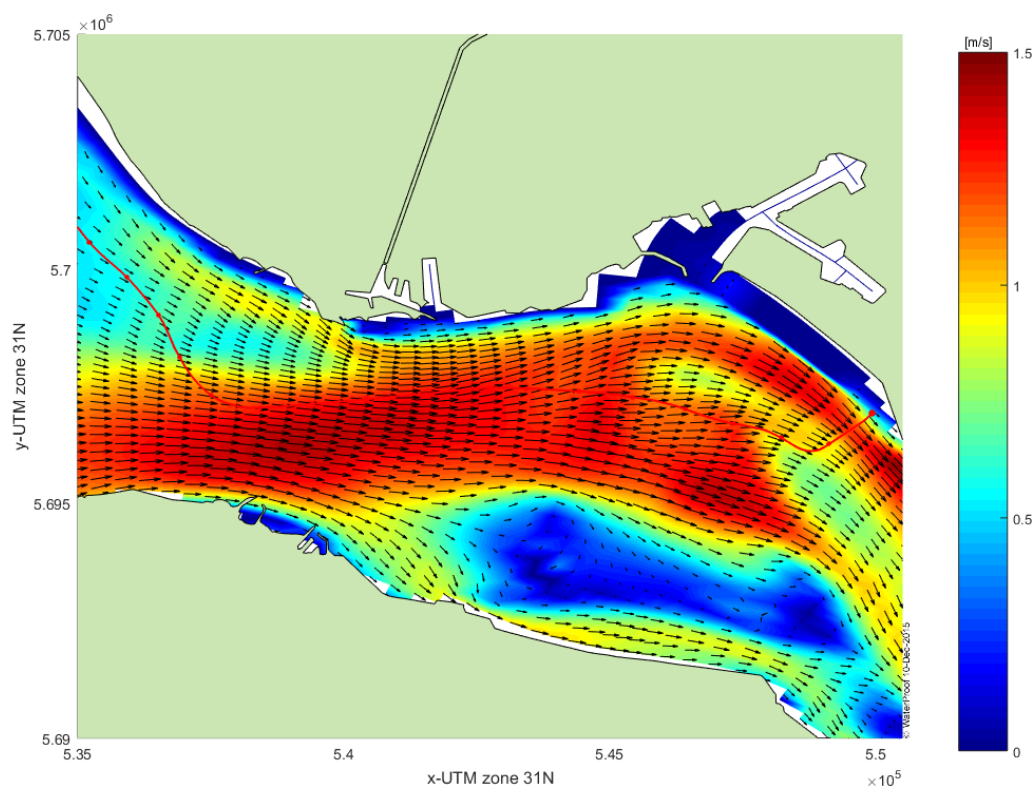


Figure 2.4. Maximum depth-averaged flood velocities in the Western Scheldt during average tide as simulated with the Kustzuid model.

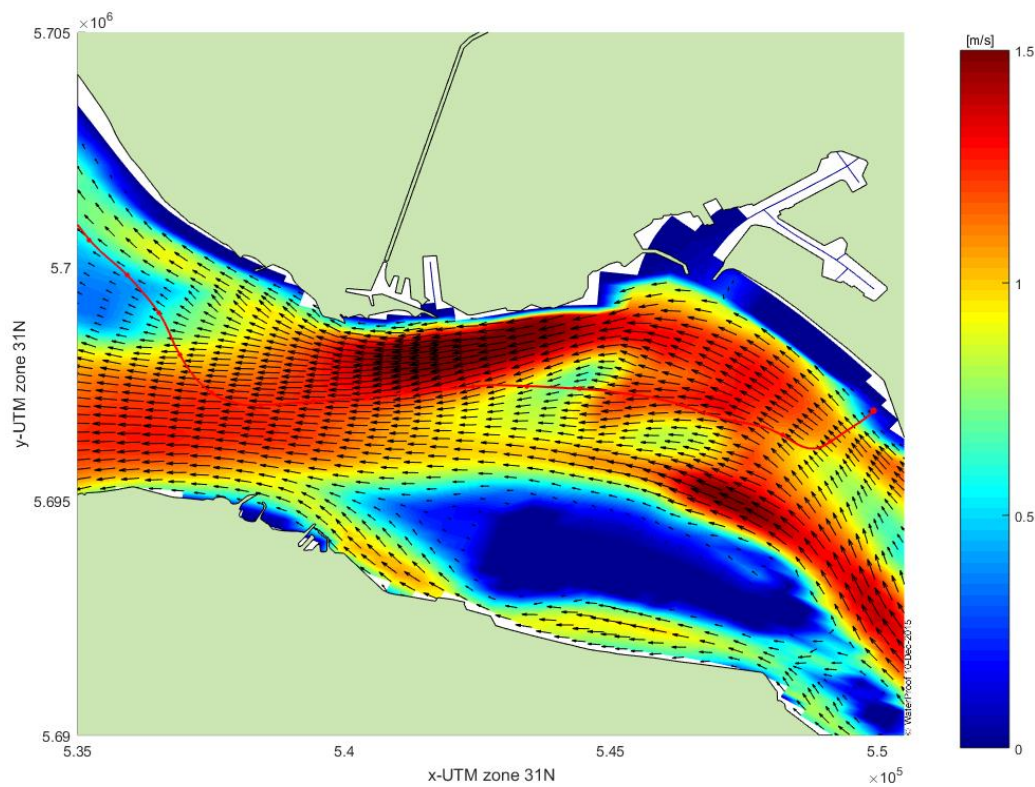


Figure 2.5. Maximum depth-averaged ebb velocities in the Western Scheldt during average tide as simulated with the Kustzuid model.

2.4 MORPHODYNAMICS

2.4.1 General

In order to be able to make an accurate assessment of the expected maintenance requirements for the cable route, knowledge and insights on the movement of the main morphological features that can be found along the route (ripples, sand waves, sand bars, channels and shoals) is necessary. The spatial scale of the bed forms range from several meters to several kilometres. According to Menninga (2012), Doff et al. (2003) and Knaapen et al. (2005), six different types of rhythmic bed patterns are distinguished at the Dutch Continental shelf.

Table 2.3. Overview of bed forms located at the Dutch continental shelf. After Menninga (2012)

Bed form	Length (m)	Height (m)	Migration speed (m/year)	Evolution time scale
Ripples	0.1 - 1	0.01 – 0.1	100 – 1000	Hours
Mega ripples	1 – 10	0.1 – 1	100 – 1000	Hours – days
Sand waves	100 – 1000	1 – 5	1 – 10	Decades
Long bed waves	1500	5	Unknown	Centuries
Shoreface connected ridges	5000 – 8.000	1 – 5	1 – 10	Centuries
Tidal sand banks	5000 – 10.000	1 – 5	< 1	Centuries

For the Western Scheldt area, data from many bathymetric surveys over 200 years back in time are available. This provides a highly valuable dataset which can be excellently used to understand the morphological system of the Western Scheldt. It is important to discriminate between different morphological characteristics and the morphological behaviour of the area. Figure 2.6 shows the areas in which the different morphological processes are relevant. The morphological behaviour of the Western Scheldt, Voordelta and Zeelandbanken has been studied by several authors in the (recent) past, in which in-depth analyses of the flats and channel dynamics, residual volumes and sand transport have been made. Recently for example the morphodynamic behaviour of the Spijkerplaat was studied by the Waterbouwkundig Laboratorium (Plancke, 2015 - see Appendix D). This information is incorporated in our study.

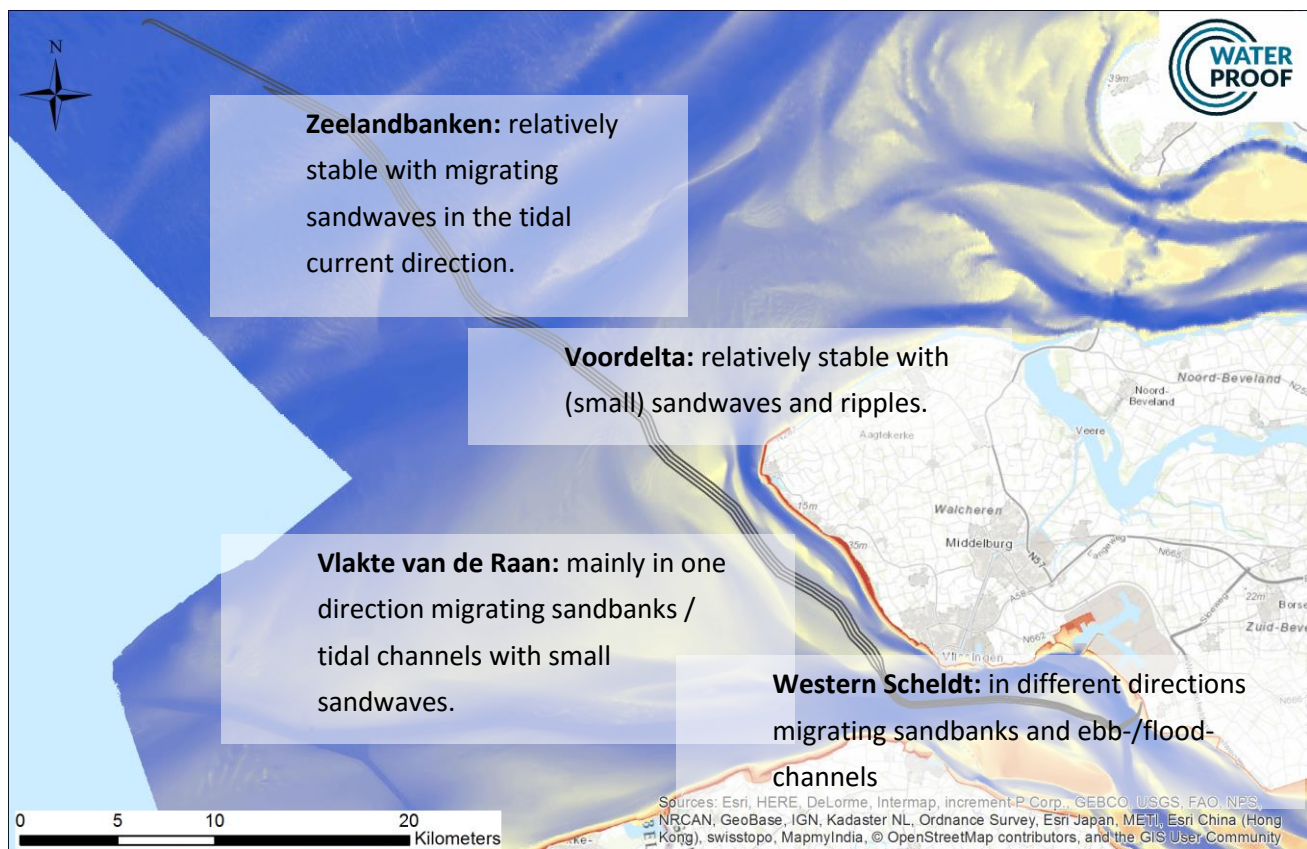


Figure 2.6 Relevant morphodynamic processes along the cable route (in black lines).

2.4.2 Sandwaves on top of Zeelandbanken (KP 67 – KP 38)

The morphology of the seabed along this part of the cable is characterized by sand waves and large sand bars (Figure 2.7). The sand bars (Zeelandbanken) are approximately 5-15 m high, 10-40 km long, and are oriented 0-20° with respect to the tidal current. The distance between the subsequent bars is about 3-7 km. The bars themselves are morphologically very stable, so they will have a limited effect on the depth of burial of the cables over the lifetime.

The sand waves are located on top of the Zeelandbanken and have a height of approx. 2.0 m which can go up to maximum 8.0 m at larger water depths. Along the cable trajectory, the height and migration speed of the sand waves are relatively low. According to Riezebos et al. (2014), the sand waves along the trajectory are 100-300m long, 1-3m high, and migrate with a maximum speed of approximately 2 m/year in northeast direction and 3 m/year in southwest direction. According to Riezebos et al. (2014), the average speed is about 0.7 m/year in a north-eastern direction and slightly increases with decreasing depth.

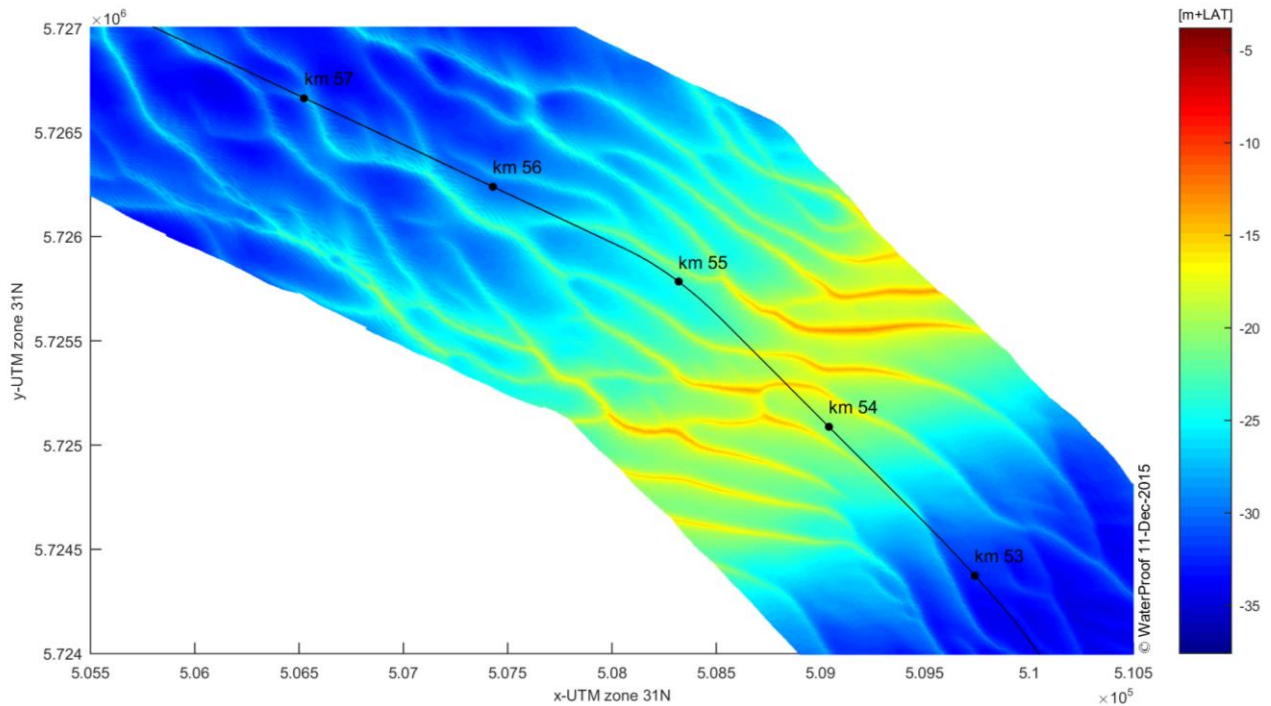


Figure 2.7. Sand bars and sand waves in the offshore cable trajectory (center line of four cables in black)

In 2015 the bathymetry has been measured along the entire cable trajectory. The resolution of the survey was high (0.3 m x 0.3 m) and sand waves can be well detected. In Appendix A03.01 to A03.16 detailed planview are given of the bathymetric survey that has been executed in 2015.

Also in Figure 2.7 a plan view is given of the surveyed area near KP 55. The figure shows the presence of sand waves on top of a larger sandbar at KP 53.5 – KP 55. It can be seen that the orientation of the sandwaves differs, with a more east-west orientation on top of the sandbar and a northeast-southwest orientation in the deeper parts. This phenomenon is also visible in other sections (see Appendix A03.10 to A03.16).

In Appendix A04.1 to A04.135 cross-sections are presented for every 500 m along the trajectory. One of these cross-sections has been presented below in Figure 2.8. The figures show that differences exist in the position of the sand waves. It is for example visible that the 2015 data is more peaked than the two other datasets, probably due to the relative high measurement resolution.

In Figure 2.9 the bed level along the cable trajectory in the sand wave area (KP 38 – KP 67) is presented for three available years (1999, 2010 and 2015). The figure shows that between KP 38 and KP 43 and between KP 45 and KP 47 the bed level in 1999 was located much higher than in 2010 and 2015. At these locations the bed level is located about 3 to 5 m below the 2010/2015 bed level. It is expected that dredging has been executed in these areas between 1999 and 2010.

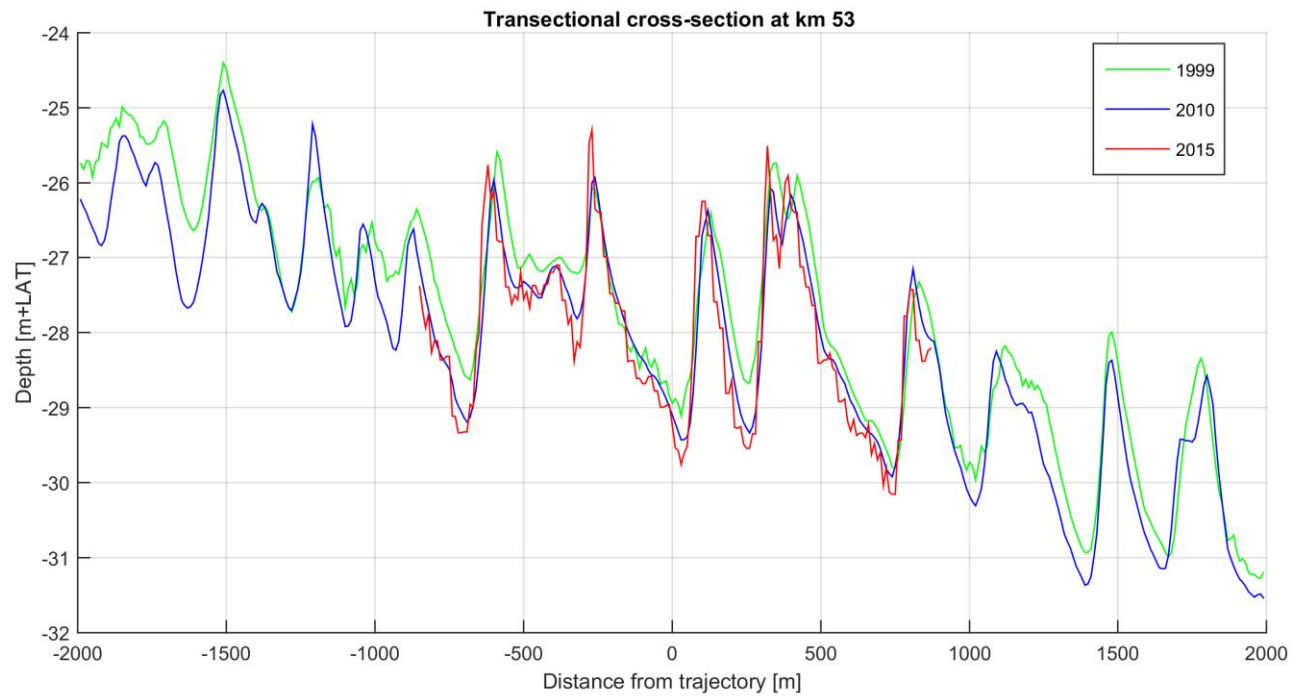


Figure 2.8: Cross-section in the sand wave area at KP 53. Three surveys are available there, 2015 (red), 2010 (blue) and 1999 (green)

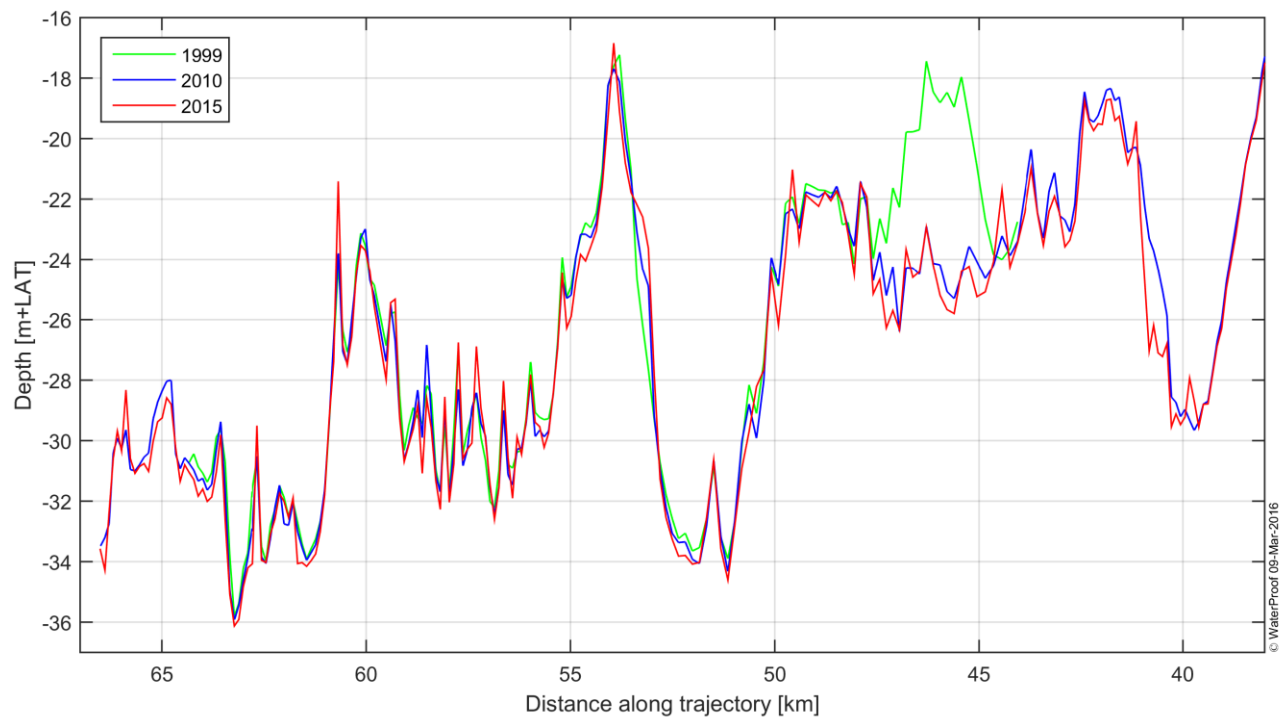


Figure 2.9: Bed level position along the trajectory between at 1999, 2010 and 2015

In Figure 2.10 the difference in bed level between 2010 and 1999 has been presented. Red colours indicate sedimentation, blue colours erosion. The figure clearly shows the blue location where the 2010 bed level is located below the 1999 bed level which is probably caused by dredging activities (clear dredging scars are visible at the bed).

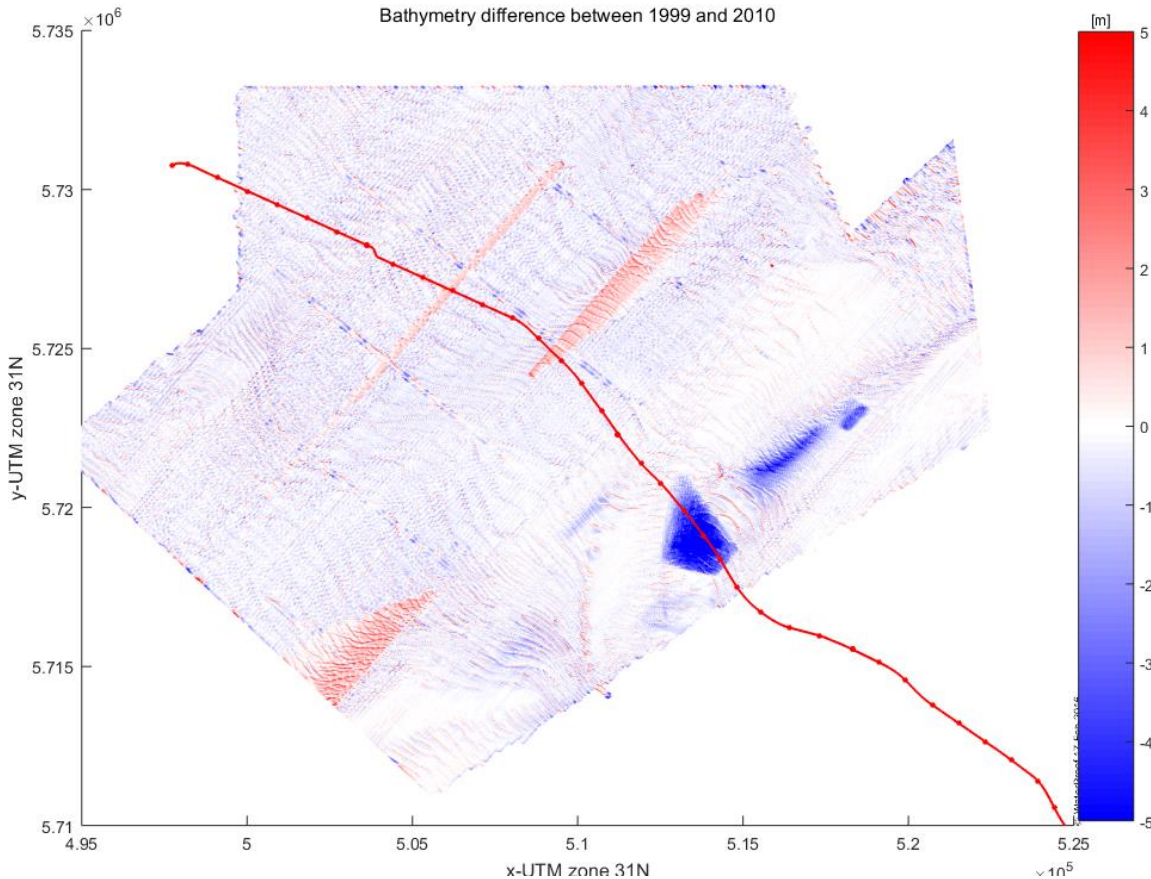


Figure 2.10: Difference in bathymetry between 1999 and 2010. Blue colours indicate erosion, red colours sedimentation.

2.4.3 Vlake van de Raan and Voordelta (KP 38 – KP 15)

Figure 2.11 shows the difference in depth between 1964 and 2014 for the Vlake van de Raan and Voordelta. The contour lines and associated contour depth values represent the bathymetry of 2014 (in m LAT). Red colours denote sedimentation, whereas the blue colours denote erosion. The figure shows that between KP 30 and 40 of the cable trajectory, the bed level variation ranges between -2 to +2m. These parts of the project area are thus relatively stable, without migrating shoals and channels. Note that in the upper left part of Figure 2.6, the bathymetry difference is more negative than its surroundings. This is due to a measurement error or wrong reference level of that specific survey.

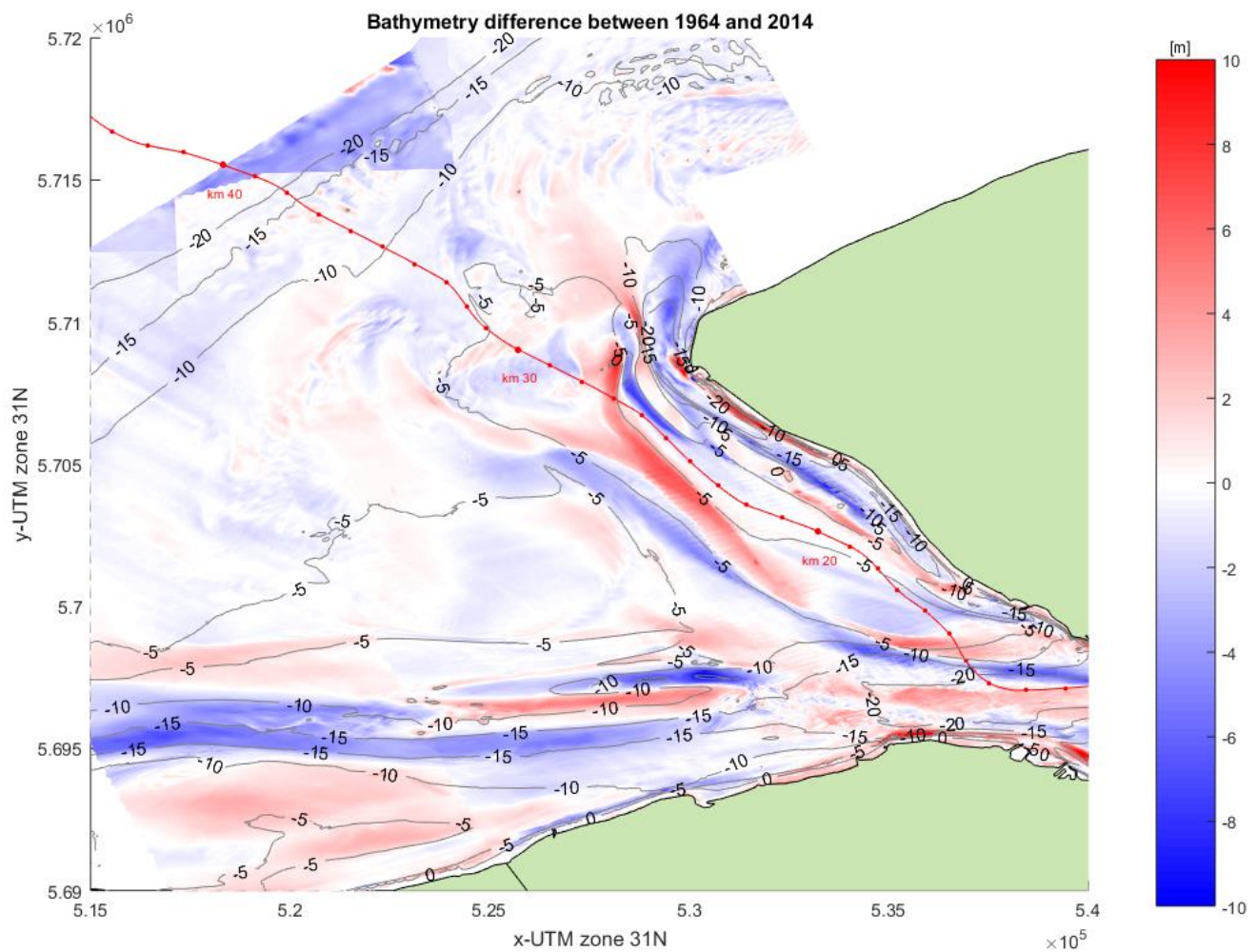


Figure 2.11. Bathymetry difference between 1964 and 2014 on the ebb-tidal delta (centre line of four cables in red). Red colours indicate accretion, blue colours erosion

Between trajectory KP 13 and KP 30, migrating sand bars and channels are present. At the locations where shoals boarder channels, differences in bed level of over 10 m can easily be reached.

In Appendix A05.1 to A05.4 the morphodynamic variability of the last decade (2004-2014) is presented in more detail. Although due to a shorter considered timeframe (10 years) the variation is smaller than in Figure 2.7, the general behaviour is comparable. The migration speed or migration direction of the sandbars has not changed.

Figure 2.12 shows a cross-section at KP 26, in which the depths between 1964 and 2014 are presented. The figure clearly shows that both the shoal Rassen and Bankje van Zoutelande are migrating to the northeast, towards the Oostgat. The migration speed is in the order of 300 m/ 50 years at Bankje van Zoutelande to 900 m/ 50 years at the Rassen.

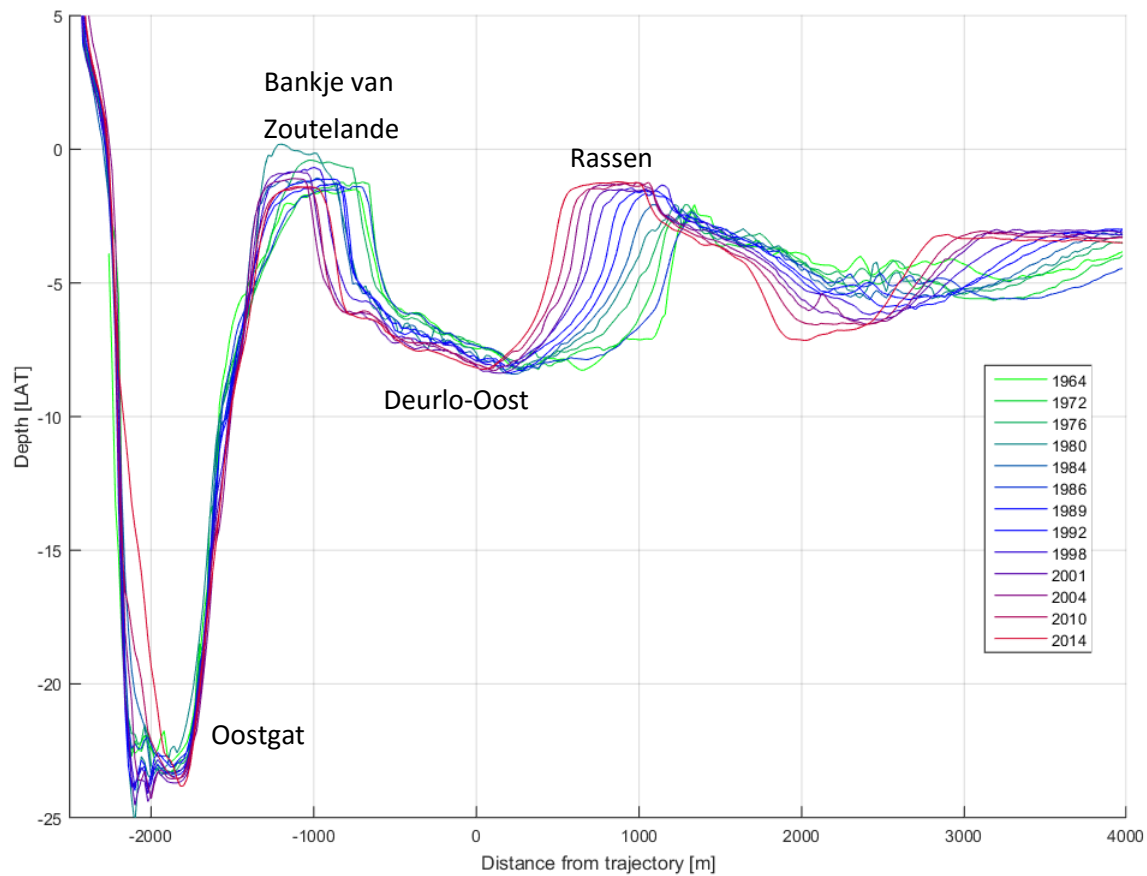


Figure 2.12: Cross-section at KP 26, migration of the shallows and channels in time. The left part of the cross-section is located approximately north, the right part approximately south.

Above cross-sections have been made for every 100 m along the trajectory. In this report only the cross-sections for every 500 m have been shown. An overview of the locations of the cross-sections is given in Appendix A03.1-A03.16. All cross-sections are made perpendicular to the trajectory, in which the left part of the figure is oriented (approx.) north and the right part (approx.) south. The cross-sections for every 500 m are shown in Appendix A04.1 to A04.135.

The morphodynamic behaviour of the seabed along the trajectory between KP 40 and 15 is presented in Figure 2.20. The figure makes clear that a large part of the trajectory is morphologically relatively stable with differences in bed level mostly below 1-1.5 m.

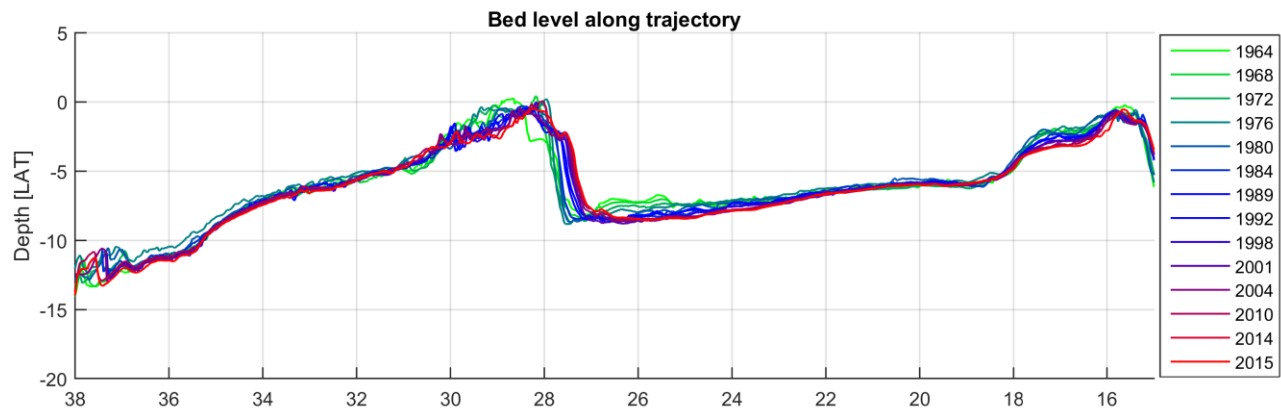


Figure 2.13: Bed level along the trajectory between 1964-2014.

A closer look at KP 25-28, where the cable is situated at the intersection between the Deurlo channel and Rassen shoal, shows somewhat larger morphodynamic variations up to 4.5 m between 1964 and 2015.

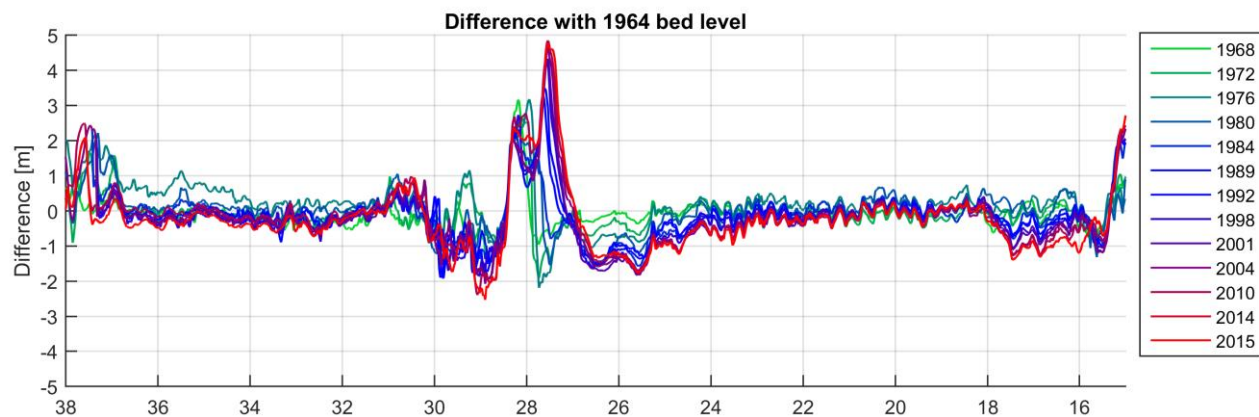


Figure 2.14: Difference between 1964 and 1972-2014 bed levels along the trajectory.

2.4.4 Western Scheldt (KP 15 – KP 0)

Figure 2.15 shows the difference in bathymetry in the Western Scheldt for the period 1964-2014, in which the red colours represent sedimentation and blue colours represent erosion. The contour lines and associated contour depth values represent the bathymetry of 2014 (in m LAT). It can be seen that in the Western Scheldt, the differences in bed level are clearly larger compared to the differences in the Voordelta (compare Figure 2.15 with Figure 2.11). Erosion and sedimentation values over 10 m are found, both in the time period of 50 years and in the time period of 10 years (see Appendix A05.1 to A05.4 where the morphodynamic variability of the last decade is presented). The Western Scheldt consists of a dynamic channel-shoal system which is continuously moving. Due to relatively high flow velocities (see paragraph 2.3.2), the sediment transports and resulting dynamics of the sand bars in this part of the project area are large.

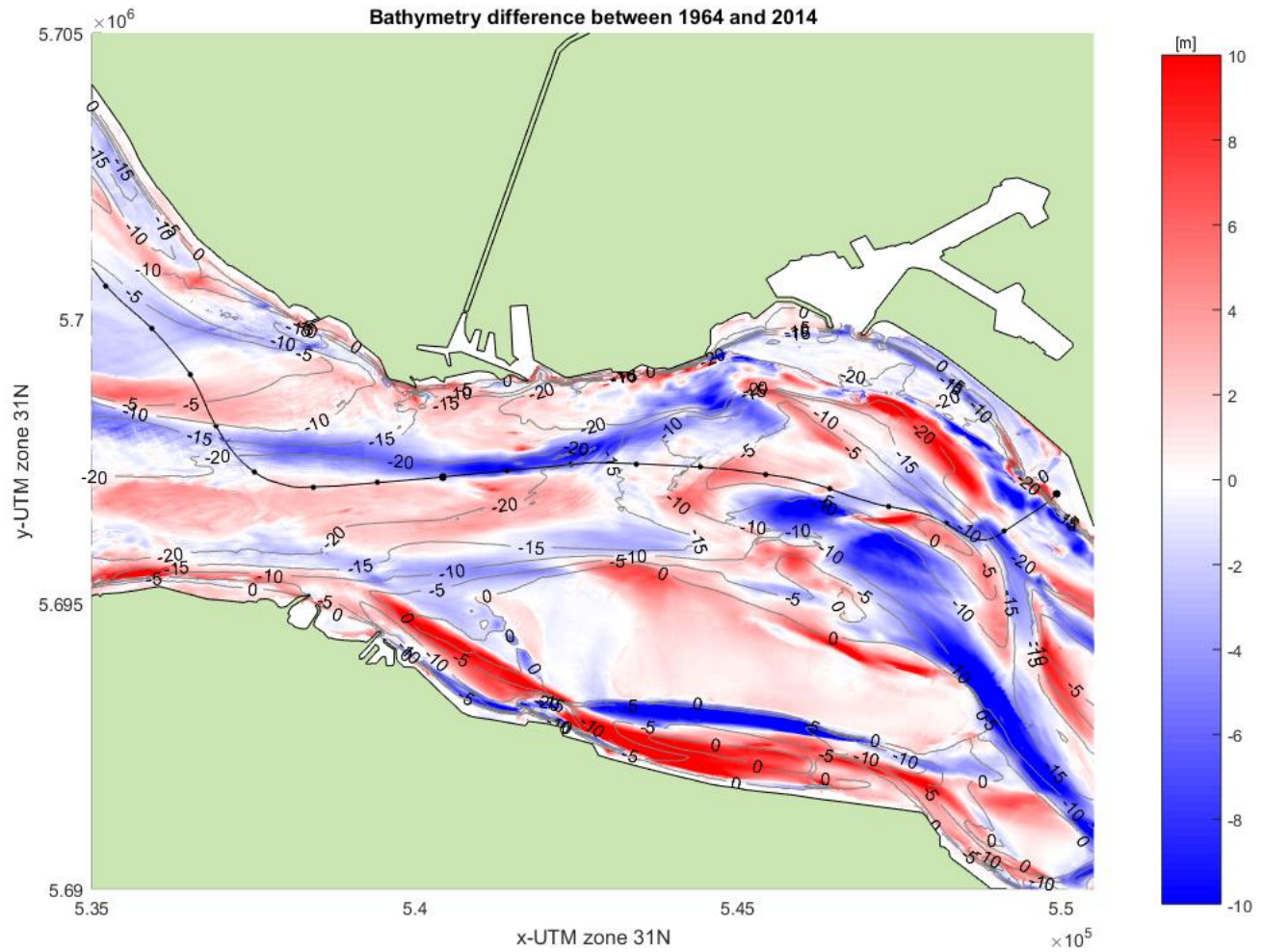


Figure 2.15. Morphodynamics in the Western Scheldt for the period 1964-2014

Rede van Vlissingen

Going from west to east near KP 15 the cable leaves the shallower areas (Nollenplaat) and enters deeper waters (Rede van Vlissingen). As can be seen in Figure 2.15, the cable follows an area (KP 14 – KP 8) where the bed level has been lowered between 1964- 2014. The main reason behind this lowering of the bed level is the shift of the Rede van Vlissingen towards the north. This can best be seen in the cross-sections between KP 14 and KP 8 as presented in Appendix A04.17 to A04.29. The cross-section at KP 10 is shown in Figure 2.16 which indeed shows that the channel is migrating. South of the cable trajectory (right side in the figure) the bed level has been increasing while the bed level has been increasing north of the cable (left in the figure).

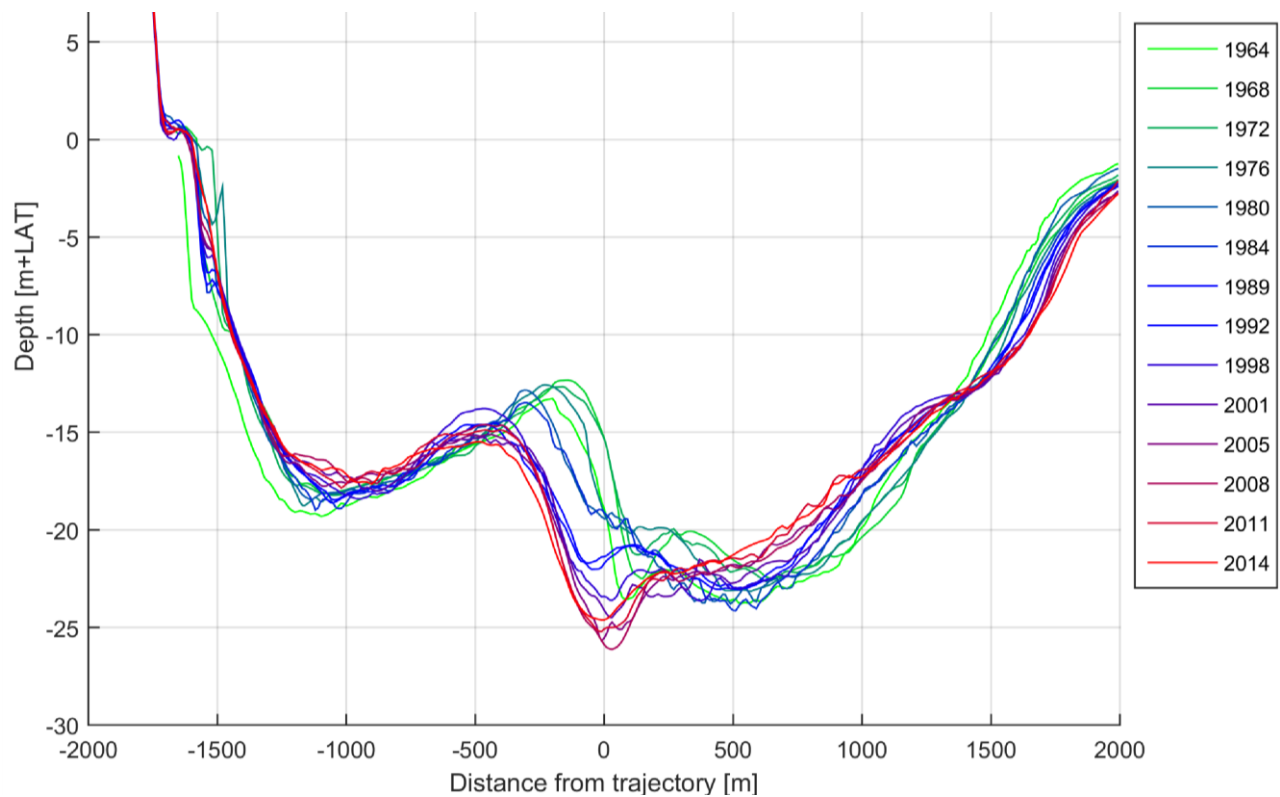


Figure 2.16: Cross-section of the trajectory at KP 10 of the cable trajectory. The left side of the figure is orientated (approx.) north and the right side (approx.) south.

Spijkerplaat

Near KP 7 the trajectory enters the area where the Spijkerplaat determines the bed levels to a large extent. Figure 2.17 shows a cross-section at KP 3 of the trajectory, located on top of the Spijkerplaat. The left side of the figure is orientated (approx.) north and the right side (approx.) south. The figure shows the migration of the Spijkerplaat and Schaar van de Spijkerplaat in time. In the figure, for each survey year the location of the deepest point in the Schaar van de Spijkerplaat is shown and marked by an arrow. The figure shows that a cycle exists in which the Spijkerplaat and adjacent Schaar are formed, move towards the north, slowly decrease in size and die in subsequent years after which a new channel is formed (illustrated by survey data from 2004) at the location where it was present approx. 35 years ago. This cycle of migration is illustrated in the figure by the arrow and dashed line in Figure 2.17.

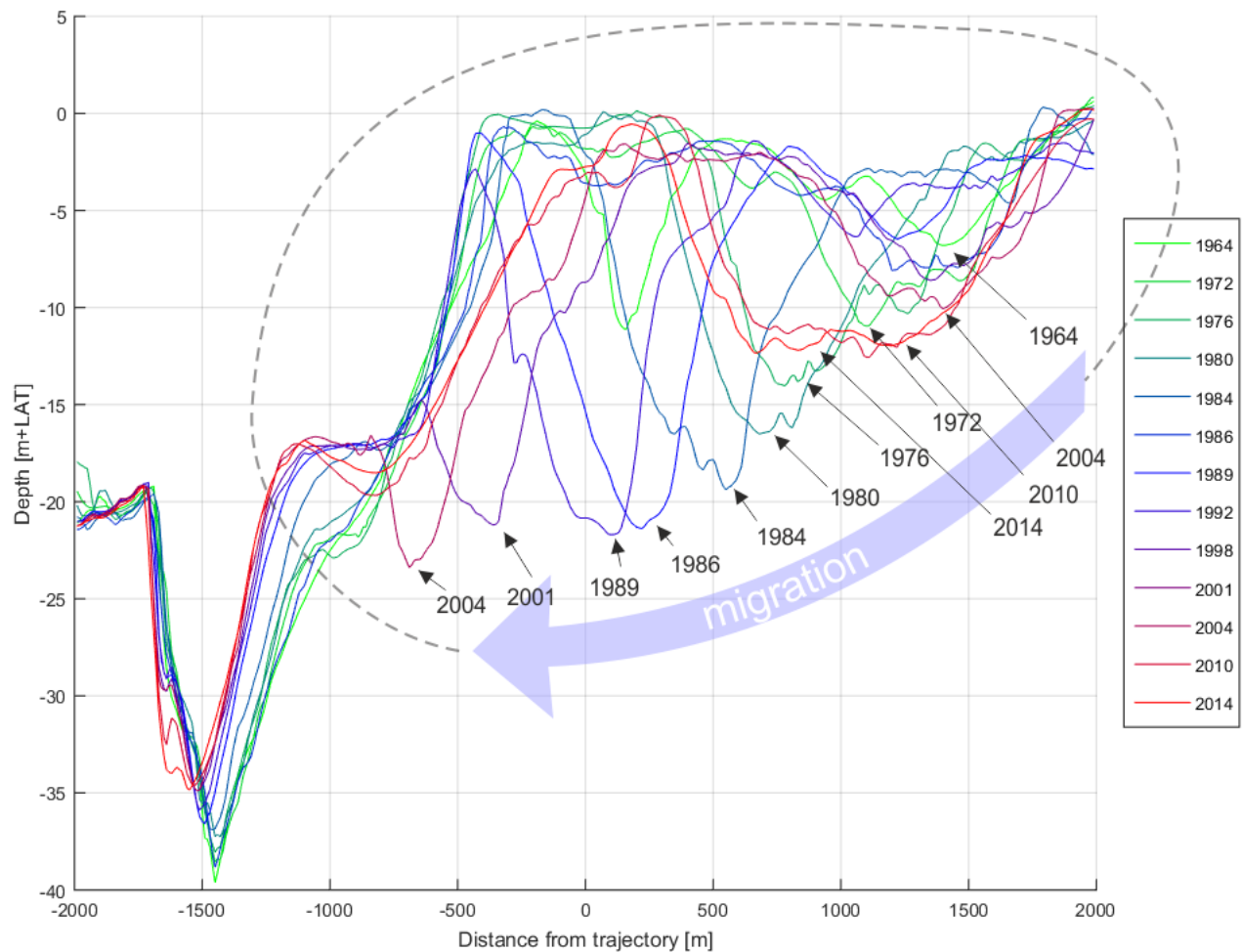


Figure 2.17. Cross-section of the trajectory at KP 3 of the cable trajectory. The left side of the figure is orientated (approx.) north and the right side (approx.) south.

The existence of this cycle is further shown by Figure 2.18 in which the horizontal and vertical migration of the centre point of the bed (between 0 and 1000 m south of the trajectory, see x-axis in Figure 2.17) at KP 3. This figure shows that the cycle time is about 35 (30-40) years. The figures for KP 2 – 14 show that the most pronounced cyclic pattern is visible near KP 2-5 with cycle times in the order of 35 years. Going more west, the patterns become more diffuse or a cyclic pattern is absent at KP 10 – 14. See for instance the figure in Appendix A09.28 for KP 10 which shows a steadily shift to the northeast and steady decrease in bed level.

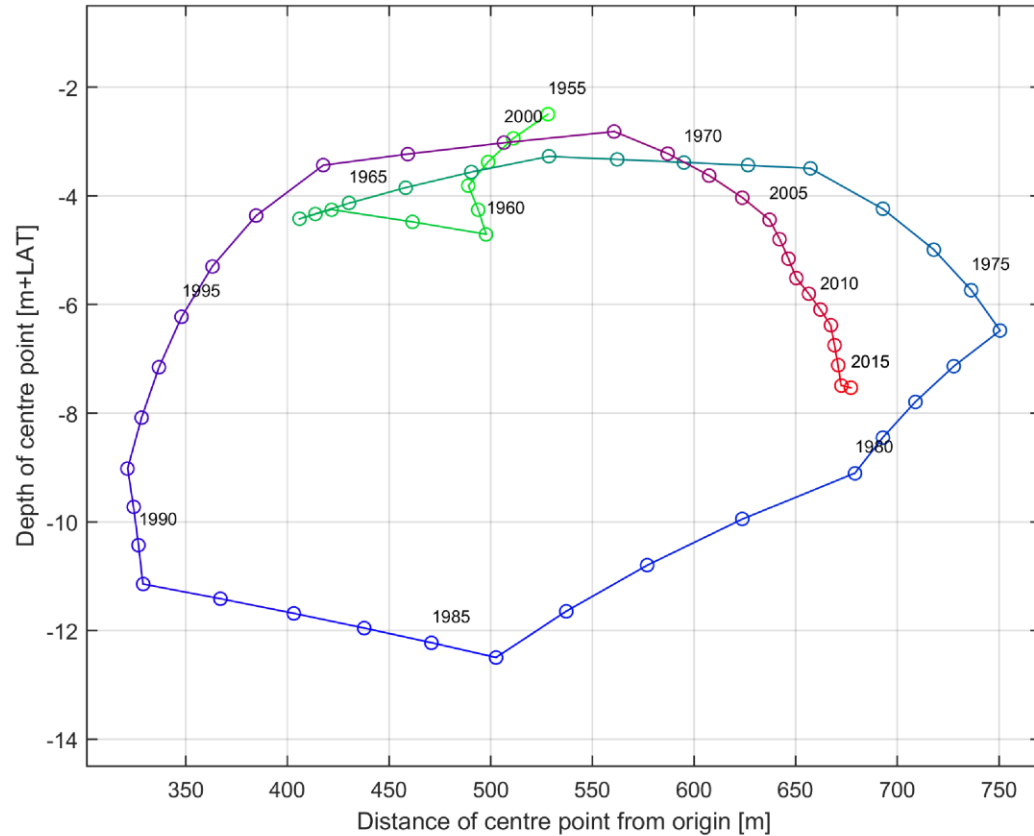


Figure 2.18: horizontal and vertical migration of the centre point of the bed at KP 3 (between 0 and 1000 m south of the trajectory, see x-axis in Figure 2.17).

Honte channel

Just before the cable enters dry land, it passes the tidal channel Honte. This channel is at some locations more than 60 m deep and flow velocities are very strong, both during ebb and flood (see Section 2.3.2). The location of the channel has been stable over time due to the presence of a non-erodible sediment layer on the north side of the channel. In Figure 2.19 the bed level along the first 2 kilometres of the trajectory has been shown. The figure shows that the depth of the channel has become slightly larger between 1955 -2015 but that the location has not evolved much.

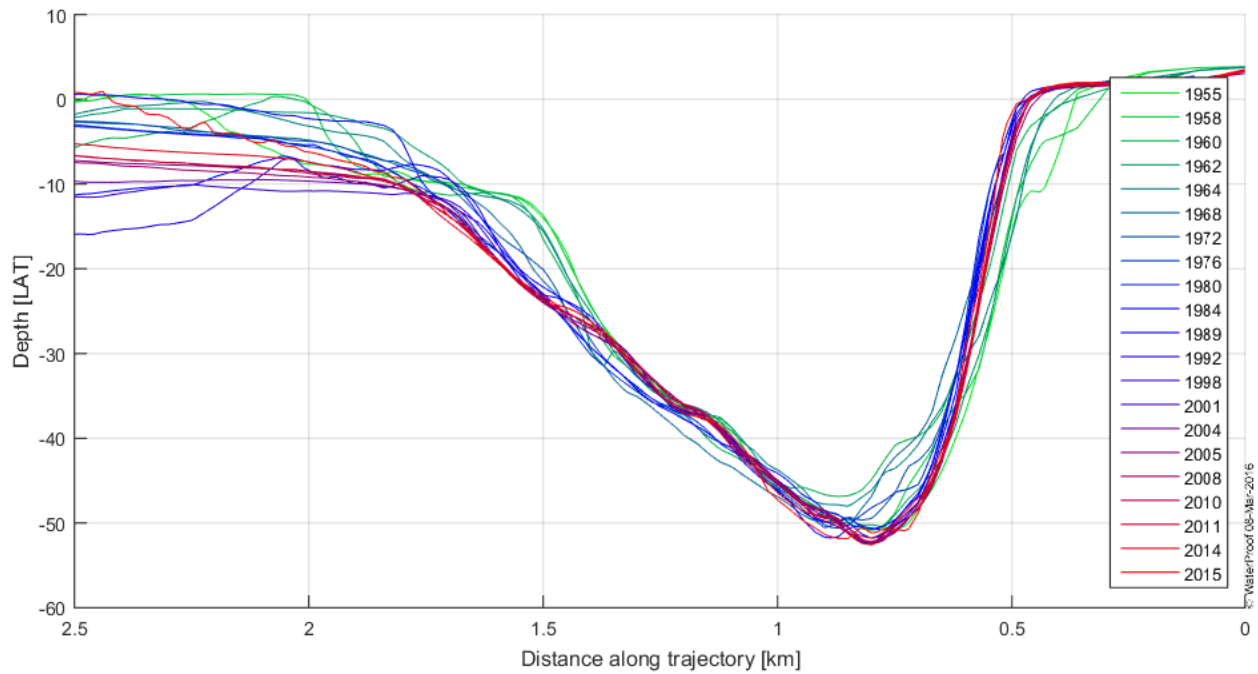


Figure 2.19: Bed level along the first 2.5 km of the cable trajectory.

The evolution of the seabed along the cable trajectory through the Western Scheldt (KP 0 - 15) is presented in Figure 2.20.

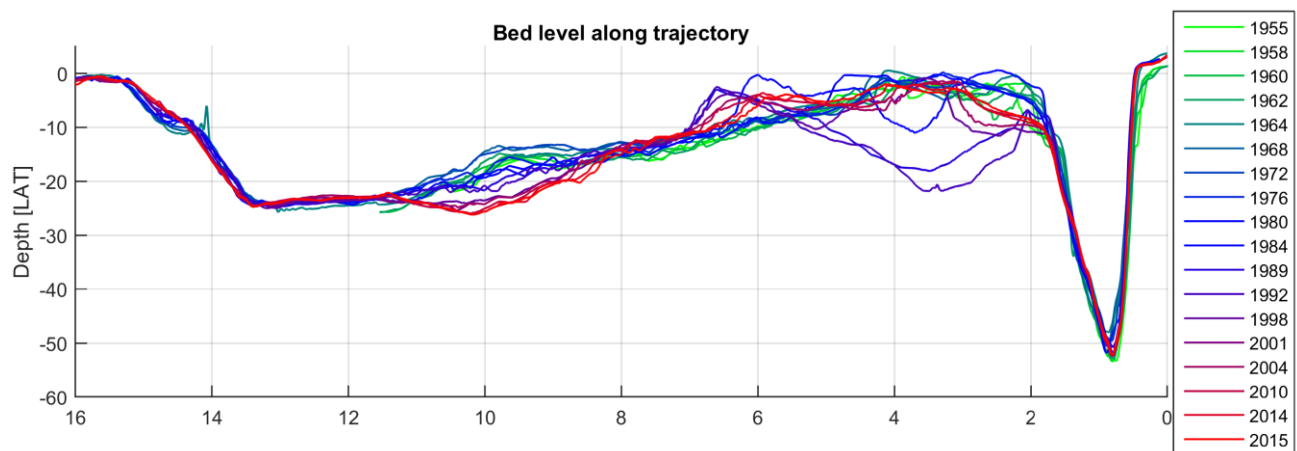


Figure 2.20: Bed level along the first 16 km of the trajectory between 1955-2015.

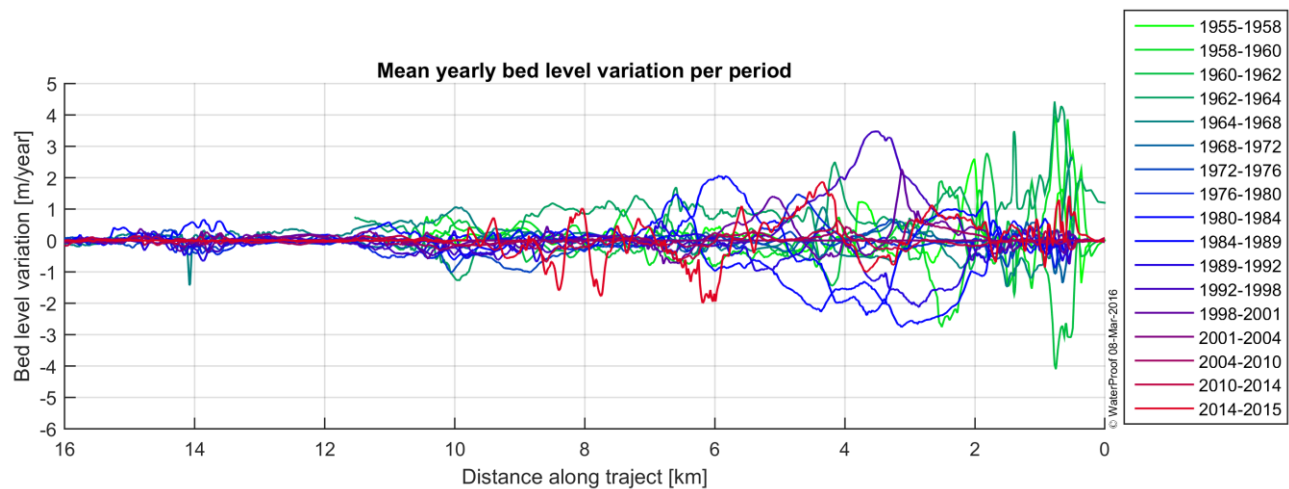


Figure 2.21. Mean yearly bed level variation along the trajectory during various periods

To gain insight in the speed of the changes in bed levels, the mean yearly bed level for the various considered periods is calculated. Figure 2.21 shows that the bed level variation was largest in the period 1992-1998 at KP 3 where mean yearly variations occurred of 3.5 m/year. Between 2004 and 2014, the bed level variation along the first 40 km of the transect is generally smaller than 1 m/year.

The difference in bed level between 2014 and 2015 is relatively large compared to the differences in other surveys. Differences occur up to -2 and +2 m within one year and cannot always be ascribed to the morphologic behaviour. A probable explanation for this could be errors or differences between the 2014 and 2015 survey method (quite likely due to differences in the tidal correction methods used).

2.4.5 Morphodynamics along trajectory

Figure 2.22 shows the maximum and minimum bed level between 1955 and 2015 in blue and red, and the bed level in 2015 in black. In confirmation with the previous sections, the largest variation is found along KP 1-15. The figure shows that the bed level along the trajectory at the Spijkerplaat (KP 2-5) is currently situated at a relatively high vertical position. It can be expected that the bed will lower over the coming years. Between KP 6-13, within the Rede van Vlissingen, the 2015 bed level is located relatively low and an increase of the bed level in the near future can be expected. From KP 13 onwards, the bed level is relatively stable. At KP 27 the Rassen shoal moves towards the northeast into Deurlo Oost which is also visible in Figure 2.12. It is expected that this process will continue in future. The differences in bed level between KP 37 and KP 45 are most probably created by errors in bathymetrical surveys rather than real increase or decrease of the position of the bed.

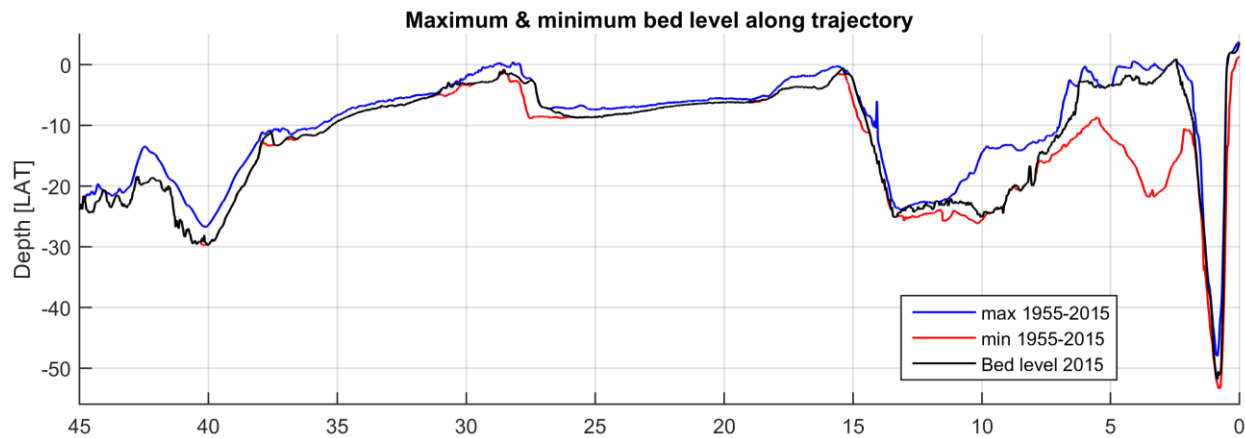


Figure 2.22: Envelope of bed levels between 1955-2015 and bed level at 2015.

In Figure 2.23 the maximum bed level variation between 1955 and 2015 is presented. The figure shows that the maximum absolute difference in bed level is largest in the Spijkerplaat (maximum 22 m) and Rede van Vlissingen (maximum 11 m).

Differences in bed level between the 1955 bathymetry and the subsequent bathymetric surveys vary between +11 in the Honte to -21 m at the Spijkerplaat. The Honte itself is not very dynamic but has very steep slopes. A small shift in the location of the channel results in large differences. The cyclic behaviour of the Spijkerplaat (Figure 2.17) creates the relatively large differences in that area.

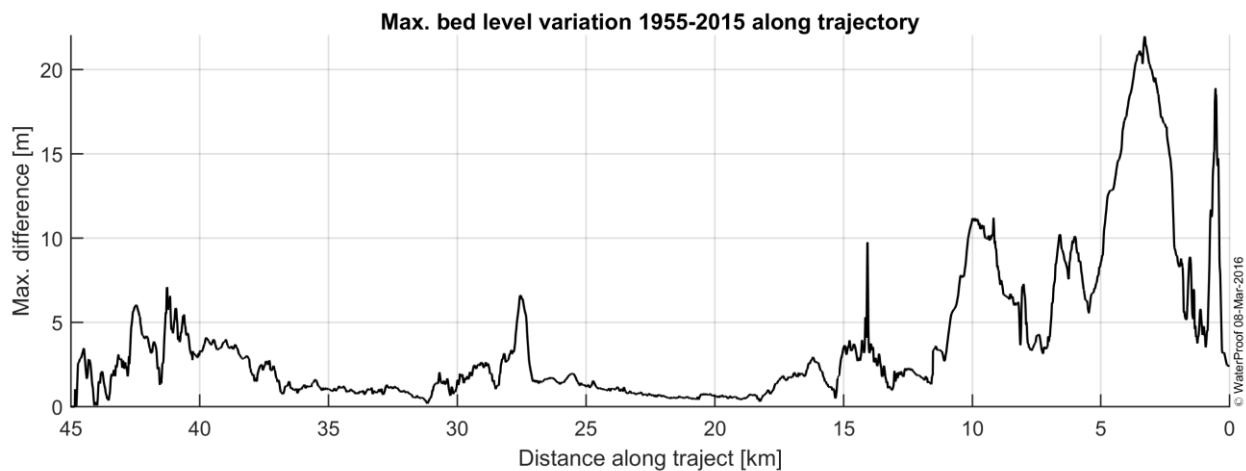


Figure 2.23: Maximum bed level variation 1955-2015 along trajectory

2.5 DREDGING VOLUMES NAVIGATION CHANNEL WESTERN SCHELDT

To be able to place the maintenance requirements of the Borssele cable in perspective with the present dredging volumes, the maintenance dredging volumes of the navigation channel close to the project area are presented.

Every year maintenance dredging is required in the Western Scheldt to maintain the navigation channel at a sufficient nautical depth. Near Borssele, the Drempel van Borssele and Drempel van Vlissingen are maintained. The dredging volumes in these areas vary per year and range between 0.5 - 2.2 million/year with an average of 1.2 million m³/year in the period 2002-2011.

Table 2.4. Dredging volumes ($\times 10^3$ m³/year in the westerly sections of the Western Scheldt (source: IMDC consortium, 2013).

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Average
Drempel van Borssele	730	860	980	500	630	560	1010	1220	1570	1280	930
Drempel van Vlissingen	240	220	180	-	370	-	150	90	600	-	260
Total:	970	1080	1160	500	1000	560	1160	1310	2170	1280	1200

3 PHASE 1: FIRST ASSESSMENT OF MAINTENANCE REQUIREMENTS

3.1 INTRODUCTION

In this phase of the study, the maintenance requirements are determined for the hypothetical situation that the cable was buried in 1974 and has a life span of 40 years.

Because the burial depth study is used to find the optimal burial depth scenario the maintenance requirements are determined for a number of burial depths and reburial depths. The results of the assessment are then used in a separate CAPEX-OPEX assessment to determine the optimal burial depth from a financial point of view.

In paragraph 3.2 the starting points for this assessment are presented. Paragraph 3.3 describes the approach followed to assess the maintenance requirements. The results of Phase 1 of the study are presented in paragraph 3.5.

3.2 STARTING POINTS

The following starting points are taken into account in this study:

Number of cables

Currently a total of four 220 kV cables are foreseen between the mainland and the BWFZ and one 66 kV cable between the Alpha and the Beta platform. However, all calculations in this report are made for the installation and maintenance of one cable and therefore need to be multiplied by four to account for all cables.

Initial burial depth

Calculations have been made for five different initial burial depths: 2, 3, 6, 8 and 10 m. The cable installation will consist of jet trenching to a depth of 2 m or 3 m and, in case the cable needs to be buried deeper, the local bathymetry is first lowered by means of dredging; a trench is dredged at the cable route with a width of 14 m (wide enough to enable passing of a jet trencher), side slopes of 1:4 and a depth sufficient to enable burial of the cable with a jet trencher after trench creation. Alternatively, the cable could be installed by jet trenching to a depth of up to 10m below seabed using a so called “Vertical Injector” without the requirement of dredging. In case a jet trencher would be used capable of installing the cables to a depth between 3m and 10m, for instance to 6m below seabed, that would reduce the dredging volumes needed to achieve the required burial depth requirements beyond 3m. The selection of the method for the installation will depend

on the solutions provided by the market and on the environmental impact assessment of those methods. The installation to large depths of up to 6m, or even up to 10m, by dredging followed by jet trenching to a 2m below seabed is to be considered the worst case scenario for the installation.

Equal initial burial depths have been considered along the cable trajectory where sand bank migration is the dominant process (KP 0 – KP 40). Because limited historic bathymetric information is available between KP 40 – 67, where sand waves play a dominant role, the effects of sand waves on the maintenance needs are determined under phase 2 of this study (Chapter 4). Pre-sweeping of the sand waves is considered base case for the installation in those areas.

Minimal burial depth

The minimal burial depth considered for this study to provide protection to the cable should be at least 1.0 m along the entire cable route. In order to assess the effect to the maintenance requirements, also a minimal burial depth of 0.5 m has been considered. Initial installation along the Western Scheldt section will be 3.0m below seabed to meet the requirements of the Dutch authorities.

In the navigation channel in the Rede van Vlissingen (approximately KP 7 – 13) and Honte (or Put van Borssele) (approximately KP 0 – 2) an additional minimum installation depth considered is LAT -25.0 m, which relates to potential future deepening of the access channel to Antwerp.

Cable reburial

In case, due to the morphological behaviour of the seabed in time, the depth of the cable becomes smaller than the minimal burial depth (0.5 or 1.0 m) the cable needs to be reburied. This reburial will take place either by jet trenching or by mass flow excavation. By means of jet trenching the cable can be reburied up to in the order of 2 m below the seabed, whereas mass flow excavation can bury the cable in the order of 3 m below the seabed (reference: installation and maintenance of BritNed and NorNed cables in similar soil types).

Maximum burial depth

The cable in operation emits heat to its surroundings. To ensure that no overheating takes place, the cable in its basic design cannot be buried deeper than 6 m below the seabed if the seabed comprises sand and its cores are made out of aluminium. At deeper depths, the surroundings of the cable are insufficiently cooled down by the transport of heat via soil and seawater above the cable. In case, due to the morphological behaviour of the seabed, the depth of the cable exceeds 6 m, a trench should be dredged above the cable to guarantee the maximum cable burial requirements applicable to a cable of the basic design. The dimensions of the trench above the cable used for the calculations are equal to the trench dimensions during installation (14 m wide, 1:4 slope).

Maintenance of the trench

A trench in a morphological very active location will have the tendency to fill-up with sediment. In this first assessment, the yearly sedimentation in the trench is set to 50% of the trench depth with a maximum of 3 m.

One meter of sediment will thus need to be dredged in a trench with a depth of 2 m and a layer of 3 m will need to be dredged in a trench with a depth of 6 m or deeper. Above maintenance requirements are explained in more detail in section 3.3.

Life time

In this study the maintenance needs are determined for the hypothetical situation that the cable was buried in 1974, and has a life span of 40 years. To assess the sensitivity of different periods on the results also the 40-year period between 1964 -2004 and 50-year period between 1964 - 2014 are taken into account.

3.3 APPROACH

The approach to determine the maintenance needs of the four cables for their entire lifetime as described below is followed.

Calculation of required maintenance based on evolving bathymetry

To calculate the required maintenance, first the 13 available historic bathymetric dataset are linearly interpolated to gain the bathymetry for every year between 1964 -2014.

Next, the cable burial depth along the route is assessed in time. First the cable is hypothetically buried in 1974 for 5 different burial depths. For every year after 1974, the minimum and maximum burial depth requirements are verified. As soon as the cable depth exceeds the minimum burial depth requirements the cable depth is adjusted by the reburial depth. This simulates jet trenching / mass flow excavation to increase cable depth. In case the maximum burial depth requirement is exceeded the bed level above the cable is lowered. This simulates jet trenching / mass flow excavation to increase cable depth or dredging to decrease bed level.

In this way, for every 100 m along the trajectory and for every year the required cable depth is calculated, together with the necessary dredging volumes and reburial needs. By this assessment, the effects of variations in the requirements (minimum-, maximum-, reburial- and initial burial depth) on the required maintenance can be determined.

Sedimentation in the trench above the cable

The maximum allowed cable depth in sand for the basic cable design is 6 m, but through dynamics of the sea bed the cable depth might exceed this value at some point in time. In this case, a trench has to be dredged above the cable, to reduce the depth of burial. By doing so, the cable can more efficiently emit its heat as the surrounding sediment is cooled down by the seawater above the cable route. The dredging volumes for the construction of this trench are determined, as well as the required amount of maintenance dredging within the trench (see paragraph 3.4).

Bed level evolution in time and related cable position and maintenance needs

To illustrate how the reburial needs and trench requirements are determined, the evolution of the bed level and resulting cable position are presented in Figure 3.1 for KP 4. KP 4 is illustrated below because it is most illustrative. The analysis and related figures are also made for every 100 m along the trajectory and presented in Appendix E.

The upper plot of Figure 3.1 illustrates the evolution of the bed level and cable position through time for trajectory KP 4 where the cable is initially buried 2 m below the bed. The black line represents the bed level evolution, the dotted black line the minimum bed level (bed level – 1 m). The black dashed line presents the depth which needs to be maintained. The red line presents the cable position.

Figure 3.1, lower plot, illustrates the evolution of the burial depth of the cable (blue line) and the layer of sediment above the cable that needs to be dredged to comply with the maximum burial depth requirement.

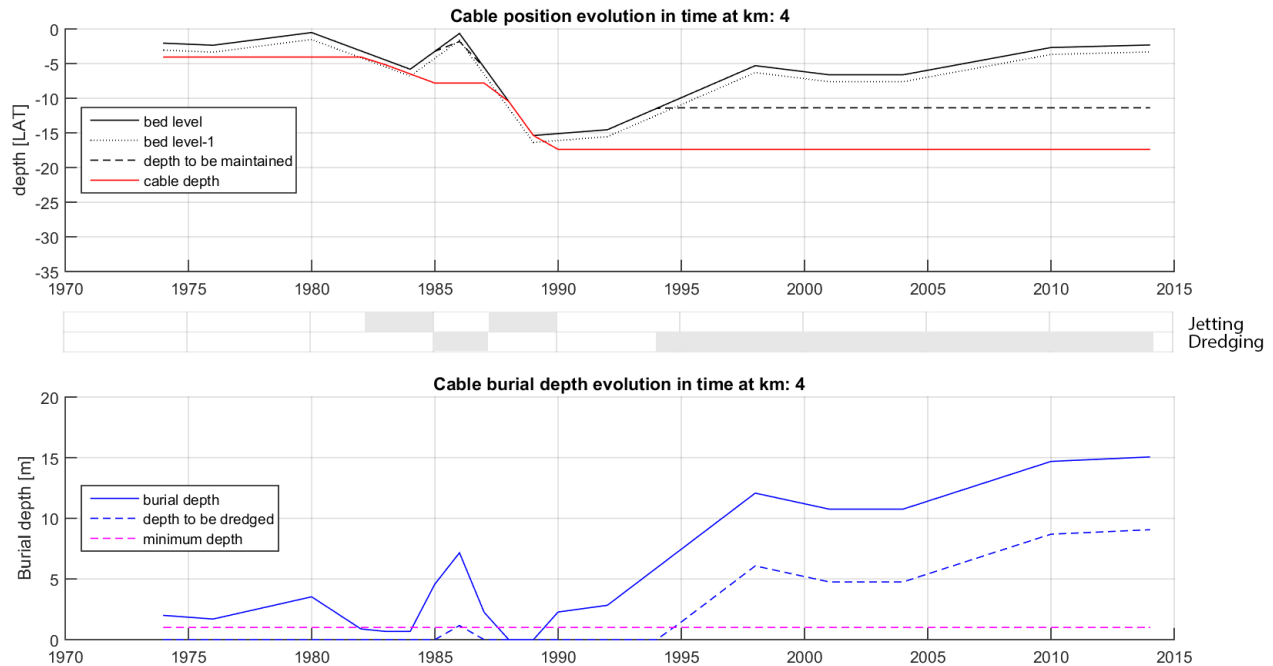


Figure 3.1: Bed level and cable position evolution in time (upper plot) and burial depth and related sedimentation rates (lower plot) at trajectory KP 4 [alternative I02R02M10]

Following the cable depth from its burial in 1974 until 2014, it follows from Figure 3.1 that:

- Between 1974 and 1982, the burial depth is larger than the minimum depth, but less than the maximum depth, so no maintenance is required;
- In 1982, the cable depth becomes less than 1m, so the depth is increased by trench jetting to a depth of 2 m below the bed;
- From 1982 on the bed level continues lowering, making jetting also necessary in 1983 and 1984;

- Between 1984 to 1986 the bed level increases, even to more than 6m above the cable in 1986. This implies that dredging has to take place in this year;
- After 1986, the bed level decreases again. The decrease is so large, that the cable reaches the bed surface even when jetting takes place. This implies that in this case a higher jetting frequency is necessary: 2-3 times per year, instead of the applied once a year;
- After 1994, due to the rising bed level the maximum burial depth criteria is reached again and from 1994 on, dredging of a trench above the cable is required;
- The depth of the required trench increases in time and reaches a depth of 9 m in 2014.

In 2014 the cable is reburied 6 times and dredging has taken place in about 22 years of the total 40-year lifespan.

In Figure 3.2 (upper plot) the trench depth and trench sedimentation evolution in time are presented. The trench depth is presented with the black line, the trench sedimentation (in meter per year) with the blue line. The model takes into account that, if a trench above the cable needs to be maintained, the annual sedimentation is 3 m/year (see paragraph 3.4). Due to this trench sedimentation, extra dredging is required to maintain the maximum cable burial depth. The related dredging volumes are given in Figure 3.2 (lower plot). The volumes to create and deepen the trench are presented in red, the dredging volume to maintain the trench in blue and the total volumes in black.

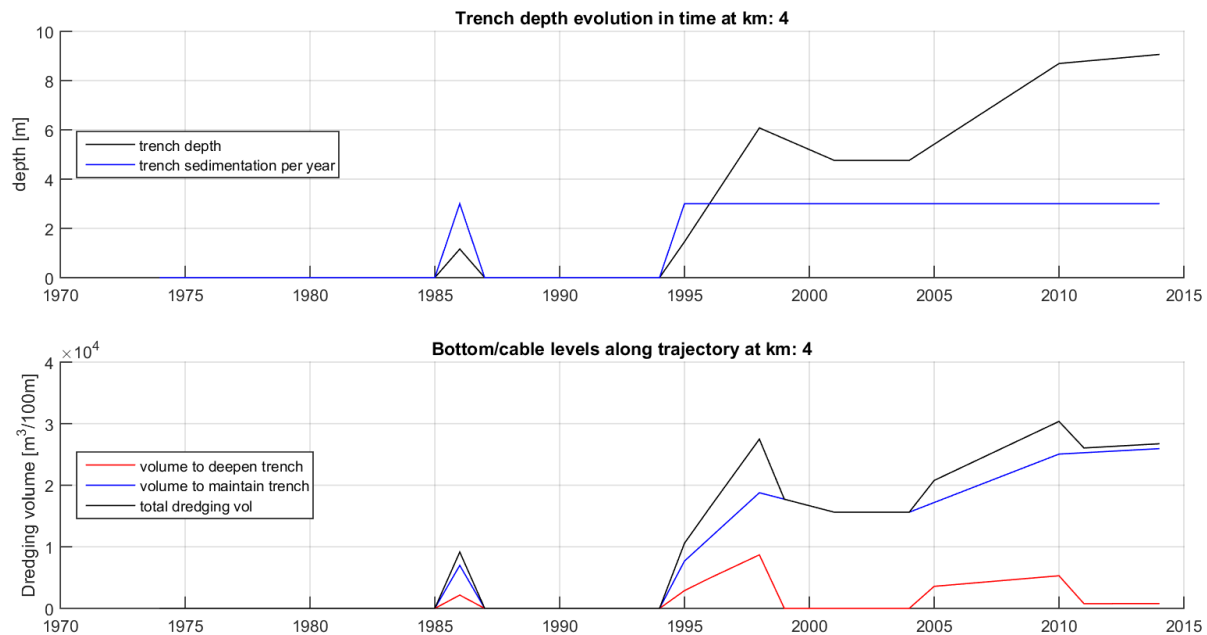


Figure 3.2: Trench depth and sedimentation evolution (upper plot) and dredging volume evolution in time for trajectory KP 4 [alternative I02R02M10].

The following can be interpreted from Figure 3.2:

- In 1986 and from 1994 onwards, a trench needs to be dredged above the cable;
- When a trench is required, the sedimentation within the trench is 3 m/ year (see paragraph 3.4);
- The volumes to create the trench are significantly smaller than the required maintenance dredging volumes within the trench.

The analysis above illustrates how the need for cable reburial and related maintenance dredging requirements are determined. Above analysis has been made for every 100 m along the trajectory between KP 0 and KP 40, where the movement of sand dunes are of importance.

3.4 SEDIMENTATION IN THE TRENCH ABOVE THE CABLE

As indicated above, the maximum allowed cable depth in sand for the basic cable design is 6 m, but through dynamics of the sea bed the cable depth might exceed this value at some point in time. In this case, a trench has to be dredged above the cable, to reduce the distance between the cable and the seabed. Inside a trench, sediment transports are lower than outside the trench due to smaller bed shear stresses. As a result, sediment will be trapped inside the trench and this sediment needs to be dredged to keep the trench at its required depth.

In this phase 1 of the study, the maintenance needs of the trench have been studied by considering the sediment transports and infill rates in general at the North Sea and in the Western Scheldt area. No detailed calculations have been made for every kilometre along the trajectory.

In this phase of the study the maintenance needs of the trench are based on:

- Calibration of SEDTUBE model based on available data of sedimentation in a trench in the North Sea near Scheveningen
- Sedimentation calculations with SEDTUBE at the North Sea area and in the Western Scheldt.
- Interpretation of flow velocities from the Kustzuid numerical hydrodynamic model

Calibration of SEDTUBE model on Scheveningen data

In Figure 3.3 the measured initial bed level (red line) and measured bed level after 6 months (yellow line) of a trench offshore Scheveningen are shown. Besides, in blue the computed bed levels with SEDTUBE are presented. After optimization of the input parameters, the SEDTUBE model results are in general agreement with the measured bed level evolution. Based on this considered case, the SEDTUBE model is well able to predict the sediment infill in channels in the North Sea area. The Scheveningen measurements show that a trench with a depth of about 3.5 m and a width comparable to the required trench at Borssele (about 15 m at the deepest point, 50 m at the bed level) can fill-up with about 2.0-2.5 m in 6 months.

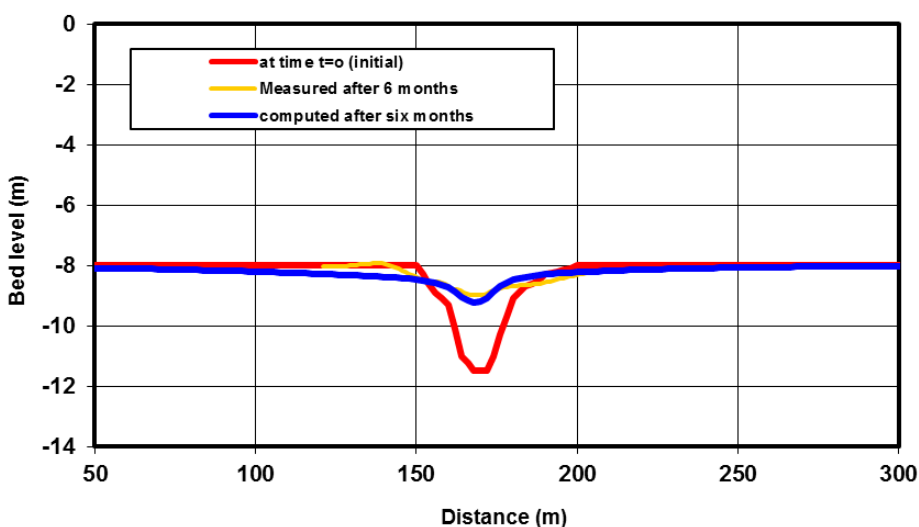


Figure 3.3: Sedimentation in a trench in front of Scheveningen. Comparison between measurements and SEDTUBE model results.

SEDTUBE model results

The SEDTUBE model has been applied to estimate the sediment infill in case a trench is dredged on the Voordelta and in the Western Scheldt (Spijkerplaat). SEDTUBE calculations for a trench on the Voordelta show that, because of the comparable hydrodynamic conditions, the sediment infill is comparable to the Scheveningen case. Depending on the trench depth and surrounding depth, within 1 year about 2.5 - 4 m of sediment deposits in the trench.

Table 3.1. Sediment infill in the trench for a number of locations/ alternatives

	Trench depth [m wrt MSL]	Tide average ebb-velocity [m/s]	Tide average flood velocity [m/s]	Wave height [m]/ period [sec]	Flow approach angel [deg]	Sedimentation per year [m]
Scheveningen	3	0.47	0.50	0.75 m, 6 sec	90	2.5-4.0
Voordelta	3	0.47	0.50	0.75 m, 6 sec	90	2.5-4.0
Voordelta	6	0.47	0.50	0.75 m, 6 sec	90	3.0-4.0
Spijkerplaat	3	1.2	1.0	0.50 m, 5 sec	30	2.5-3.0
Spijkerplaat	6	1.2	1.0	0.50 m, 5 sec	30	3.0-4.0

Calculations with the SEDTUBE model for a trench located in the Spijkerplaat region have also been made. On the Spijkerplaat the flow velocities are much higher than in the North Sea area. However, the flow approaches the channel under a relative sharp angle (10-30 degrees), which influences the sedimentation rate in the channel. This has been taken into account in the SEDTUBE calculations (the trench-parallel flow vector is taken and the channel dimensions in the direction of the flow have been considered). In Table 3.1 a

number of parameter settings and SEDTUBE model results are presented for the considered cases. Figure 3.4 shows the evolution of the trench bed level in time.

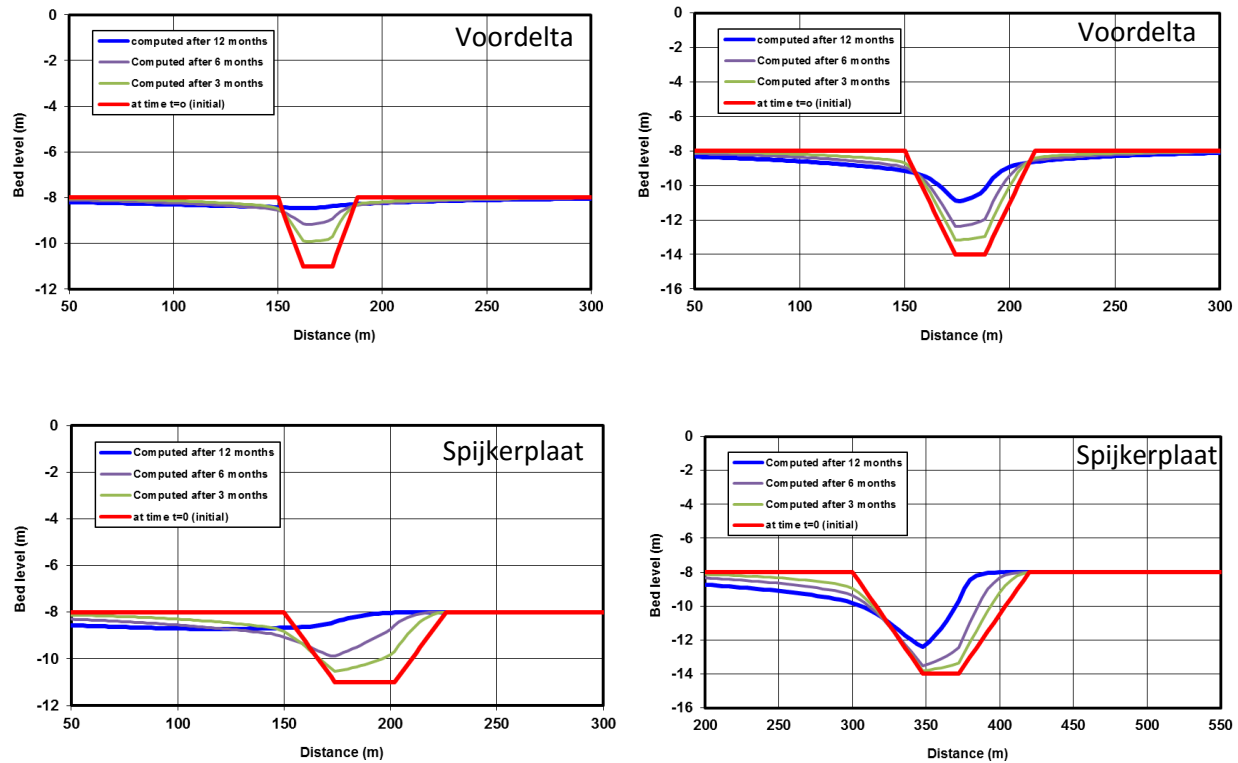


Figure 3.4: SEDTUBE model results for 2 cases in the Voordelta and 2 cases on the Spijkerplaat

The model results of the Spijkerplaat cases show that, due to the very strong tidal currents and despite the fact that the tidal current approaches the trench at a relatively small angle (10-30 degrees), the sediment infill can be relatively high. It is noted that the hydrodynamic conditions in the Western Scheldt are different from those near Scheveningen. Although the most important physics are included in the SEDTUBE model, the model results cannot be verified with measurements which would increase the level of accuracy of the model output.

Applied sedimentation rate

Based on the Scheveningen data and SEDTUBE calculations, the yearly sedimentation rate of a trench in the project area is set to 3 m/ year, independent of trench depth or trench location. The 3 m value is also set for relatively small trenches (< 3 m), which would fill-up within months but need to be regularly maintained due to which the summed sedimentation will also be in the order of 3 m.

At locations in the Western Scheldt where the flow approach angle is much more perpendicular to the trench angle (for example in the Honte) the sedimentation rates will be much higher than 3 m/ year. On the other side, in areas where the flow approach angle is sharper or flow velocities are lower the sedimentation will be

less. It is thereto noted that the applied sedimentation rate in this phase of the study is a best estimate including large uncertainties.

3.5 RESULTS

3.5.1 Introduction

The capital dredging volumes for cable installation are described in paragraph 3.5.2. The maintenance requirements (both dredging & reburial) are described in paragraph 3.5.3 and a sensitivity analysis is described in paragraph 3.5.4.

3.5.2 Capital dredging for cable installation

KP 0 – 38, Western Scheldt & Voordelta

The capital dredging volumes are calculated for a number of initial burial depths and two jet trenching depths. The dredging volumes are presented in below table.

Table 3.2. Capital dredging volume for different initial burial depths between KP 0 – 38 (volume per cables)

Initial burial depth [m]	Capital dredging volume [x1000 m³]	
	Jet trenching depth = 2.0 m	Jet trenching depth = 3.0 m
2	130	100
3	170	100
6	800	500
8	1.700	1.200
10	2.900	2.200

KP 38 – 67, Sand waves & Zeelandbanken

For the sand wave area (KP 38 to 67) the capital dredging volumes are shown in table below. The capital dredging volumes and position of the cable has been determined as follows:

- selecting the troughs of the sand waves;
- connecting the individual troughs of the sand waves with a line;
- For a number of scenarios, the cable position below the bed is in steps decreased with 0.5-2.5 m;
- The dredging volumes are calculated, considering both the 2 m and 3 m trenching depth.

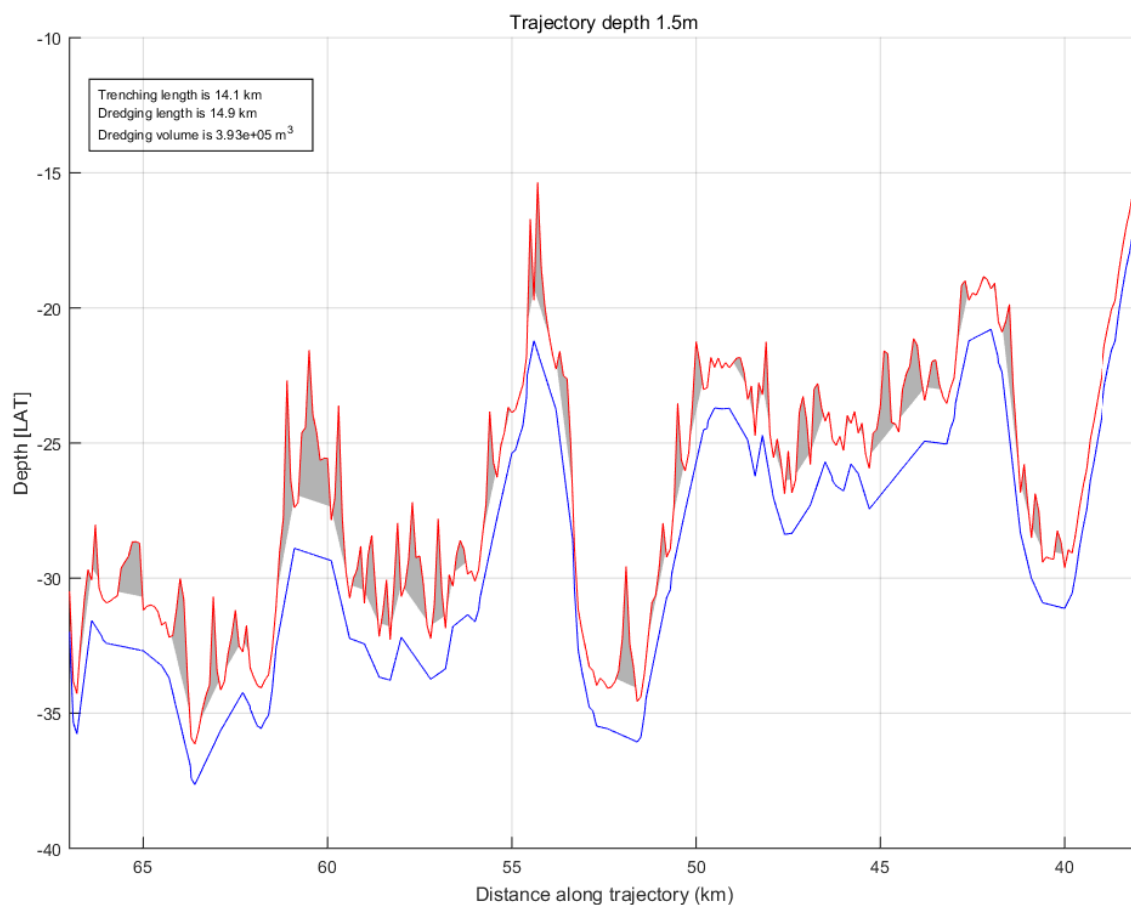


Figure 3.5: Position of the cable below the sand waves and required dredging volumes in case the cable is positioned 1.5 m below the trough-to-trough line and the cable is buried with a trencher up to 2 m below the dredged bed

In Figure 3.5 the bed level (red line) and the cable position along the trajectory (blue line) are presented. The grey areas represent the area to be dredged in case a trenching depth of 2 m is applied. Figures for all considered situations (depths of 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 m and trenching depth of 2.0 and 3.0 m are presented in Appendices: A06.1 – A06.12. The derived capital dredging volumes are presented in below table.

Table 3.3. Capital dredging volume for different initial burial depths between KP 38 -67 (volume per cable)

Initial burial depth [m]	Capital dredging volume (jet trenching depth is 2.0 m) [x1000 m³]	Capital dredging volume (jet trenching depth is 3.0 m) [x1000 m³]
0.0	90	27
0.5	153	50
1.0	249	90
1.5	393	153
2.0	612	249
2.5	953	393

3.5.3 Maintenance needs kilometre 0 - 38, Western Scheldt & Voordelta

Based on the described approach, maintenance need calculations for KP 0 – 38 for the below scenarios have been made. Maintenance requirements for KP 38- 67, where sand waves play an important role and where only limited historic bathymetric information is available, will be determined in phase 2 of the study.

The following parameters have been varied in the study:

- 5 initial burial depths [2m, 3m, 6m, 8m, 10m]
- 2 reburial depths [2m ,3m]
- 2 minimal burial depths [0.5 m, 1.0 m]

The naming of the scenarios is shown in [Table 3.4](#).

Table 3.4. Naming of the considered different alternatives (I: initial, R: reburial, M: minimum burial depth)

Initial burial	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
2	I02R02M10	I02R03M10	I02R02M05	I02R03M05
3	I03R02M10	I03R03M10	I03R02M05	I03R03M05
6	I06R02M10	I06R03M10	I06R02M05	I06R03M05
8	I08R02M10	I08R03M10	I08R02M05	I08R03M05
10	I10R02M10	I10R03M10	I10R02M05	I10R03M05

For every scenario, the yearly maintenance needs per 100 m of the trajectory between KP 0 to 38 have been calculated. The overall results of the study are presented in underlying report. The results per 100 m section per year are written to a Result Excel file.

In Figure 3.6 and Figure 3.7 the evolution of the bed level along the trajectory is presented and the final cable depth after 40 years (in 2014) is shown for scenario I02R02M10 and I10R02M10. The evolution of the bed level along the trajectory for the other alternatives is presented in Appendix A07.1 to A07.40. Comparing both figures shows that in scenario I10R02M10 the cable is situated much deeper than in scenario I02R02M10 as a result of the initial burial depth. Due to the limited bed level variations between KP 12 - 40, based on the seabed morphodynamics, cable burial deeper than 2 to 3 m at these locations is not required. This means that the cable in scenario I02R02M10 is situated too deep in a large part of the trajectory, which results in unnecessary maintenance dredging needs.

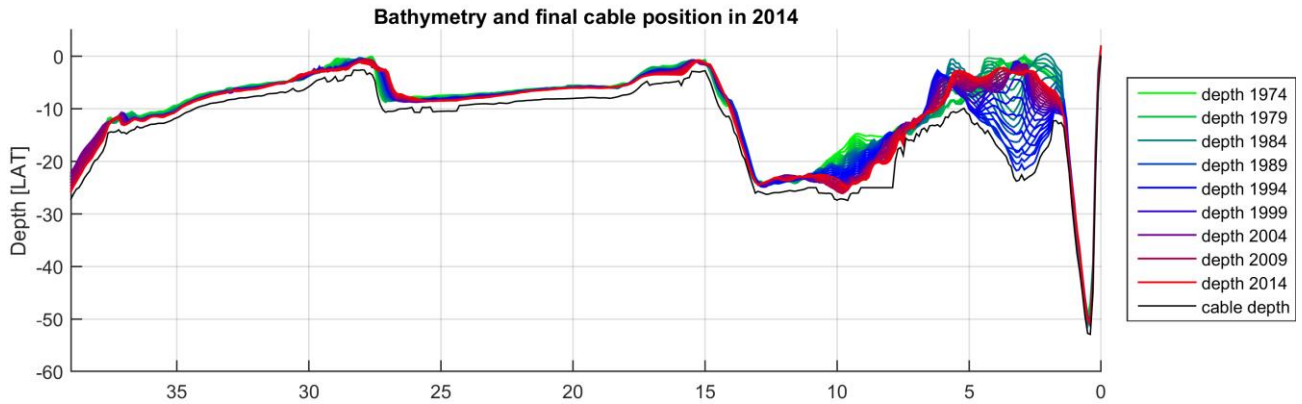


Figure 3.6: Bed level between 1974 – 2014 and final cable depth in 2014 for scenario I02R02M10

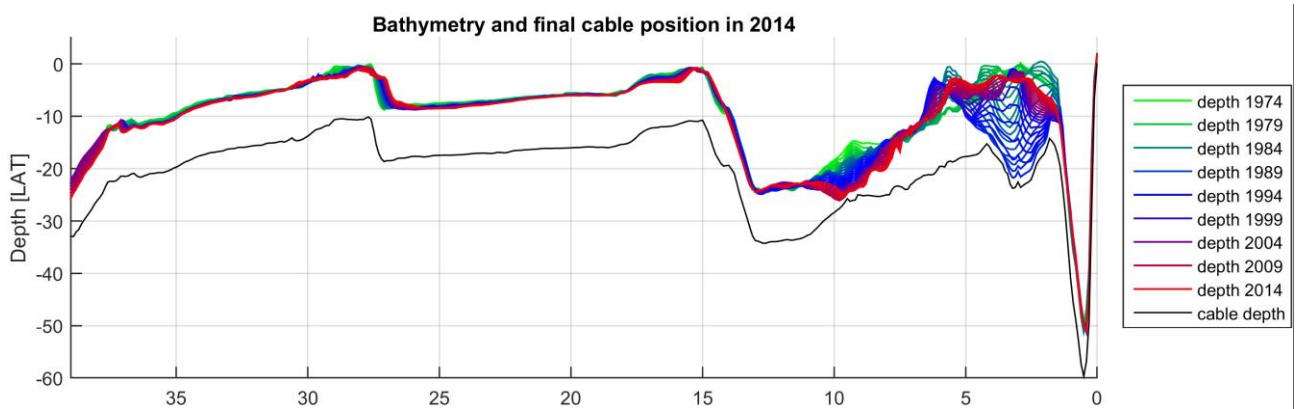


Figure 3.7: Bed level between 1974 – 2014 and final cable depth in 2014 for scenario I10R02M10

Figure 3.8 and Figure 3.9 show the cable position evolution in time between 1974 and 2014 for identical scenarios as above: I02R02M10 and I10R02M10. The figures show the number of reburial needs along the trajectory. In case the cable is initially buried at a depth of 2 m, reburial is required at a number of locations whereas in case the initial burial depth is 10 m, the reburial locations are limited to the Spijkerplaat only (KP 2 – 4).

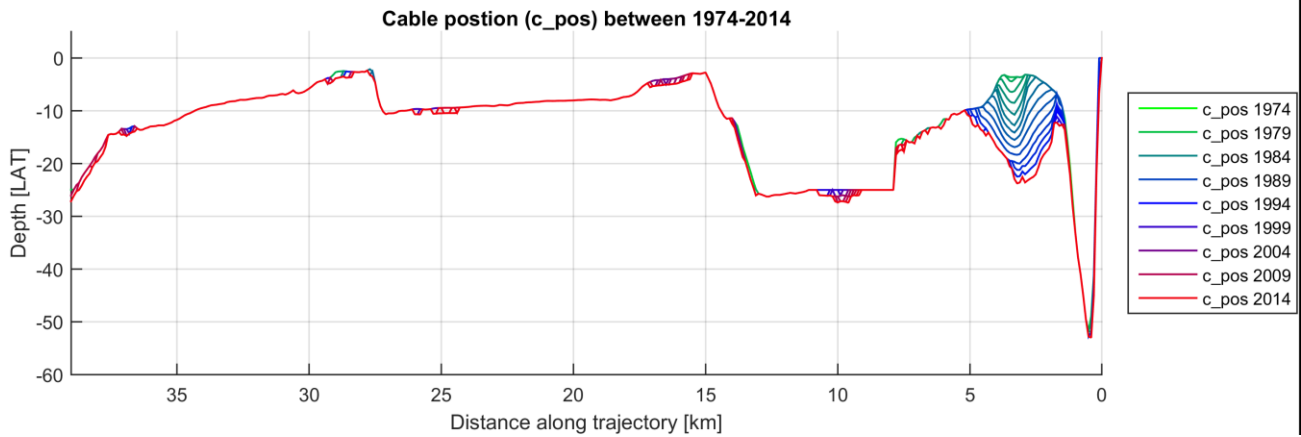


Figure 3.8: Cable position evolution between 1974 – 2014 based on minimum depth requirements for scenario I02R02M10

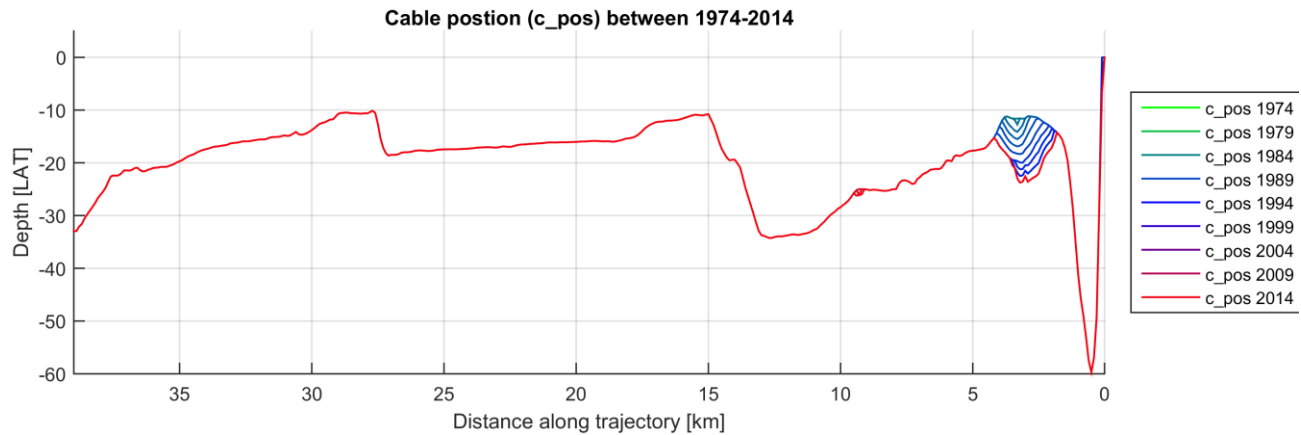


Figure 3.9: Cable position evolution between 1974 – 2014 based on minimum depth requirements for scenario I10R02M10

Reburial needs

Based on the followed approach, starting points and historic bathymetric data the reburial needs are assessed. In Table 3.5 the total required reburial cable length for the considered scenarios is shown. The required reburial length varies per scenario between 39.3 km for the smallest initial burial depth and reburial depth to 5.7 km for large initial burial depths and reburial depths. The values apply to the installation of one cable during a life span of 40 years.

Table 3.5: Required reburial length between 1974-2014

Initial burial	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
2	39.3	28.7	27.8	19.2
3	28.6	19.9	21.8	14.5
6	18.3	12.4	14.9	9.7
8	14.8	9.5	11.9	7.8
10	11.5	7.3	9.2	5.7

Table 3.6 shows the number of times reburial is required over the lifetime of the cable. The number of times reburial is required is determined by considering sections of 100 m along the trajectory and verifying whether each individual section along the trajectory needs maintenance. In case in one year, one or more sections need maintenance this is counted as one reburial time. This calculation has been made with an interval of one year (leading to 40 times in case reburial is needed in every year during the 40 year lifetime).

Table 3.6: Required times reburial is required per cable between 1974 - 2014

Initial burial	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
2	37	37	33	32
3	32	30	27	25
6	24	22	18	17
8	19	18	15	14
10	13	12	10	9

Maintenance dredging needs

The total required maintenance dredging needs in a life time of 40 years are shown in Table 3.7. The average yearly maintenance dredging volumes are shown in Table 3.8. Again, the presented values apply to the maintenance of one cable during a life time of 40 years.

The tables show that the maintenance requirements strongly vary per scenario with lowest dredging needs for small initial burial depths and large dredging needs for large initial burial depths. For large initial burial depths, the maximum burial depth criterion is exceeded almost along the entire cable route which implies that a trench is required above the entire trajectory which should be maintained continuously.

Table 3.7. Required maintenance dredging volumes (million m³/ 40 years per cable) between 1974-2014

Initial burial	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
2	20.8	21.5	20.1	20.5
3	22.3	22.8	21.8	22.1
6	52.3	52.8	51.8	52.1
8	157.3	157.7	156.8	157.4
10	234.5	234.9	234.1	234.1

Table 3.8. Required 40-year average maintenance dredging volumes (million m³/ years per cable) between 1974-2014

Initial burial	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
2	0.5	0.5	0.5	0.5
3	0.6	0.6	0.5	0.6
6	1.3	1.3	1.3	1.3
8	3.9	3.9	3.9	3.9
10	5.9	5.9	5.9	5.9

3.5.4 Sensitivity analysis

Additional to the above described scenarios, a number of calculations have been made to determine the sensitivity of the results. Additional calculations have been made for sedimentation rate in trenches of 2 and 4 m. Moreover, calculations have been made for different time periods, see below.

- Sedimentation rate of 2 m/ year and 4 m/ year (3 m by default).
- Time period of 1964 – 2004 (40 years) and 1964 – 2014 (50 years) (1974-2014 by default).

Sensitivity analyses on sedimentation rate

In Table 3.10 the required maintenance dredging volumes are given for a sedimentation rate of 2 m, 3 m and 4 m. The maintenance dredging volumes for a sedimentation rate of 2 m are approx. 30% lower – and for a sedimentation rate of 4 m approx. 30% higher compared to a sedimentation rate of 3 m as used in this study.

Table 3.9. Required maintenance dredging volumes (million m³/ 40 years per cable) between 1974-2014.

Reburial	Reburial depth: 2.0 m, minimum burial depth 1.0 m		
Initial burial	2 m sedimentation	3 m sedimentation	4 m sedimentation
2	14.5 -30%	20.8	27.0 +30%
3	15.6 -30%	22.3	29.0 +30%
6	35.9 -31%	52.3	68.6 +30%
8	106.3 -32%	157.3	208.4 +30%
10	158.1 -32%	234.5	310.9 +30%

Sensitivity on maintenance period

In Table 3.10 the required reburial length is presented for the three considered periods. The table shows that the differences in reburial length for the two 40-year periods are limited. The reburial lengths for the 50-year period are 3 to 19 % longer compared to the 1974-2014 scenario.

Table 3.10. Required reburial length for three different periods

Reburial	Reburial depth: 2.0 m, minimum burial depth 1.0 m		
Initial burial	1974-2014	1964-2004	1964-2014
2	39.3	39.9	46.4 +16%
3	28.6	29.5	33.4 +13 %
6	18.3	19.2	20.5 +7%
8	14.8	14.8	15.2 +3 %
10	11.5	11.9	11.9 + 0%

In Table 3.11 the required maintenance dredging volumes are given for the three considered periods. The maintenance dredging volumes for the period 1964 – 2004 is smaller for the initial burial depths of 2 m and 3 m (about 25%) compared to the 1974 – 2014 required maintenance dredging whereas for the initial burial depths of 6 – 8 m the required volumes are larger. In case a 50-year lifetime is considered the maintenance dredging volumes increase between 13 % and 55 %.

Table 3.11. Required maintenance dredging volumes (million m³/ 40 years per cable) between 1974-2014

Dredging	Reburial depth: 2.0 m, minimum burial depth 1.0 m		
Initial burial	1974-2014	1964-2004	1964-2014
2	20.8	15.8	24.5 +18%
3	22.3	16.9	25.8 +16%
6	52.3	65.1	81.5 +56%
8	157.3	165.2	202.7 +29%
10	234.5	245.8	300.1 +28%

4 PHASE 2: DETAILED ASSESSMENT OF MAINTENANCE REQUIREMENTS

4.1 INTRODUCTION

Under phase 1 of this study (Chapter 3), the maintenance requirements are determined for the hypothetical situation that the cable was buried in 1974 and has a life span of 40 years. Under phase 2 of the study the maintenance requirements are determined for the situation the cable is buried in 2017.

To determine the future maintenance requirements, first a prediction of the evolution of the bed level along the cable trajectory needs to be made. In this study the prediction is made with help of a so-called empirical prediction tool. The method is further explained under Section 4.2.

Section 4.3 describes the approach and the results of the expected evolution in bed level between 2017 and 2057 within the area where sand waves play an important role (KP 38 – 67). Section 4.4 describes the approach and resulting bed level evolution predictions along the trajectory through the Voordelta, Vlakte van de Raan en Westerschelde (KP 0 – 38).

In Section 4.5 the maintenance requirements are given for the entire trajectory, cable burial in 2017 and a maintenance period of 40 years (up to 2057).

4.2 EMPIRICAL BED LEVEL EVOLUTION PREDICTION TOOL

4.2.1 Introduction

To be able to give a good estimate on the amount of expected maintenance, the behaviour of the most important morphological structures (sand waves, sand banks, channels) need to be predicted. Up till present it is still very difficult to predict the long term morphological behaviour of morphological structures with numerical models. In the recent past various morphological models have been setup of the Western Scheldt, i.e.; Finel model in Van Dam et al. (2015), Delft3D model in Grasmeyer (2013) and in Kuijper et al. (2004). On a larger scale and relative short time scale these models show a reasonable comparison with measurements. However, when considering longer time scales and looking at the results in detail, for instance along a trajectory, the difference between model results and measurements become much larger. Differences in predicted bed level by the numerical model and measurements can easily exceed a number of meters. Because in this study both the longer time scales and detailed vertical position of the bed level along the trajectory are of importance, it has been decided not to use a numerical morphological model. Instead, in this

study the evolution of the bed level has been determined with an empirical bed level evolution prediction tool.

The empirical bed level evolution prediction tool is a tool of which its functions are based on the development and trends of the bed levels in the (recent) past and which are then used to predict the bed level evolution for the future.

The prediction tool becomes more accurate when more historical information is available. In the study area a large number of bathymetrical surveys are available, even going back to 1800 (see Section 2.2). This valuable dataset is perfectly usable to understand the morphological behaviour of the study area and to ‘feed’ the empirical model with.

While applying the empirical model, it is of importance to distinguish the different morphological features that play an important role along the trajectory. In Paragraph 2.4 the most important morphodynamic features and related morphological processes within the area have already been described. In order to give reliable predictions, it is important to know which extrapolation technique could be applied best. The required extrapolation technique depends on the time scales of the morphological features; whether these are cyclic or non-cyclic processes; and if they are stable or non-stable. The time scales and cycle times should be considered while predicting the bed level evolution for the coming 40 years.

Table 4.1. Characteristics of important morphologic features along the trajectory

KP	Area	Dynamics / bed forms	Height of bed form (m)	Variation in vertical bed level (m/ year)	Horizontal speed of bed forms (m/ year)	Cyclic?	Cycle period estimate (year)
67 - 38	Zeeland-banken	Stable sand banks	5 to 15	0.0 to -0.05	< 1	No	-
67 - 38	Zeeland-banken	Moving/ transforming sand waves	1 to 8	-0.1 to 0.1	-5 to 5	Yes / no	150 - 200
38 - 30	Voordelta	Stable bed with minor sand waves	1 to 3	-0.2 to 0.2	-	No	-
30 - 15	Vlakte vd Raan	Moving sand banks	5 to 10	0.0 to 1.0	5 to 25	Yes	150 - 300
15 - 7	Rede van Vlissingen	Cyclically shifting channel	-	-1.0 to 1.0	-10 to 10	Yes	100 - 150
7 - 2	Spijkerplaat	Shifting sand bank	10 to 25	-3.0 to 3.0	50 to 100	Yes	30 - 40
7 - 2	Spijkerplaat	Small sand waves	0.5 to 1.0	-0.1 to 0.1	unknown	Yes	5 - 10
2 - 0	Honte channel	Stable	-	-1.0 to 1.0	-5 to 5	-	-

In Table 4.1 a number of areas with important morphological features have been discriminated. The first two columns give the location along the trajectory and related area. The third column shows the typical morphological features that are present within these areas. In the fourth and fifth column the typical height of the bed forms and typical variation in height are given. In column six the horizontal speed is shown and in column seven and eight estimates are given of the cycle time of the morphological features. The cycle times are estimated based on literature and the available bathymetrical surveys of the areas.

In case the morphological features have a very long cycle time (i.e. > 150 years) linear extrapolation of the historic bed form behaviour would probably lead to the best prediction. However, applying this linear extrapolation on morphological features with shorter cycle times, in example the 30 – 40-year cycle present at the Spijkerplaat – Schaar van Spijkerplaat system, would result in large errors. At these sections the cyclic patterns should be incorporated.

In below sections it is described how the various morphological characteristics have been included in the tool and in which manner predictions have been made to predict the bed levels for the coming 40 years.

4.3 PREDICTED BED LEVEL EVOLUTION ZEELANDBANKEN, KP 38 - 67

4.3.1 Approach

Within the Voordelta and area where the Zeelandbanken are present (KP 38 – 67) the sand banks itself importantly influence the vertical position of the bed level. However, these sand banks are very stable and hardly move in time. Contrary, the sand waves moving on top of the Zeelandbanken dominate the fluctuations in vertical position of the bed level.

To be able to predict the bed level for the period 2017 to 2057 a detailed analysis has been made of the sand waves in the area. Thereto the below described approach has been followed. First, cross-sections have been made for every 100 m along the trajectory between KP 67 and KP 38. For most cross-sections three bathymetrical datasets are available; 1999, 2010 and 2015. For every cross-section along the trajectory the peaks and troughs of the sand waves are determined with help of a data analysis routine. In Figure 4.1 the identified peaks are visualized by coloured circles, the troughs by '+' signs. The average bed level has been calculated by averaging the bed level over the cross-sections using a moving average routine. The average bed level for 1999, 2010 and 2015 at cross-section 55 are presented with dashed lines in Figure 4.1

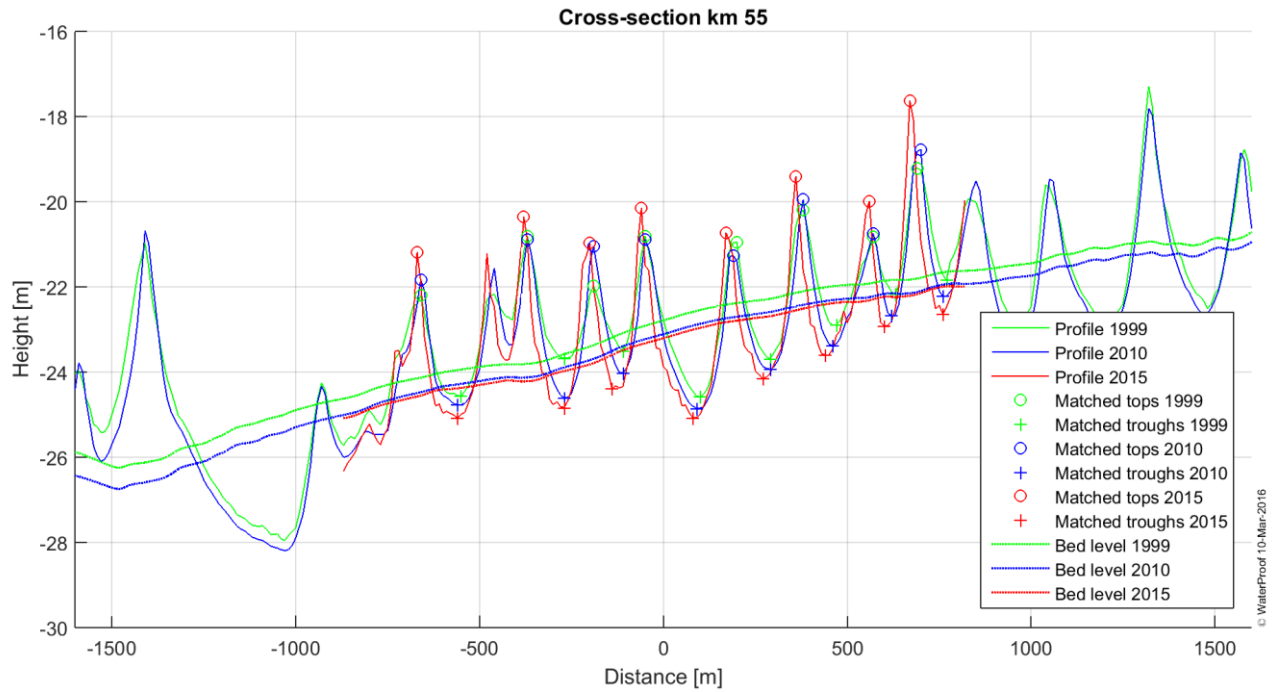


Figure 4.1: Identified peaks and troughs at a cross-section located at KP 55. Circles indicate identified peaks, '+' signs identified troughs.

The peaks and troughs are only found if they are identified in all three datasets. For instance, near location -500 in Figure 4.1 no peak and trough is found because the difference between peak and trough in 1999 was smaller than 1.0 m, and is thus filtered out. Also outside the survey area in 2015 no peaks and troughs are identified. The peaks and troughs have been used to calculate the sand wave height by subtracting the troughs from the peaks. The sand wave height versus average depth has been shown in Figure 4.2. The figure shows that the height of the sand waves is generally 3 to 4 m with highest sand waves occurring in the deeper areas of the North Sea ranging up to 9 m. In Figure 4.3 the horizontal speed of the trough and crest of the individual sand waves versus depth is shown. It can be seen that the speed of the sand waves generally varies between -3 and +3 m/year and that the shallower areas mostly migrate in a northern direction rather than towards the south.

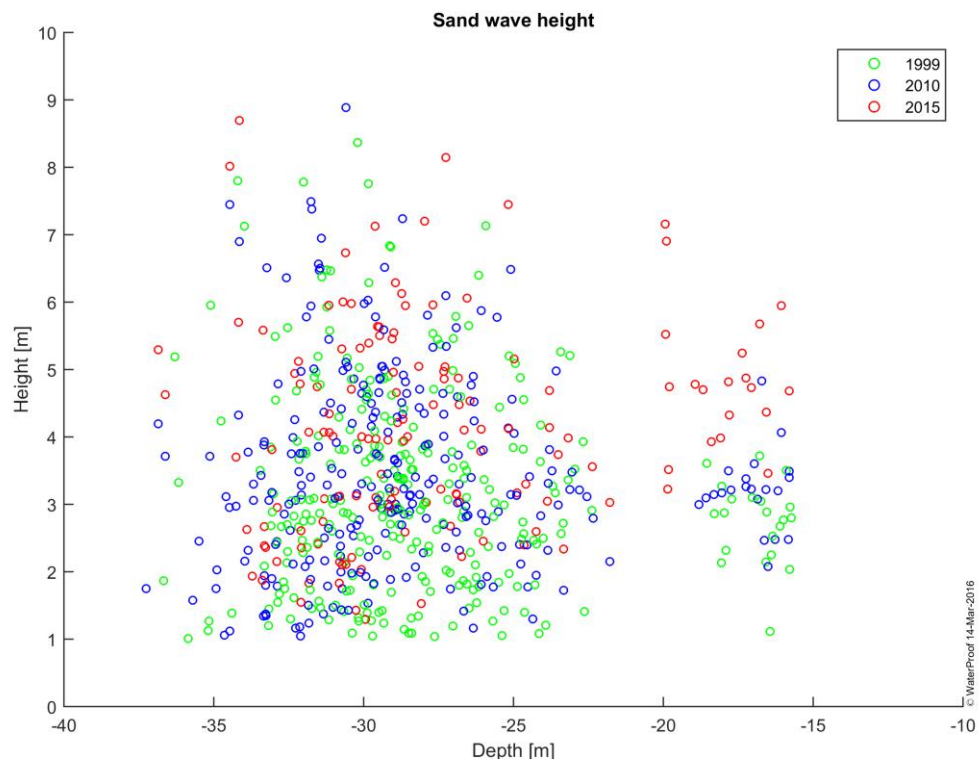


Figure 4.2: Sand wave height versus depth (left)

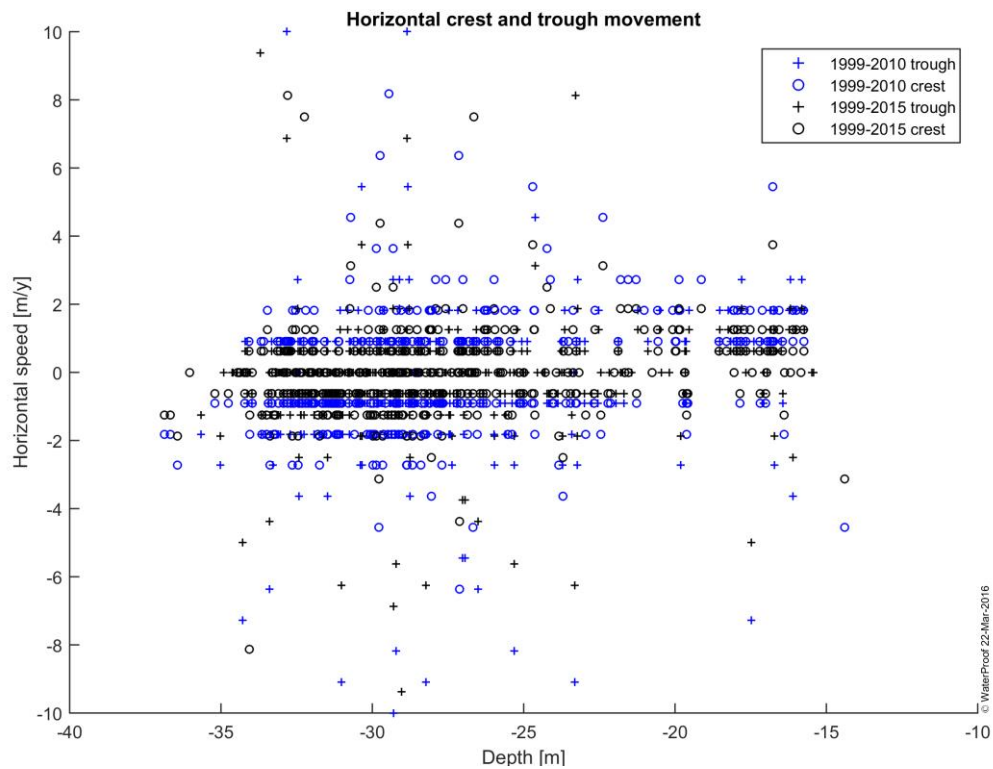


Figure 4.3: Horizontal speed perpendicular to the trajectory (m/y) of sand waves between 1999-2010 and 1999-2015

4.3.2 Statistical analysis

The dataset has been used for a statistical analysis to derive the probabilities of non-exceedance for sand wave height (m), sand wave migration speed perpendicular to the trajectory (m/year) and vertical speed of the trough and crest location (m/year).

In Figure 4.5 the probability of non-exceedance of sand wave height has been plotted for sand wave heights exceeding 1 m within the three largest available datasets (1999, 2010, 2015).

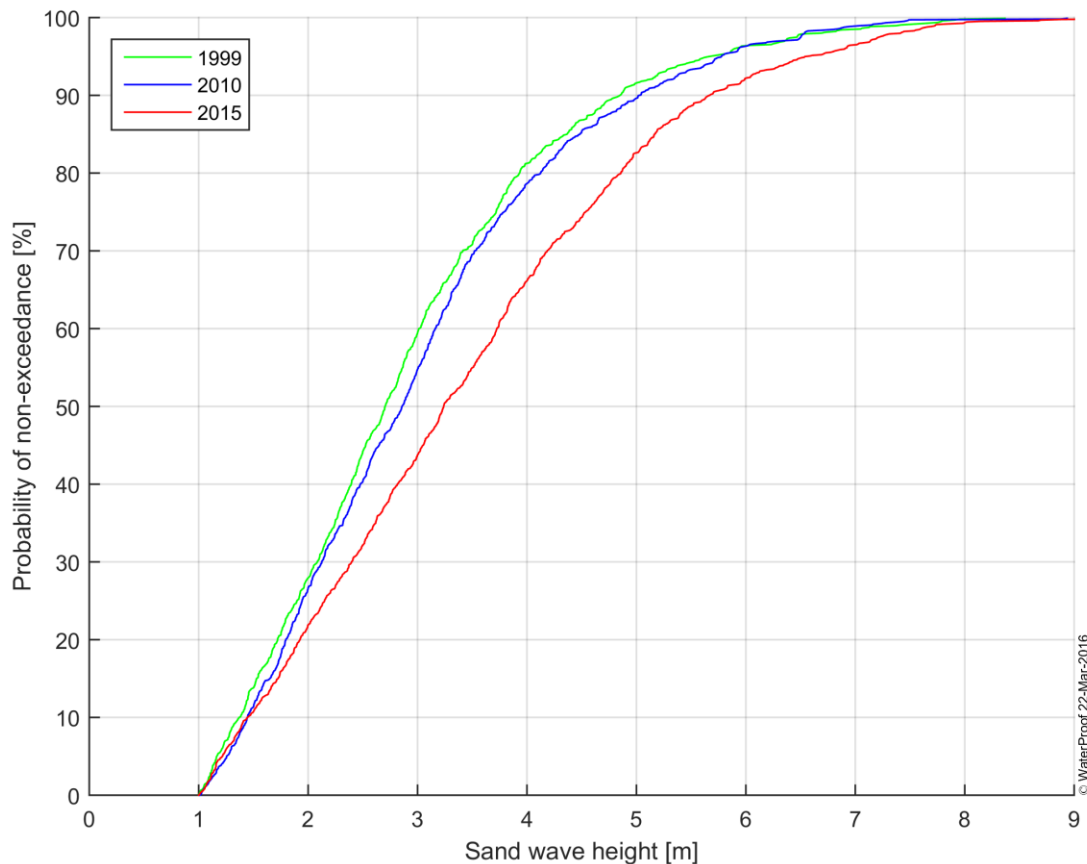


Figure 4.4: Non-exceedance of 1999, 2010 and 2015 sand wave height

In Table 4.2 the 5%, 50% and 95% non-exceedance values have been presented. Also the non-exceedance values of the Deltares study (Riezebos et al., 2014) have been added. Deltares has determined the probability of non-exceedance for the sand wave heights in the Borssele windfarm area and the results of both studies should thus be more or less comparable. The table shows that the derived sand wave heights for 2010 are well-comparable but slightly lower. Probable reason for this difference is the fact that the Borssele wind farm is located in somewhat deeper water while the trajectory also crosses shallower areas with lower sand wave heights.

Table 4.2. Sand wave height for different non-exceedance values for 1999, 2010 and 2015. In the right column, the values found in [Deltares, 2014] have been added for comparison.

Non-exceedance	1999	2010	2015	Deltares study, 2010 survey
5 %	1.2	1.2	1.2	1.4
50 %	2.7	2.9	3.3	3.7
95 %	5.7	5.8	6.5	7.0

Figure 4.5 and Table 4.2 show that there exist quite large differences in sand wave height between the three considered datasets of 1999, 2010 and 2015. Differences in sand wave heights could for instance be caused by fluctuation sand wave characteristics per season. In summer season the wave action is lower resulting in higher and steeper wave heights while during winter the wave heights become lower and less steep.

It is however believed that the main reason behind the observed differences is caused by the survey method or survey resolution. When the bed level is surveyed with a high resolution, generally higher sand waves are found than when a less detailed approach is followed. It is unknown what the resolution of the survey campaign was in 1999 or 2010, but in 2015 a side scan sonar with a very high resolution (0.3 x 0.3 m) was used.

In order to be able to use the three datasets to predict the future behaviour the distribution of the wave heights for the three datasets should be more or less comparable (no large changes in sand wave characteristics between 1999 – 2015 are expected). Thereto, first all data has been interpolated on the same 20 x 20 m mesh. Next, the (sometimes large) differences in mean bed level have been removed by shifting all datasets to the 2015 mean bed level. Third, the datasets have been smoothed in order to eliminate small irregularities which could influence the vertical and horizontal locations of the identified peaks and would thus influence the statistical analysis. Due to this smoothing the distribution of the wave heights become more comparable, see Figure 4.5.

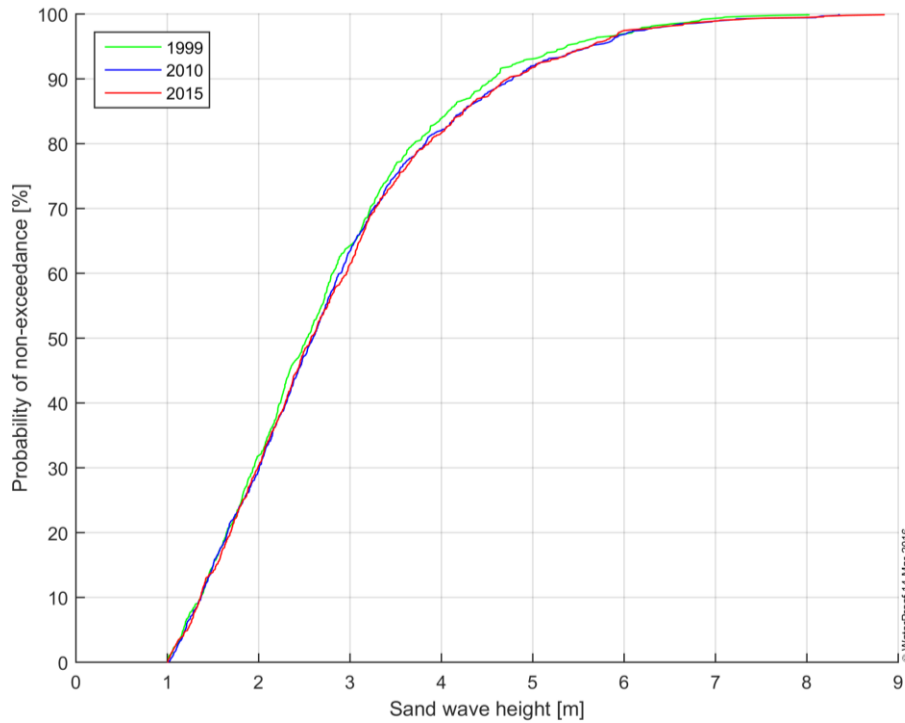


Figure 4.5: Non-exceedance of 1999, 2010 and 2015 sand wave height after smoothing and making them more uniform

In our study we are interested in the movement on the long term (40 years) and thus interested in how the entire sand wave body moves or behaves and not only in the behaviour of the individual highest or lowest “accidentally” measured ripple on top of this sand wave. By using smoothing this is to some extent accounted for. Due to the smoothing this “accidentally” selected ripple is flattened out and the position of a wider part of the crest or trough is considered. Smoothing is only used to derive the horizontal and vertical migration of the sand wave bodies and is not used to derive the height of the sand waves since the sand wave height decreases due to the smoothing.

This smoothed dataset has been used to determine both the horizontal and vertical speed of the sand waves. In Figure 4.6 the probability of non-exceedance of horizontal (perpendicular to the trajectory) speed of the troughs and crests has been presented for the two intervals (1999 -2010 and 1999 – 2015).

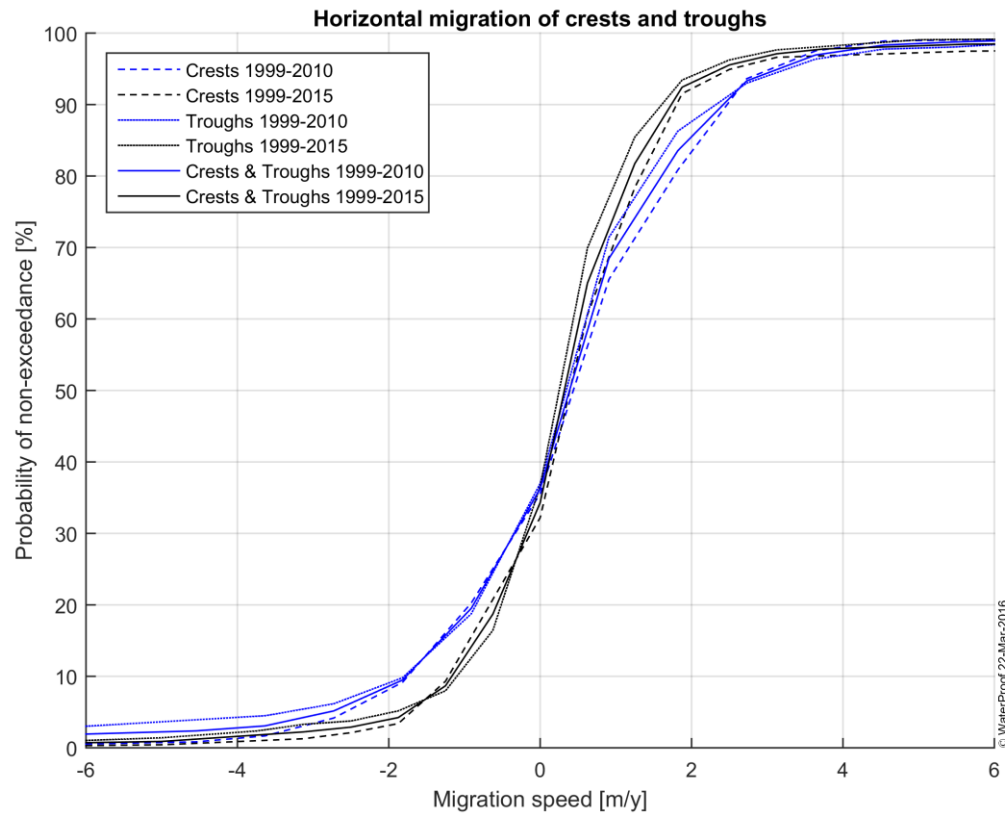


Figure 4.6: Crest and trough migration speed in meter per year (perpendicular to the trajectory, negative values is southwest ward directed, positive values northeast ward).

In Table 4.3 the horizontal speed (perpendicular to the trajectory) of the smoothed sand waves has been presented. In the most right column, again the results of the Deltares (Riezebos et al., 2010) study are shown. Again, the results of both studies are well comparable. The crests of the sand waves generally migrate more in a northeaster direction (positive signs), while the troughs migrate more in a southwestern direction (negative sign).

Table 4.3. Sand wave horizontal speed (perpendicular to trajectory) of the smoothed sand waves (m/year) between 1999-2010 and 1999-2015. Positive means migration in a north-eastern direction, negative in a southwestern direction.

Non-exceedance	Crests 99 - 15	Troughs 99 - 15	Crest & Trough 99-15	Crests 99 – 10	Troughs 99 - 10	Crest & Trough 99-10	Deltares study 99-10
5 %	-1.3	-1.8	-1.5	-1.9	-2.5	-2.2	-1.7
50 %	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.6
95 %	2.1	1.8	1.9	3.1	2.6	2.7	3.2

In Figure 4.7 the probability of non-exceedance of the vertical speed of the crests and troughs has been presented.

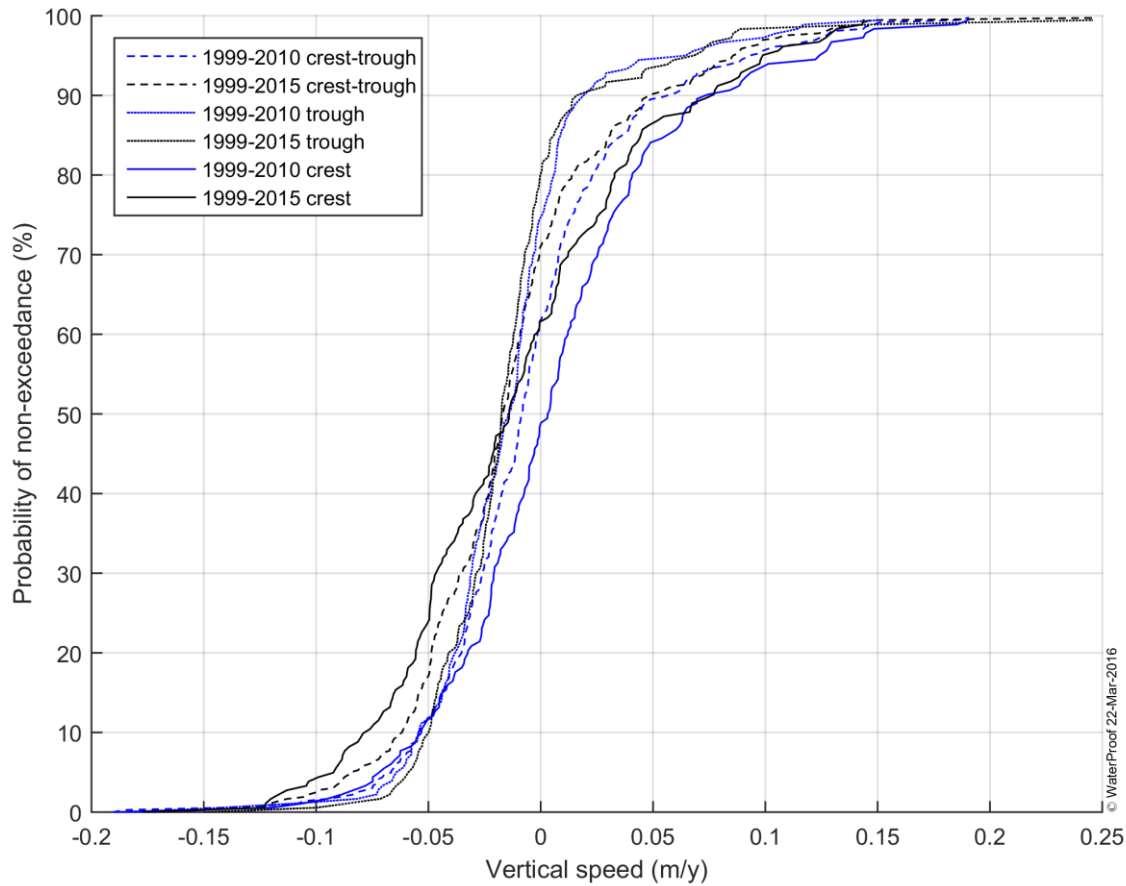


Figure 4.7: Crest and trough vertical speed in meter per year.

In Table 4.4 the vertical sand wave speeds in cm/ year between 1999-2010 and 1999-2015 are shown.

Table 4.4. Sand wave vertical speed (cm/year)

Non-exceedance	Crests 99 - 15	Troughs 99 - 15	Crest & Trough 99-15	Crests 99 - 10	Troughs 99 - 10	Crest & Trough 99-10	Deltares study 99- 10
5 %	-10	-8	-5	-8	-7	-7	Not available
50 %	-6	-2	-2	2	-2	-1	Not available
95 %	10	5	8	10	5	8	Not available

4.3.3 Predicted bed levels along the trajectory (KP 38 – 67)

For every identified sand wave peak and trough now the evolution in height and position is known between 1999 and 2015. The yearly average horizontal and vertical speeds are used to extrapolate the sand wave

positions in time. In Figure 4.8 the bed level and average bed level in 1999, 2010 and 2015 are presented together with the predicted bed level for 2037 and 2057. The figure clearly shows the evolution of the position of the sand waves in time. The predicted sand wave positions are derived for all cross-sections, every 100 m between KP 38 and 67. The cross-sections every 500 m are presented in Appendix A08.75 – to A08.132.

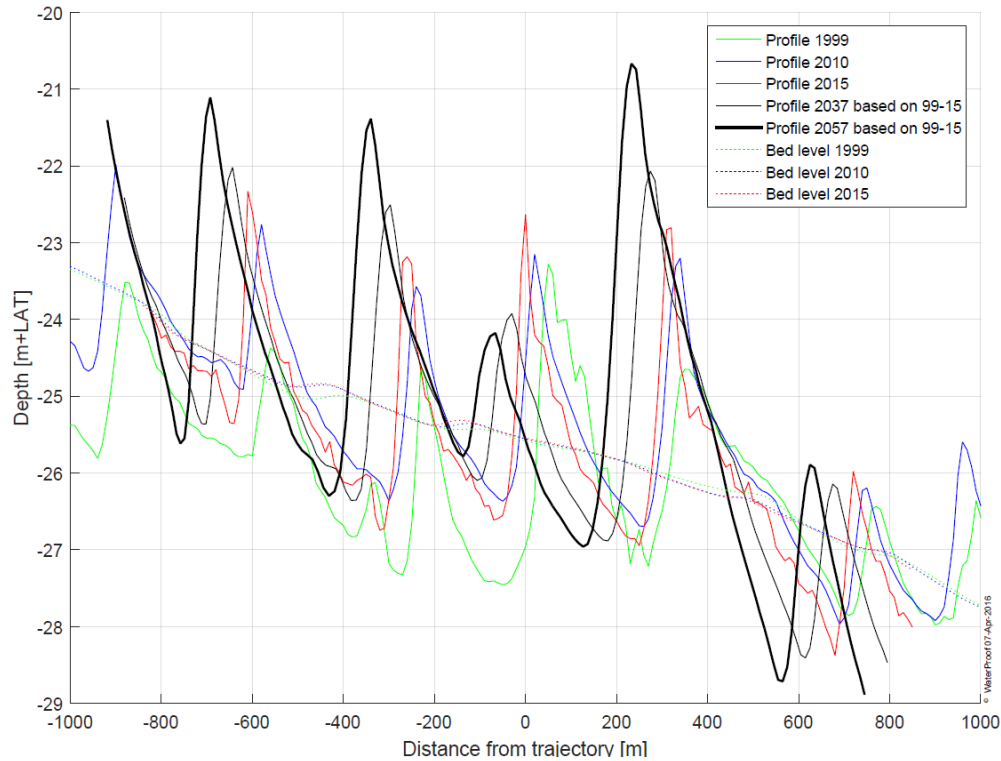


Figure 4.8: Bed level and average bed level in 1999, 2010 and 2015 and extrapolated sand wave locations for 2037 and 2057.

To verify the approach also a statistical analysis has been done on the predicted sand waves for 2037 and 2057. Figure 4.9 shows the non-exceedance of measured (1999, 2010, 2015) sand wave heights and predicted sand wave heights (2037 and 2057). It can be seen that the predicted sand waves are larger than the sand waves in the original data sets. The reason for this is that (1) the sand waves in the 2015 dataset are higher than in the 1999 dataset (although due to smoothing this has been reduced), and (2) the extrapolation period of 40 years is relative long compared to the period on which the extrapolation took place (16 years) and small differences are blown up. In 2037 the mean sand wave height is about 0.3 m higher than in 2015, in 2057 the waves are about 0.7 m higher. This means that the predicted sand wave heights are slightly conservative.

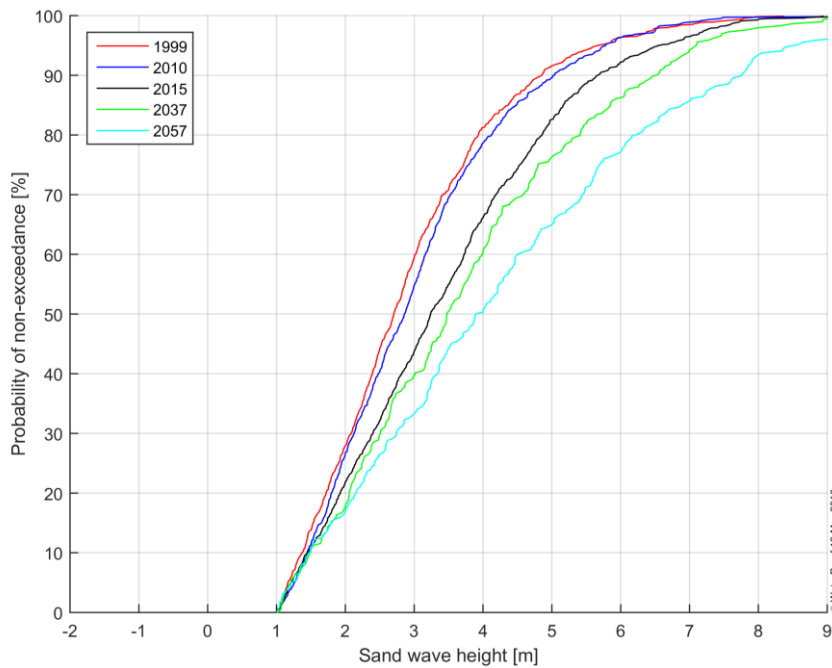


Figure 4.9: Non-exceedance of measured (1999, 2010, 2015) sand wave height and predicted sand wave heights (2037 and 2057)

In Figure 4.10 the position of the bed level along the trajectory between KP 38 – 67 and between 2017 and 2057 is visualized. The figure shows that most morphologic activity is present in a relative thin band along the trajectory. Maximum differences in bed level are generally in the range of 2 – 3 m.

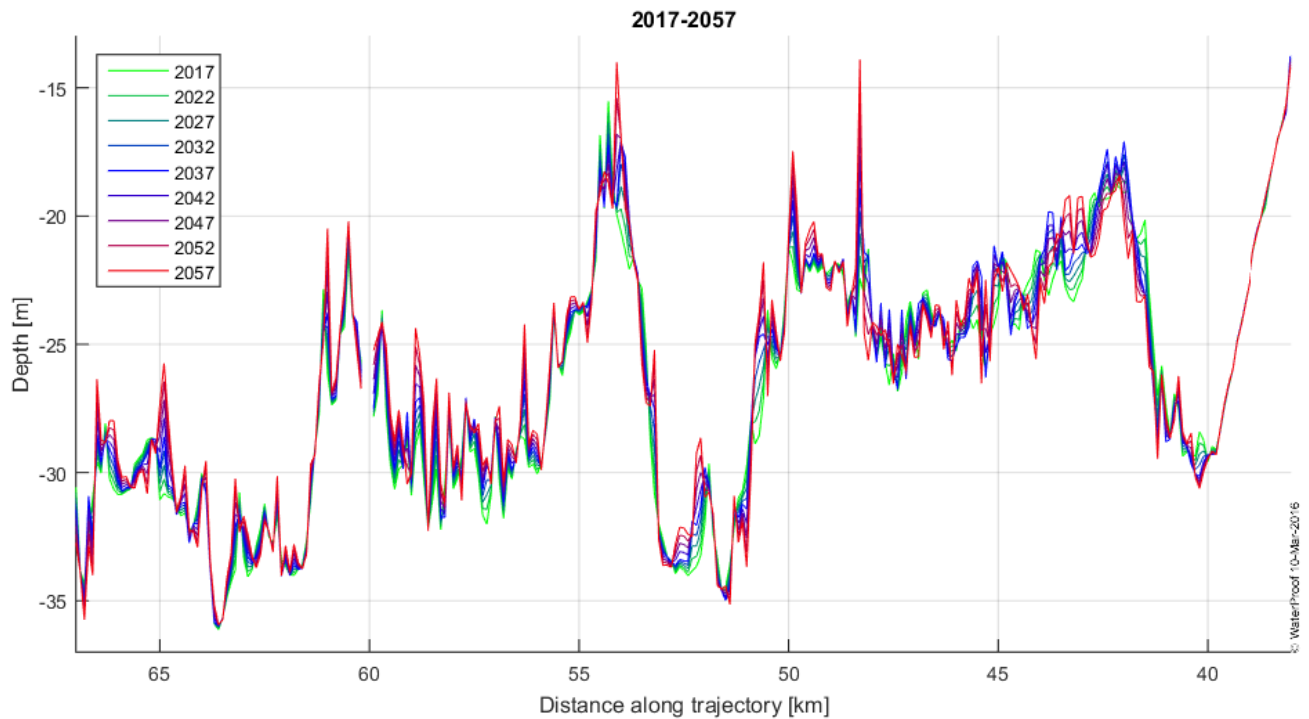


Figure 4.10: Predicted bed level in the sand wave area (KP 38 – 67) between 2017 and 2057

The predicted bed levels as derived under this paragraph have been used in paragraph 4.5 to determine the maintenance needs between 2017 and 2057.

4.4 PREDICTED BED LEVEL EVOLUTION WESTERSCHDELDE & VLAKTE VAN DE RAAN, KP 0 - 38

4.4.1 Prediction method applied to KP 7.5 – KP 38, Vlake van de Raan, Rede van Vlissingen

Between KP 0 and 38 the sand wave dynamics are much lower than the dynamics of the slowly moving sand banks and evolution of the channels. In this area the predicted bed level for 2037 and 2057 are based on the dynamics of the bed level in the recent history. To predict the future bed levels, the following approach is applied; for every 500 m along the trajectory the bed levels between 1955 and 2015 in a cross-section perpendicular to the trajectory have been considered.

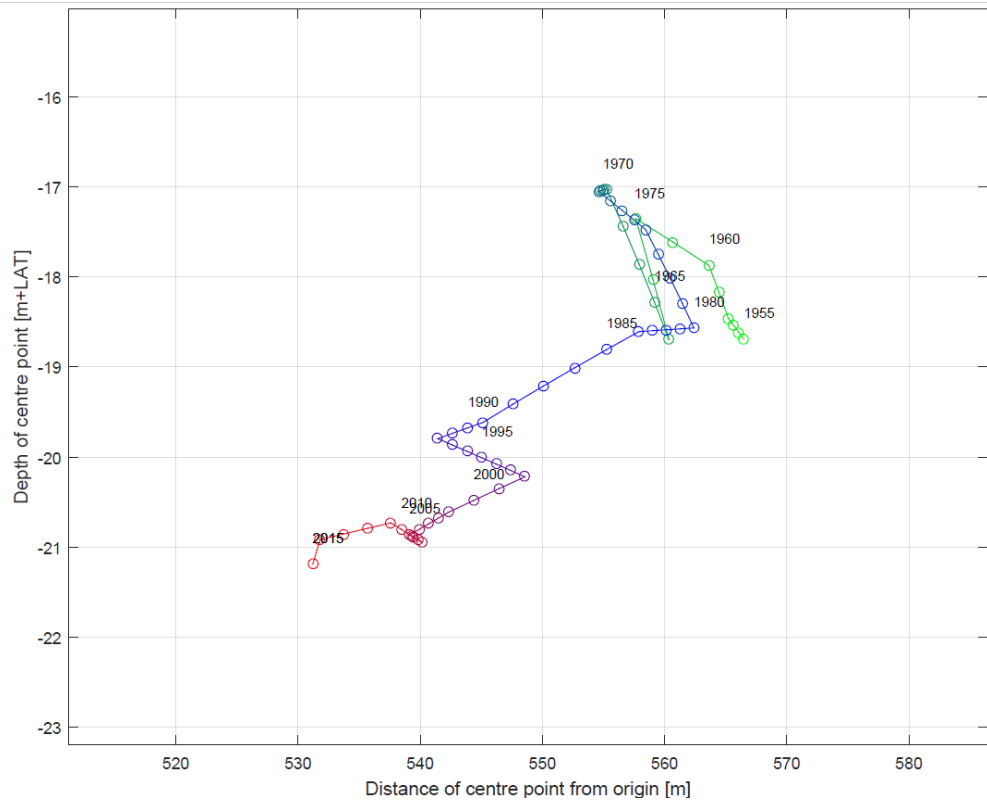


Figure 4.11: Migration of centre point of bed level section -500 to 500 m perpendicular to the trajectory at KP 10

For every cross-section it has been verified whether the cycle times are long enough in order to be able to use linear extrapolation techniques. Although the morphology and cycle times are difficult to predict, for the cross-sections between KP 7.5 and KP 38 this was mostly the case. The (absence of) cyclic pattern has been evaluated by means of the figures as presented in Appendix A09.12 to A09.38 of which KP 10 is presented in Figure 4.11.

Next, in every cross-section a number of representative locations have been chosen which importantly influence the morphological behaviour of the bed level within the considered cross-section. In most cross-sections the crests of sand banks and troughs of the present channels of the considered years have been taken into account. The vertical movement of these troughs/ crests over the years are used to determine the evolution of the channel depth/ sand bank height in time. The migration of the horizontal position of the crest/ trough is a measure for the horizontal relocation of the morphologic feature in time.

For every considered location within the cross-sections and all available historic bathymetric surveys the average horizontal migration (m/y) and vertical shift (m/y) is calculated for three periods; 1964 – 2014 (50 years), 1992 – 2014 (22 years) and 2004 – 2014 (10 years). The bed level in 2017, 2037 and 2057 is then determined by multiplying the determined average annual shift/migration by the amount of years to be forecasted and adding this to the 2015 bed level. In example for 2037:

$$\text{bed level 2037} = \text{bed level 2015} + (\text{average annual shift/migration per year} \times 22 \text{ years})$$

In Section 2.4.4 and Figure 2.21 the annual increase/ decrease in bed level along the trajectory in the last 50 years has been presented. It is shown that relative large differences exist between the bed levels as measured in 2014 and measured in 2015. Probable reason is the difference in survey method between these survey campaigns. To prevent that these “errors” are incorporated in the predicted bed levels and are “blown up” due to the extrapolation, the calculated average annual shift/migration per year is based on the bathymetric surveys between 1992 – 2014 (and not 1992 – 2015).

Comparable to the sand wave exercise, smoothing is used to filter out the small irregularities/ small bed forms on top of the large bed forms which influence the position of the overall peaks or troughs. In this way the position of the broader sand volume of the sand banks is considered and not only the position of the highest/ lowest parts of the sand banks. In Figure 4.12 the approach is further visualized by considering the cross-section at KP 24.

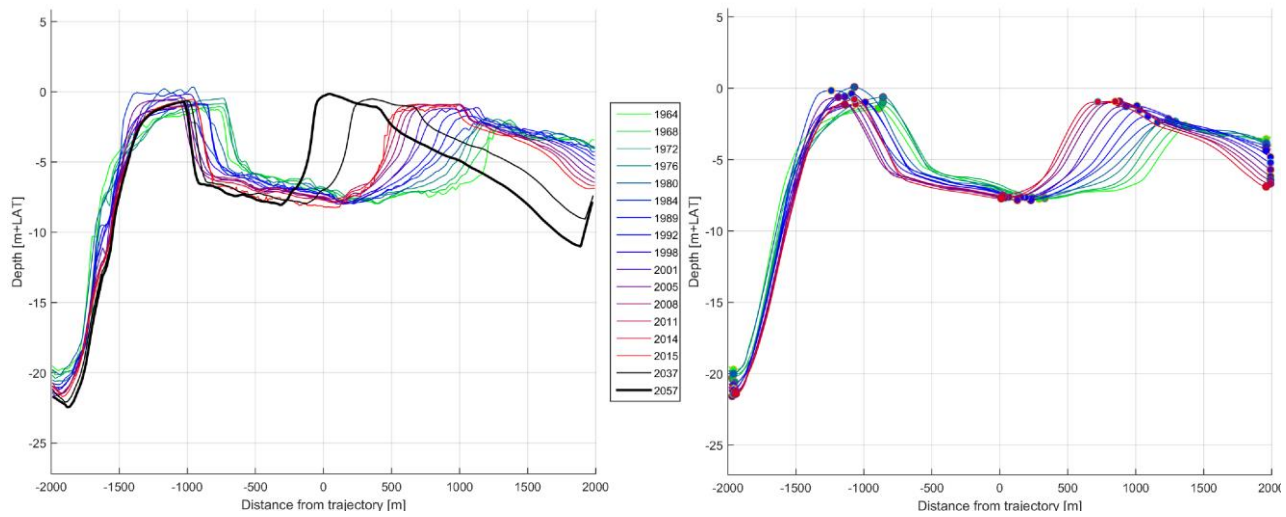


Figure 4.12: Left panel: Bed levels in cross-section at KP 24 between 1964 and 2015 (green to red lines) and predicted bed level at 2037 and 2057 (black lines). Right panel: Identified peaks and troughs in the individual smoothed bed levels

In the left panel in Figure 4.12 the cross-sectional bed levels between 1964 and 2015 are presented in colours. Besides, the predicted bed level for 2037 and 2057 are shown in black. The predictions are based on the identified peaks and troughs within the smoothed cross-sections as presented in the right panel of the figure. The applied smoothing factor varies per cross-section and was chosen as small as possible but large enough that interference of the irregular bed forms migrating on top of the sand bars are eliminated as much as possible.

The average horizontal migration and vertical shift in position of the bed level is a measure for the migration of the sand bank and channel through the cross-section. Another example of the applied approach is shown in Figure 4.13 for KP 10, a cross-section located through the Rede van Vlissingen. This figure shows that a sand bank in the middle of the channel has been steadily migrating towards the northwest (towards the left in the figure) while slowly decreasing in height. Both the horizontal migration and vertical shift have been incorporated by locating the peaks and troughs in the smoothed cross-section, taking the year-average vertical- and horizontal shift over the years 1992 – 2014 and using these speeds to extrapolate the bed level of 2015 to 2037 and 2057. The bed level in the years between 2015 and 2057 have been derived by interpolating the 2015, 2037 and 2057 bed levels.

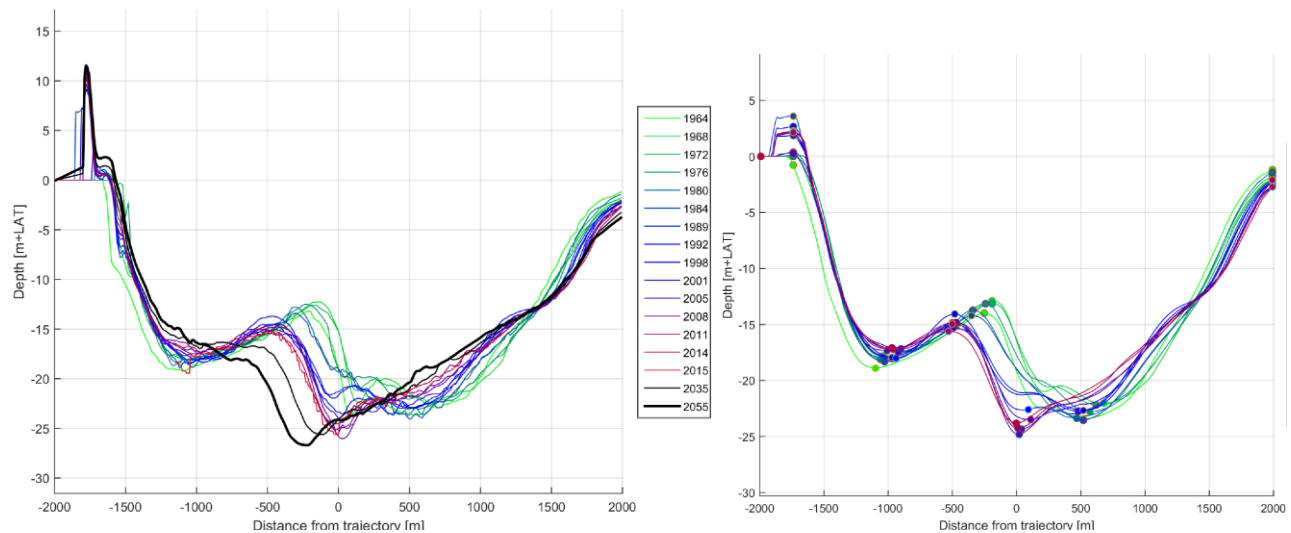


Figure 4.13: Left panel: Bed levels in cross-section at KP 10 between 1964 and 2015 (green to red lines) and predicted bed level at 2037 and 2057 (black lines). Right panel: Identified peaks and troughs in the individual smoothed bed levels

The applied method was not for every cross-section successful, mostly because of an outlier in the identified peaks and troughs. If this was the case this outlier was removed or relocated based on a visual interpretation of the cross-section. The predicted bed levels in the cross-sections between KP 7.5 and KP 38 are presented in Appendix A08.013 to A08.076.

4.4.2 Prediction method applied to KP 2 – KP 7, Spijkerplaat

As described in previous sections, for KP 7.5 to KP 67 the bed levels for 2037 and 2057 have been determined by means of extrapolation techniques. As mentioned in Chapter 2, the bed level along the trajectory on top of the Spijkerplaat has been strongly influenced by a cyclic migration of the Spijkerplaat and adjacent Schaar van de Spijkerplaat. The cycle time is shorter than the available timeframe of the bathymetric surveys. In Figure 2.18 this cyclic behaviour has been shown. Because of the relative short cycle time, the approach and extrapolation techniques as applied in the foregoing sections cannot be applied to the Spijkerplaat sections.

Based on the bathymetric information as presented in among others Figure 2.17, Figure 2.18, the figures in Appendix A04.05 to A04.15 and the available literature on the morphodynamics of the Western Scheldt, it can be concluded that it is very plausible that in the coming 40 years the cyclic behaviour of the Spijkerplaat will continue and will probably be comparable to the cyclic behaviour of the area in the recent 40 years. The bed level in 2037 and 2057 will therefore be more or less the same as the bed level about 35 (30-40) years before.

Apart from the cyclic figures as presented in Figure 2.17, Figure 2.18 and the figures in Appendix A04.05 to A04.15, the bed level of 2015 has been compared to the available historical bed levels. For every historical bed level, the relative “error” has been calculated by (1) subtracting the 2015 cross-section from the historical

cross-sections and (2) calculating the root-mean-square error of the differences in bed level. For example, for KP 3 the cross-section which is most comparable to above methods is the cross-section from 1980.

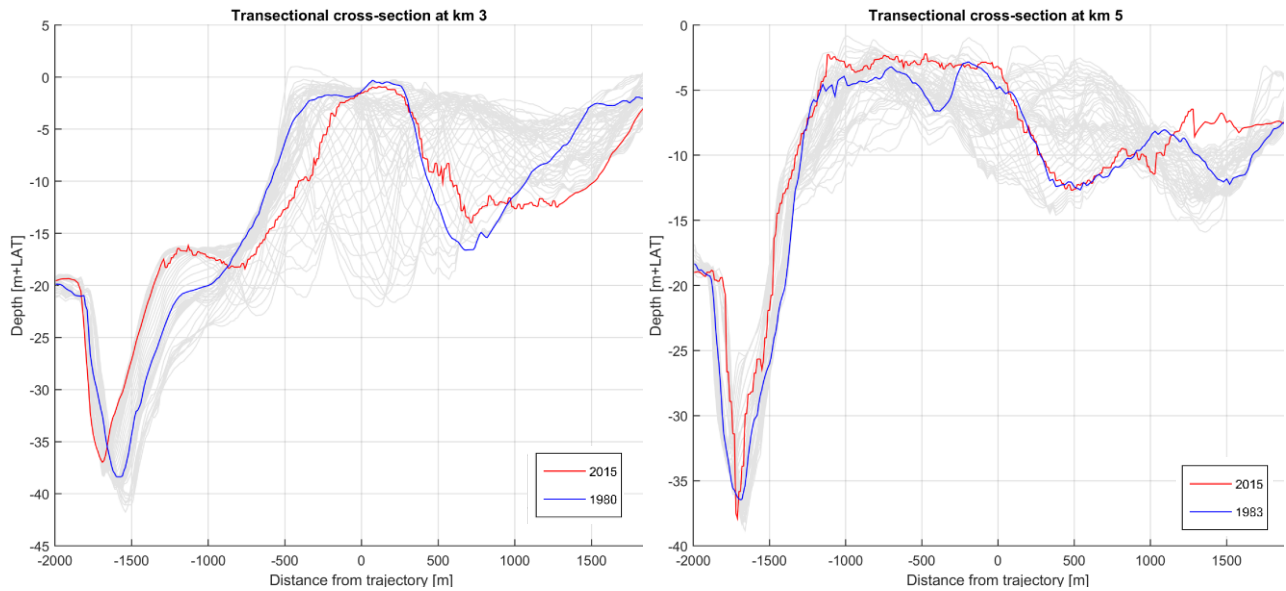


Figure 4.14: Comparison between 2015 cross section and historical cross-section with lowest root-mean-square error in bed level difference for KP 3 (left) and KP 5 (right).

In Figure 4.14 a comparison between the 2015 and historical cross-sections with lowest root-mean-square error in bed level difference is shown for KP 3 (left panel) and KP 5 (right panel). The figures for all cross-sections between KP 2 and 7.5 are presented in Appendix A09.01 to A09.011 Based on these figures and the centre point figures in Appendix A09.12 to A09.38 the 2015 position within the cycle is determined. Based on this position, for every cross-section a historical bed level is chosen which should be considered between 2015 - 2057. In Table 4.5 the considered years are presented for the individual transects between KP 2 - 7.

Table 4.5. Considered historical cross-sections for 2015 – 2057 between KP 2 and 7

Cross-section at KP	Bed level in 2015	Bed level in 2016 - 2037	Bed level in 2038-2057
2	2015	1977-1998	1999-2015, 1977-1979
3	2015	1981-2002	2003-2015, 1981 - 1987
4	2015	1982-2003	2004-2015, 1982 – 1989
5	2015	1984-2005	2006-2015, 1984 – 1993
6	2015	1985-2006	2007-2015, 1985 – 1995
7	2015	1984-2005	2006-2015, 1984 - 1993

The bed levels between 2015 – 2057 are thus copied from the historical bed levels between 1955 – 2015. In Figure 4.15 the horizontal and vertical migration of the centre point of the bed at KP 3 is shown. The figure is based on the available historical bed levels between 1955 and 2015 and the predicted bed levels between

2015 and 2057. The figure shows that the cyclic behaviour continues after 2015. In the prediction between 2015 and 2057 an additional linear trend in bed level decrease of 2 m/ 42 years has been applied. This 2m trend has been applied in the sensitivity analysis to estimate the effect of additional bed level decrease in the future (see Section 4.5.4). In case this decrease in bed level is not applied, the centre point locations of the future cycle (2015-2057) follow the historical cycle (1981 – 2015).

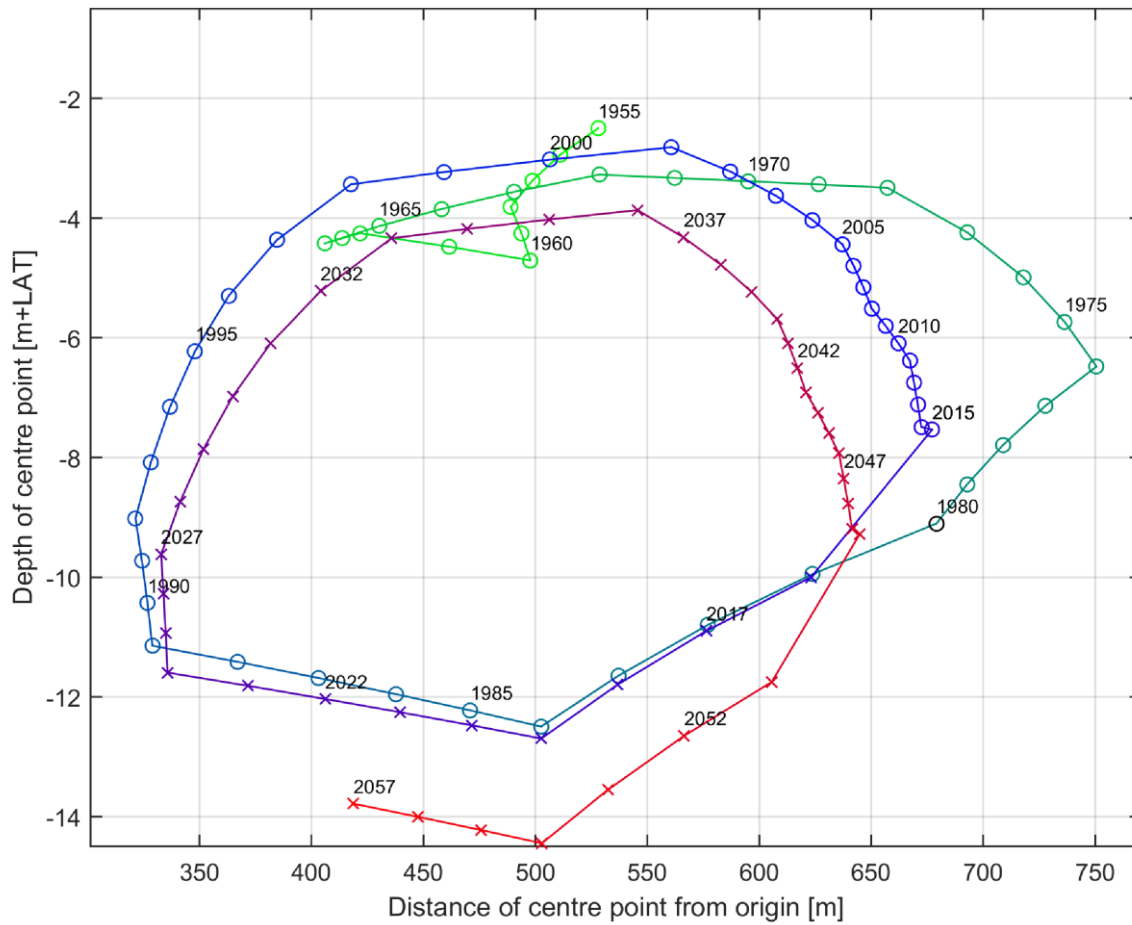


Figure 4.15: horizontal and vertical migration of the centre point of the bed at KP 3 (between 0 and 1000 m south of the trajectory, see x-axis in Figure 2.17) based on the available historical bed levels between 1955 and 2015 and the predicted bed levels between 2015 and 2057. In the prediction between 2015 and 2057 an additional linear trend in bed level decrease of 2 m/ 40 years has been applied.

In Appendix A08.02 to A08.12 the predicted bed levels within the cross-sections between KP 2 and KP 7 are shown. The predicted bed levels between 2015 and 2057 in the cross-section at KP 3 are shown in Figure 4.16. The figure shows that the bed level in 2017 and 2052 and 2022 and 2057 are equal due to the cyclic behaviour.

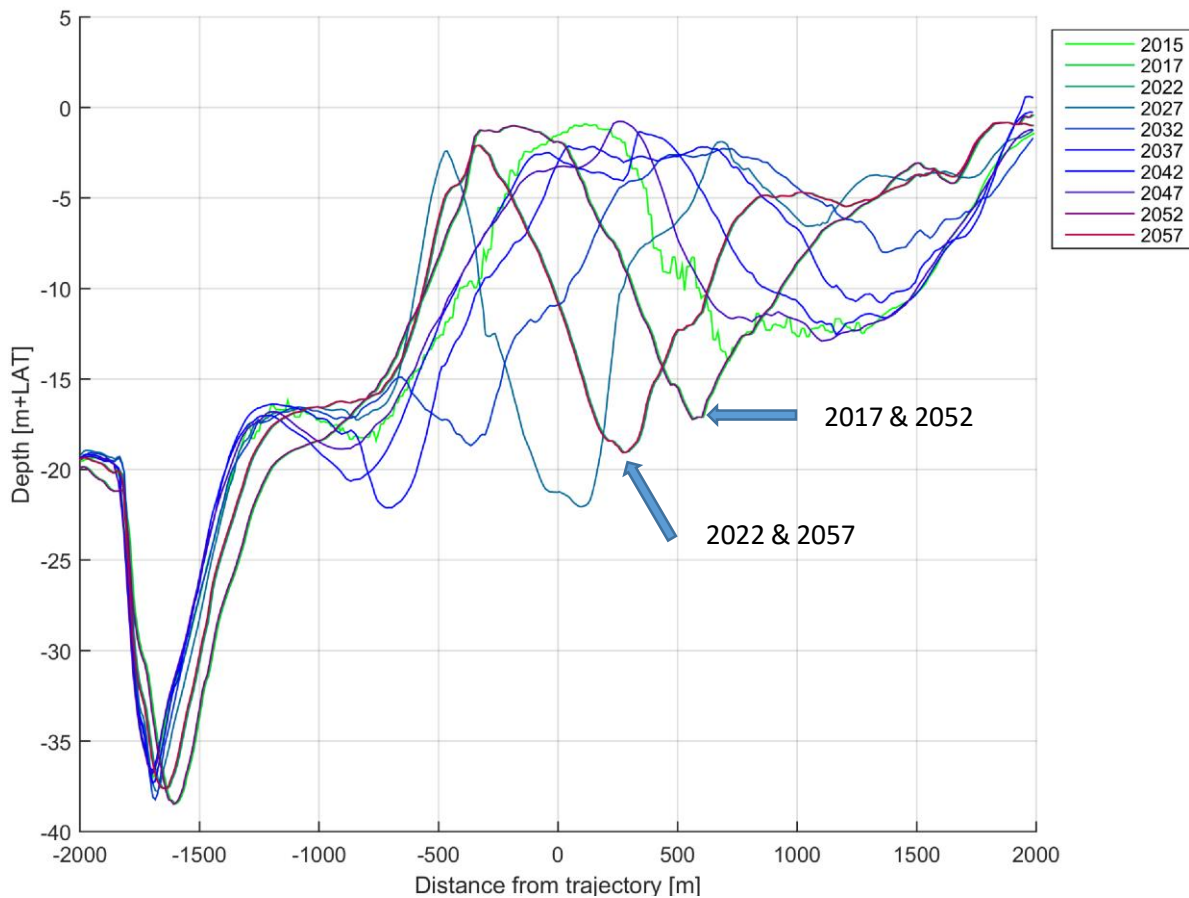


Figure 4.16: Predicted bed levels between 2015 and 2057 in the cross-section at KP 3

4.4.3 Prediction method applied to KP 0 – KP 2, Honte channel

The Honte channel is a very deep channel with (especially on the northern side) steep slopes. In case the method as described under Paragraph 4.4.1 would have been applied, a number of cross-sections along the cable trajectory within the Honte would have been used for the predictions. However, these cross-sections (see Appendix A04.01 to A04.05) make visible that, especially on the steep slopes, a small shift along the trajectory has large effects on the bed levels. This also applies to the bathymetrical surveys. A small shift/error in the reference location means a relative large error in vertical position of the bed level. To omit these errors, the prediction through the Honte channel is not based on cross-sections perpendicular to the trajectory but is based on the bed level along the trajectory itself, which crosses the Honte channel almost perpendicular. In Figure 4.17 the bed levels along the first two kilometre of the trajectory between 1964 and 2015 (green to red lines) are shown. Besides, the predicted bed levels at 2037 and 2057 (black lines) are shown. The predictions have been made with the same method as applied to the cross-sections (see Paragraph 4.4.1).

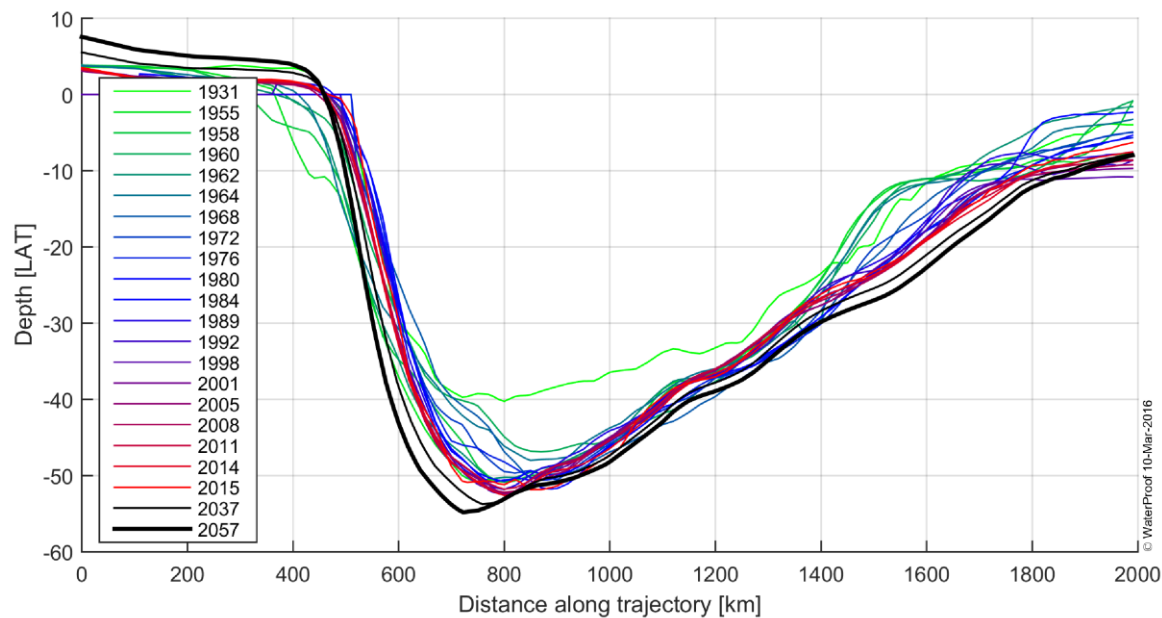


Figure 4.17: Bed levels along the first two kilometres of the trajectory between 1964 and 2015 (green to red lines) and predicted bed level at 2037 and 2057 (black lines).

The figure shows that the decrease in bed level along the deepest part of the channel will continue within the predictions. Moreover, the slight northern shift, increasing the slope of the northern bank continues.

4.4.4 Predicted bed levels along the trajectory (KP 0 – 38)

In Figure 4.18 the predicted bed levels along the cable trajectory between KP 0 and m 38 are presented. The figure shows that between KP 23 and KP 27 the bed level strongly raises. This is due to the northern migration of the Rassen sand bank. The figure also shows that the decrease in bed level between KP 7 and 12 that occurred during 1955 to 2015 (see Figure 3.6) is not present anymore between 2015 – 2057. Main reason is that currently the trajectory is situated in almost the deepest point of the migrating channel. The range in dynamics at the Spijkerplaat are comparable to the range in dynamics between 1955-2015. A logical effect of the comparable approach which is followed at this location.

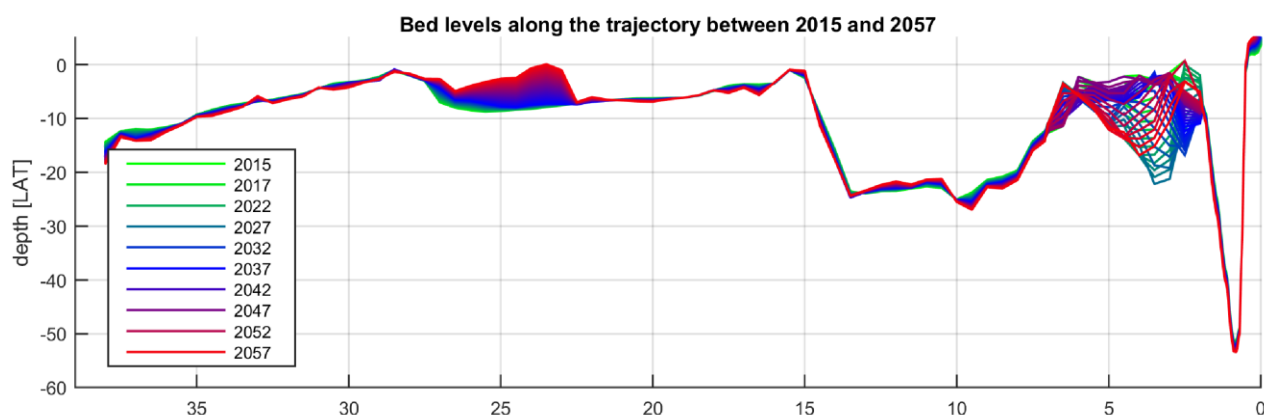


Figure 4.18: Predicted bed levels along cable trajectory KP 0 – KP 38 between 2015 and 2057.

4.5 ESTIMATION OF FUTURE MAINTENANCE REQUIREMENTS; CABLE BURIAL IN 2017

4.5.1 Sand waves area, KP 38 - 67

The predicted bed levels for 2017 to 2057 as determined under Paragraph 4.3 are used to assess the maintenance requirements. The following parameters have been varied to assess the effects on maintenance:

- 5 initial burial depths [0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m, 2.5m]
- 2 reburial depths [2m ,3m]
- 2 minimal burial depths [0.5 m, 1.0 m]

The naming of the scenarios is shown in Table 4.6

Table 4.6. Naming of the considered different alternatives (I: initial, R: reburial, M: minimum burial depth)

Initial burial	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth : 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
0.5	I05R02M10	I05R03M10	I05R02M05	I05R03M05
1.0	I10R02M10	I10R03M10	I10R02M05	I10R03M05
1.5	I15R02M10	I15R03M10	I15R02M05	I15R03M05
2.0	I20R02M10	I20R03M10	I20R02M05	I20R03M05
2.5	I25R02M10	I25R03M10	I25R02M05	I25R03M05

For every scenario, the yearly maintenance needs per 100 m of the trajectory between KP 38 to 67 have been calculated. The overall results of the study are presented in underlying report. The results per 100 m section per year are written to a Result Excel file.

In Figure 4.23 and Figure 4.24 the evolution of the bed level along the trajectory is presented and the final cable depth in 2057 is shown for scenario I10R02M10 and I25R02M10. The evolution of the bed level along the trajectory for the other alternatives is presented in Appendix A10.01 to A10.40. Comparing both figures shows that in scenario I25R02M10 the cable is situated much deeper than in scenario I10R02M10 as a result of the initial burial depth.

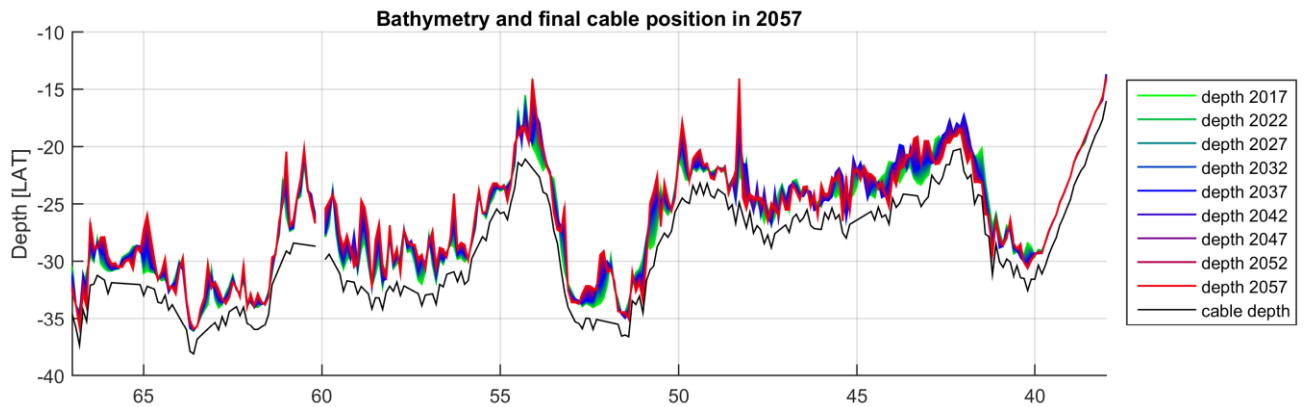


Figure 4.19: Bed level between 2017 – 2057 and final cable depth in 2057 for scenario I10R02M10

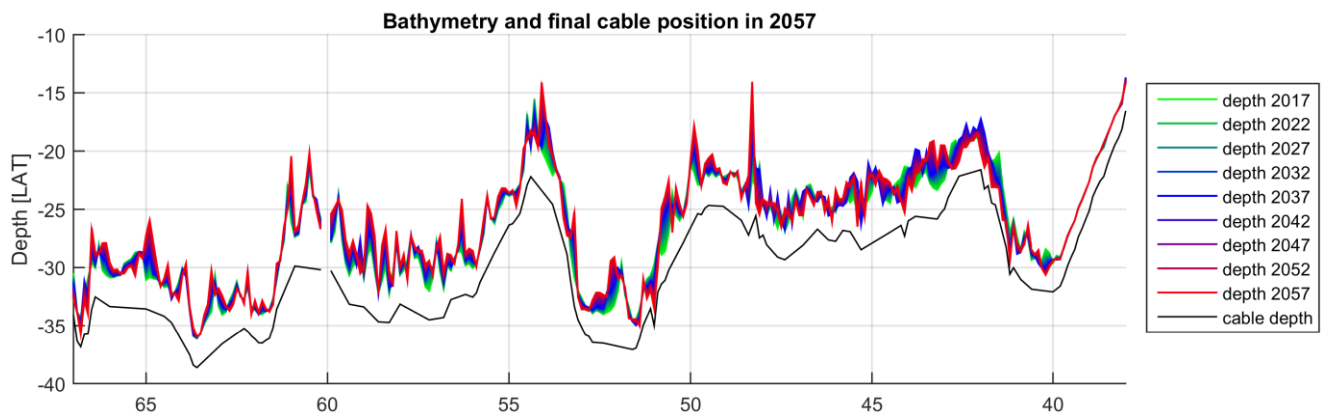


Figure 4.20: Bed level between 2017 – 2057 and final cable depth in 2057 for scenario I25R02M10

Figure 4.25 and Figure 4.26 show the cable position evolution in time between 2017 and 2057 for identical scenarios as above: I10R02M10 and I25R02M10. The figures show the number of reburial needs along the trajectory. In case the cable is initially buried at a depth of 2 m, reburial is required at a large number of locations whereas in case the initial burial depth is 2.5 m, the reburial locations are limited to a few locations only.

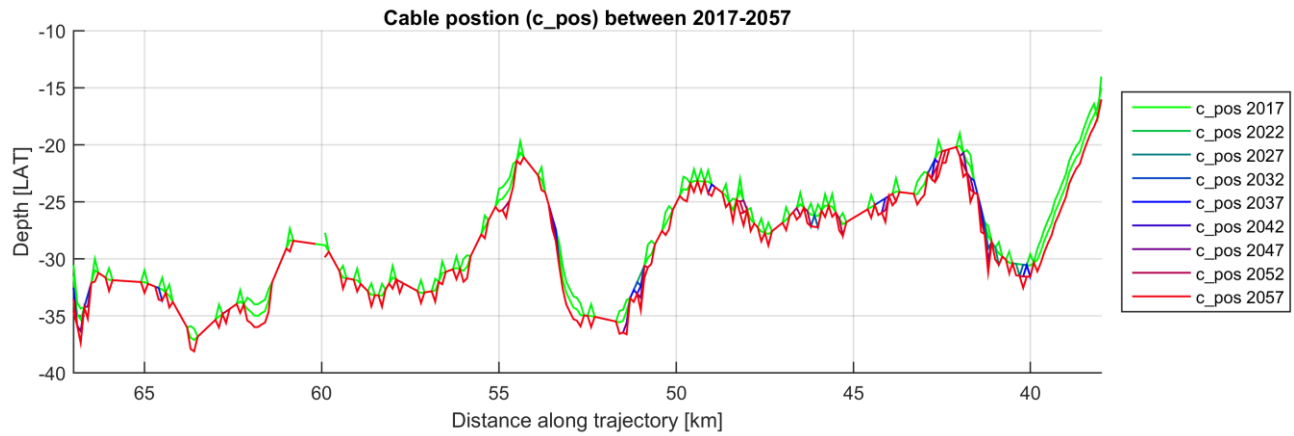


Figure 4.21: Cable position evolution between 2017 – 2057 based on minimum depth requirements for scenario I10R02M10

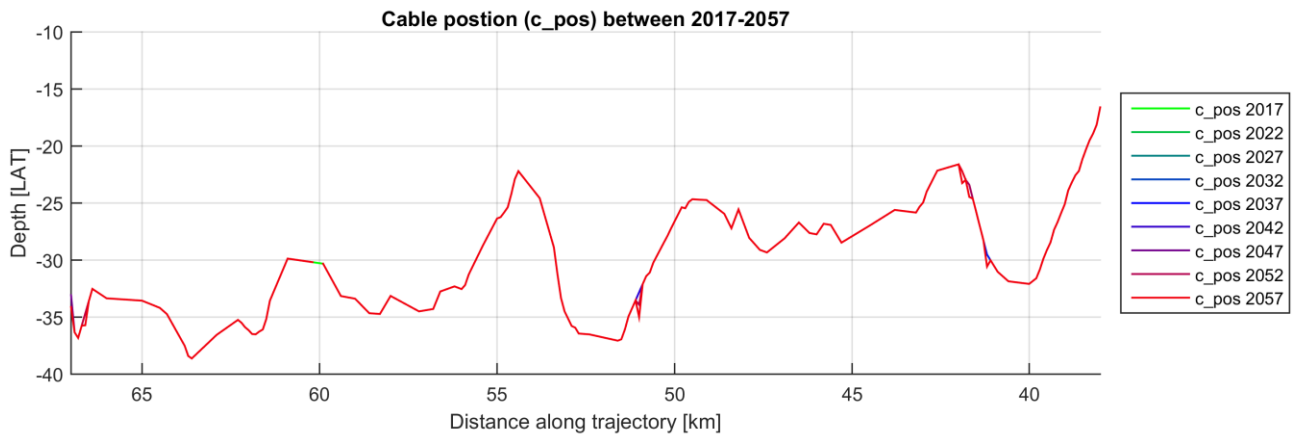


Figure 4.22: Cable position evolution between 2017 – 2057 based on minimum depth requirements for scenario I25R02M10

Reburial needs

Based on the followed approach, starting points and historic bathymetric data the reburial needs are assessed. In the total required reburial cable length for the considered scenarios is shown. The required reburial length varies per scenario between 23 km for the smallest initial burial depth and reburial depth to 0.4 km for large initial burial depths and reburial depths. The values apply to the installation of one cable during a life span of 40 years.

Table 4.7. Required reburial length (km/ cable) between 2017-2057

Initial burial	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
0.5	23	20.3	15.4	14.3
1.0	16.6	14.6	3.9	3.6
1.5	4.6	3.6	2.1	2
2.0	2.5	2.1	1.1	1
2.5	1.1	1	0.4	0.4

Table 4.8 shows the number of times reburial is required over the lifetime of the cable. The number of times reburial is required is determined by considering sections of 100 m along the trajectory and verifying whether each individual section along the trajectory needs maintenance. In case in one year, one or more sections need maintenance this is counted as one reburial time. This calculation has been made with an interval of one year (leading to 40 times in case reburial is needed in every year during the 40-year lifetime).

Table 4.8: Required number of times reburial is required between 2017 - 2057

Initial burial	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
0.5	39	32	27	25
1.0	31	27	21	21
1.5	23	22	14	14
2.0	14	14	8	8
2.5	8	8	4	4

Maintenance dredging needs

The total required maintenance dredging needs (including sedimentation in trench above cable; see section 3.4) in a life time of 40 years are shown in Table 4.9. The average yearly maintenance dredging volumes are shown in Table 4.10. Again, the presented values apply to the maintenance of one cable during a life time of 40 years.

The tables show that the maintenance requirements strongly vary per scenario with lowest dredging needs for small initial burial depths and large dredging needs for large initial burial depths. For large initial burial depths, the maximum burial depth criterion is exceeded almost along the entire cable route which implies that a trench is required above the entire trajectory which should be maintained continuously.

Table 4.9. Required maintenance dredging volumes (million m³/ 40 years per cable) between 2017 - 2057

Initial burial	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth : 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
0.5	0.99	1.37	1.09	1.74
1.0	1.32	1.32	1.43	1.82
1.5	2.13	2.13	2.13	2.13
2.0	3.72	3.72	3.72	3.72
2.5	6.51	6.51	6.51	6.51

Table 4.10. Required 40-year average yearly maintenance dredging volumes (million m³/ years per cable) between 2017-2057

Initial burial	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth : 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
0.5	0.025	0.034	0.027	0.045
1.0	0.033	0.033	0.036	0.045
1.5	0.053	0.053	0.053	0.053
2.0	0.095	0.095	0.095	0.095
2.5	0.17	0.17	0.17	0.17

4.5.2 Sensitivity analysis

Apart from the above described scenarios, a number of calculations have been made to determine the sensitivity of the results. For the sand wave area additional calculations have been made for a decrease in mean bed level in the sand wave area. Analysis on the available bathymetrical datasets showed that the sand wave averaged bed level between 1999 and 2010 and between 2010 and 2015 both decreased with about 2 to 3 cm/year. It is uncertain whether this decrease in bed level originates from errors in the vertical reference levels in the datasets or is really ongoing. Although literature indicates a decrease in bed level, especially on the Voordelta is ongoing no hard figures are given. In order to calculate the effect of this uncertainty calculations have been made for a bed level decrease of 2.5 cm/y (1 m in 40 year) and 5.0 cm/y (2 m in 40 year).

Reburial needs

In Table 4.11 the required reburial lengths are given for a decrease in mean bed level of 0 m, 1 m and 2 m over a life span of 40 years. A logical consequence of the bed level decrease is the increase in reburial needs.

Table 4.11 Table 4.11 shows that the reburial needs increase with about 45% for shallow burial depth to >200% for larger depths for a decrease in bed level of 1 m in 40 years. These percentages more than double when the bed level decreases with 2 m/ 40 years.

Table 4.11. Required reburial length (km/ 40 years per cable) between 2017-2057.

Reburial	Reburial depth: 2.0 m, minimum burial depth 1.0 m		
Initial burial	0 m bed level decrease (m/40 years)	1 m bed level decrease (m/40 years)	2m bed level decrease (m/40 years)
0.5	23	32.9 +43%	50.4 +119%
1.0	16.6	26.6 +62%	42.8 +158%
1.5	4.6	15.1 +251%	32.1 +598%
2.0	2.5	8.1 +224%	20.9 +736%
2.5	1.1	4 +264%	14.2 +1191%

Maintenance dredging needs

In Table 4.12 the required maintenance dredging volumes are given for a decrease in mean bed level of 0 m, 1 m and 2 m in 40 years. Maintenance dredging volumes for a decrease in level of 1 m are approx. 50% lower – and for a decrease of 2 m approx. 70% lower compared to no decrease in bed level as used in this study.

Table 4.12. Required maintenance dredging volumes (million m³/ 40 years per cable) between 2017-2057.

Reburial	Reburial depth: 2.0 m, minimum burial depth 1.0 m		
Initial burial	0 m bed level decrease (m/40 years)	1 m bed level decrease (m/40 years)	2m bed level decrease (m/40 years)
0.5	0.99	0.56 -43%	0.35 -65%
1.0	1.32	0.76 -42%	0.49 -63%
1.5	2.13	1.17 -45%	0.71 -67%
2.0	3.72	1.89 -49%	1.05 -72%
2.5	6.51	3.61 -45%	1.96 -70%

4.5.3 Westerschelde & Vlakte van de Raan, KP 0- 38

The predicted bed levels for 2017 to 2057 as determined under Paragraph 4.4 are used to assess the maintenance requirements. The following parameters have been varied to assess the effects on maintenance between 2017 and 2057:

- 5 initial burial depths [2m, 3m, 6m, 8m, 10m]
- 2 reburial depths [2m ,3m]
- 2 minimal burial depths [0.5 m, 1.0 m]

The naming of the scenarios is shown in Table 4.13

Table 4.13. Naming of the considered different alternatives (I: initial, R: reburial, M: minimum burial depth)

Initial burial	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
2	I02R02M10	I02R03M10	I02R02M05	I02R03M05
3	I03R02M10	I03R03M10	I03R02M05	I03R03M05
6	I06R02M10	I06R03M10	I06R02M05	I06R03M05
8	I08R02M10	I08R03M10	I08R02M05	I08R03M05
10	I10R02M10	I10R03M10	I10R02M05	I10R03M05

For every scenario, the yearly maintenance needs per 100 m of the trajectory between KP 0 to 38 have been calculated. The overall results of the study are presented in underlying report. The results per 100 m section per year are written to a Result Excel file.

In Figure 4.23 and Figure 4.24 the evolution of the bed level along the trajectory is presented and the final cable depth in 2057 is shown for scenario I02R02M10 and I10R02M10. The evolution of the bed level along the trajectory for the other alternatives is presented in Appendix A10.41 to A10.60. Comparing both figures shows that in scenario I10R02M10 the cable is situated much deeper than in scenario I02R02M10 as a result of the initial burial depth. Apart from KP 0 – 8, the limited bed level variations, cable burial deeper than 2 to 3 m between KP 12 – 40 is not required. This means that the cable in scenario I10R02M10 is situated too deep in a large part of the trajectory, which results in unnecessary maintenance dredging needs.

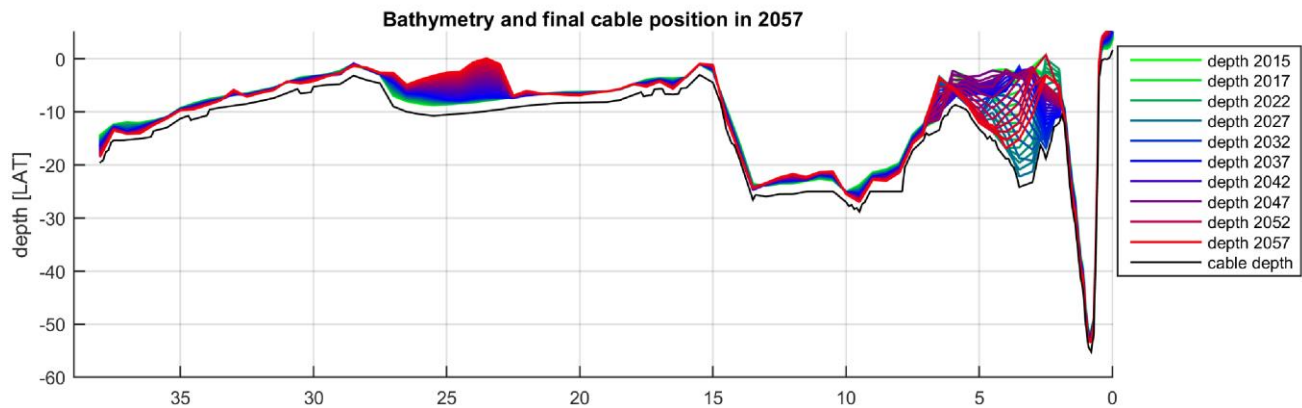


Figure 4.23: Bed level between 2015 – 2057 and final cable depth in 2057 for scenario I02R02M10

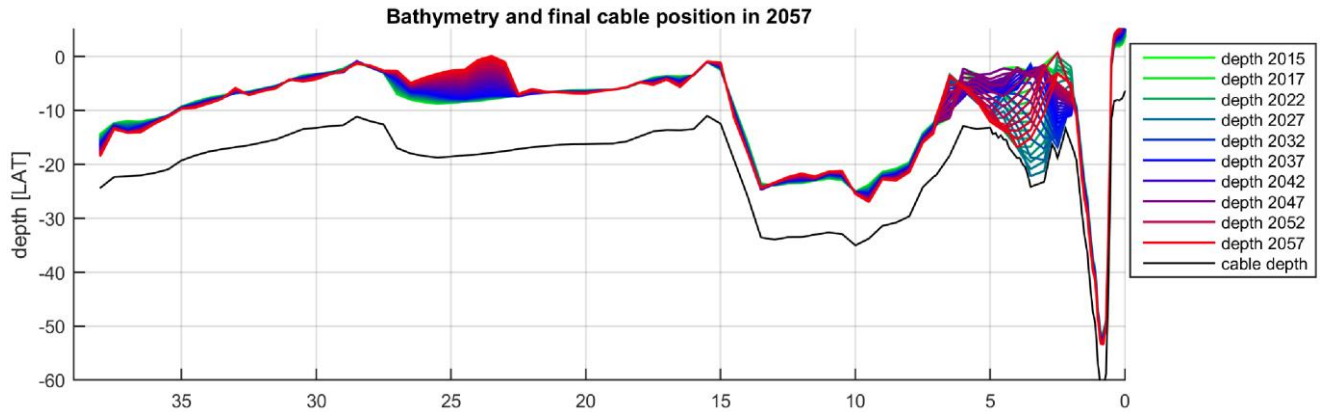


Figure 4.24: Bed level between 2015 – 2057 and final cable depth in 2057 for scenario I10R02M10

Figure 4.25 and Figure 4.26 show the cable position evolution in time between 2015 and 2057 for identical scenarios as above: I02R02M10 and I10R02M10. The figures show the number of reburial needs along the trajectory. In case the cable is initially buried at a depth of 2 m, reburial is required at a number of locations whereas in case the initial burial depth is 10 m, the reburial locations are limited to the Spijkerplaat only (KP 2 – 7).

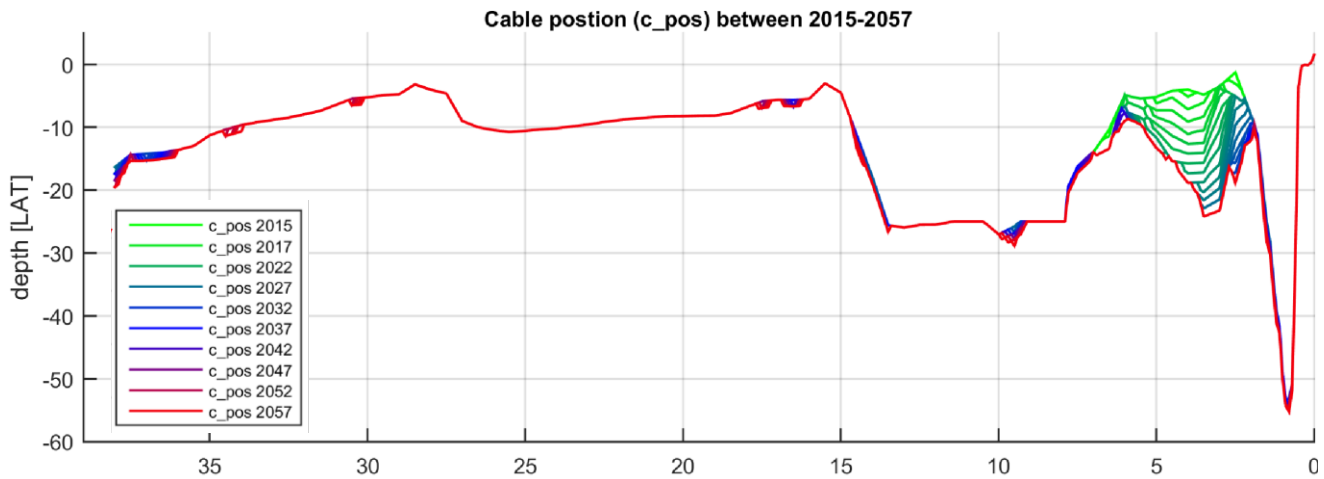


Figure 4.25: Cable position evolution between 2015 – 2057 based on minimum depth requirements for scenario I02R02M10

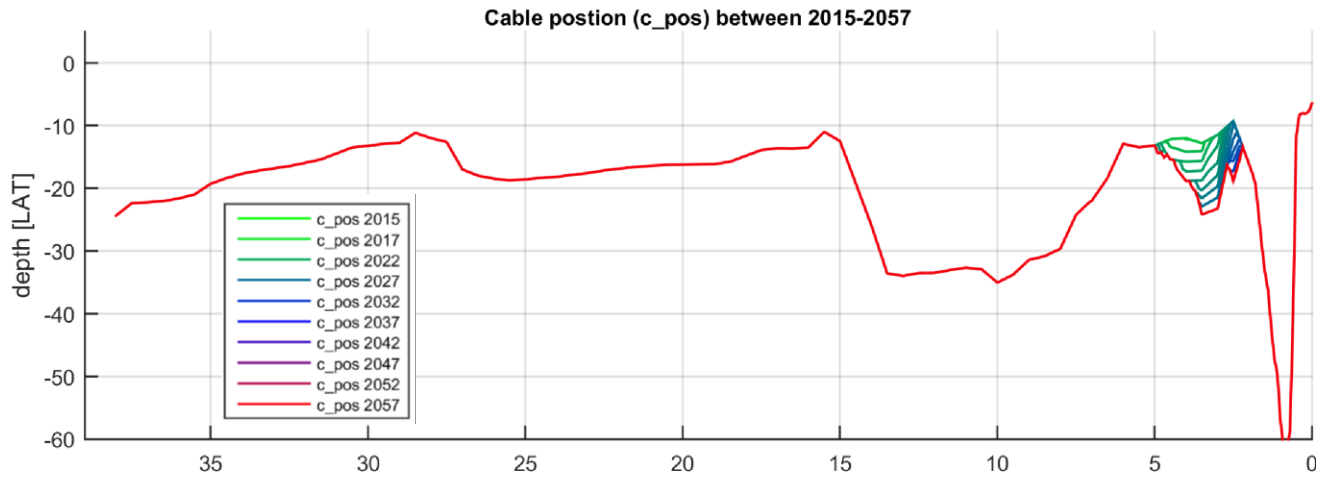


Figure 4.26: Cable position evolution between 2015 – 2057 based on minimum depth requirements for scenario I10R02M10

The depth of the cable below the bed for scenario I02R02M10 is shown in Figure 4.27. The figure shows that the cable burial depth increases over time between KP 23 and 27. The figure also shows that the burial depths between KP 2 and KP 7 can reach 22 m while in other years the cable needs to be reburied because of limited sediment cover above the cable.

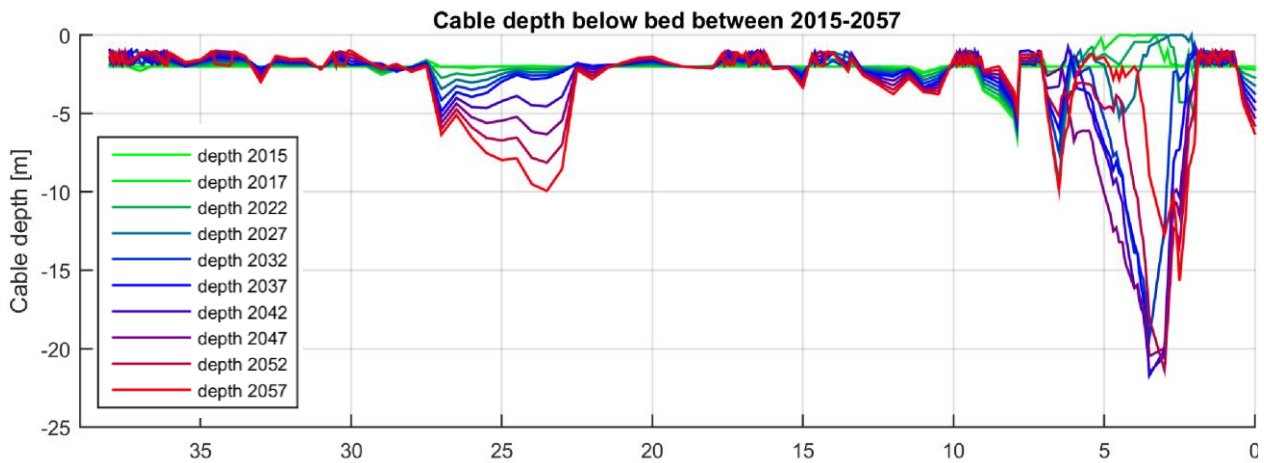


Figure 4.27: Cable depth below the bed for scenario I02R02M10

Reburial needs

Based on the followed approach, starting points and historic bathymetric data the reburial needs are assessed. In Figure 4.28 the number of times reburial is required along the cable trajectory for scenario I02R02M10 is shown. The largest amount of reburial needs is around the Spijkerplaat where at some locations the position of the cable has been lowered more than 10 times.

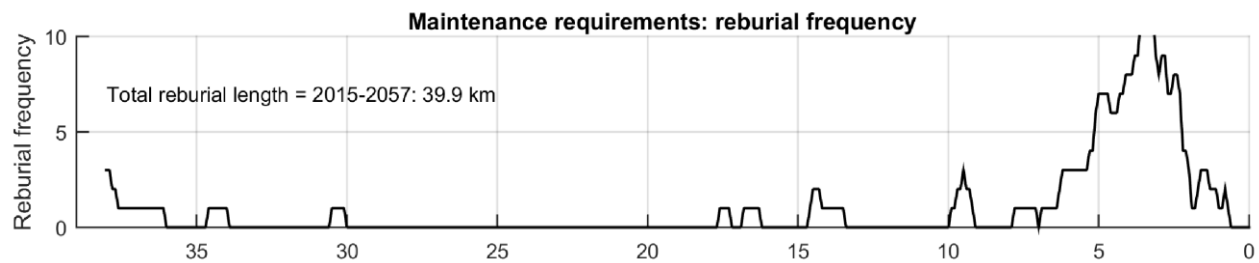


Figure 4.28: Required number of times reburial needs to be applied along the cable and total reburial length for scenario I02R02M10

In Table 4.14 the total required reburial cable length for the considered scenarios is shown. The required reburial length varies per scenario between 39.9 km for the smallest initial burial depth and reburial depth to 6.0 km for large initial burial depths and reburial depths. The values apply to the installation of one cable during a life span of 40 years (2017 – 2057).

Table 4.14. Required reburial length between 2017-2057

Initial burial	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
2	37.0	25.6	27.7	18.5
3	28.3	18.6	22.2	14.0
6	18.0	12.0	15.2	9.7
8	14.4	9.5	12.1	7.9
10	11.2	7.4	9.1	6.0

Table 4.15 shows the number of times reburial is required over the lifetime of the cable. The number of times reburial is required is determined by considering sections of 100 m along the trajectory and verifying whether each individual section along the trajectory needs maintenance. In case in one year, one or more sections need maintenance this is counted as one reburial time. This calculation has been made with an interval of one year (leading to 40 times in case reburial is needed in every year during the 40 year lifetime).

Table 4.15: Required number of times reburial is required between 2017 - 2057

Initial burial	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
2	39	39	35	33
3	34	32	28	27
6	16	15	15	15
8	14	13	13	13
10	12	12	12	12

Maintenance dredging needs

The total required maintenance dredging needs in a life time of 40 years are shown in Table 4.16. The average yearly maintenance dredging volumes are shown in Table 4.17. Again, the presented values apply to the maintenance of one cable during a life time of 40 years.

The tables show that the maintenance requirements strongly vary per scenario with lowest dredging needs for small initial burial depths and large dredging needs for large initial burial depths. For large initial burial depths, the maximum burial depth criterion is exceeded almost along the entire cable route which implies that a trench is required above the entire trajectory which should be maintained continuously.

Table 4.16. Required maintenance dredging volumes (million m³/ 40 years per cable) between 2017-2057

Initial burial	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
2	20.6	22.1	20.0	21.8
3	22.9	24.0	22.1	23.2
6	55.6	56.5	55.0	56.4
8	146.5	147.1	145.9	147.5
10	217.6	218.1	217.0	218.1

Table 4.17. Required 40-year average maintenance dredging volumes (million m³/ years per cable) between 2017-2057

Initial burial	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
2	0.5	0.6	0.5	0.5
3	0.6	0.6	0.6	0.6
6	1.4	1.4	1.4	1.4
8	3.7	3.7	3.6	3.7
10	5.4	5.5	5.4	5.5

4.5.4 Sensitivity analysis

Additional to the sensitivity analysis that has been performed under phase 1 (see Section 3.5.4), a number of additional calculations have been made to determine the sensitivity of the results. Under phase 2 additional calculations have been made for a downward shift in bed level between 2015 and 2057 at the Spijkerplaat sections and an increase in bed level movement in the other sections. The following sensitivity calculations have been made:

A: Vertical shift Spijkerplaat sections (KP 2 – KP 7) – 1.0 m

B: Vertical shift Spijkerplaat sections (KP 2 – KP 7) – 2.0 m

C: Vertical shift Spijkerplaat sections (KP 2 – KP 7) – 2.0 m, in all other sections the movement of the bed has been increased with 25%.

Reburial needs

In Table 4.18 the required reburial lengths are given for the considered sensitivity calculations. The reburial needs are approx. 5% to 25% higher in the considered cases. The reburial needs for case A are about 5-10 % larger, for Case B 10-20 % and for Case C 15 to 25 %.

Table 4.18. Required reburial needs (km/ 42 years/ per cable) between 2015-2057 between KP 0 – 38 per individual cable

Reburial	Reburial depth: 2.0 m, minimum burial depth 1.0 m		
Initial burial	A: vertical shift Spijker-plaat 1 m	B: vertical shift Spijker-plaat 2 m	C: vertical shift Spijker-plaat 2 m, 25% more movement other sections
2	42.3 +6%	44.3 +11%	48.9 +23%
3	31.2 +5%	33.4 +13%	37.0 +25%
6	19.6 +9%	21.2 +18%	21.3 +18%
8	15.3 +6%	16.7 +16%	16.7 +16%
10	11.9 +6%	13.2 +18%	13.2 +18%

Maintenance dredging needs

In Table 4.19 the required maintenance dredging volumes are given for the considered sensitivity calculations. The difference in required maintenance dredging volumes are approx. +5% to -10% for the considered cases. The maintenance volumes for case A are maximum 5 % lower, for Case B maximum 9 % lower and for Case C 3% higher for the shallow burial depths to 3% lower for the deeper burial depths.

Table 4.19. Required maintenance dredging volumes (million m³/ 42 years per cable) between 2015-2057 between KP 0 – 38 per individual cable

Reburial	Reburial depth: 2.0 m, minimum burial depth 1.0 m		
Initial burial	A: vertical shift Spijker-plaat 1 m	B: vertical shift Spijker-plaat 2 m	C: vertical shift Spijker-plaat 2 m, 25% more movement other sections
2	19.5 -5%	18.7 -9%	20.9 +1%
3	21.8 -5%	20.9 -9%	23.6 +3%
6	54.7 -2%	53.5 -5%	57.0 +2%
8	148.0 -1%	146.5 -2%	145.9 -3%
10	220.7 -1%	218.7 -2%	219.6 -1%

4.5.5 Comparison with results of Phase 1 and accuracy of the results

To facilitate comparison, the results of phase 1 (1974-2004) and phase 2 (2017 – 2057) have been combined in Table 4.20 and Table 4.21. In general, the tables show that the results of both exercises are very close and comparable. The difference in required reburial length between 1974 – 2014 and 2017 – 2057 range between 0 – 10%. The difference in required maintenance dredging range between -10 and + 5%.

The differences between the results of both phases are relative small. The main reason for this is that the calculations of phase 2 have been made 43 years later than phase 1. The cycle time of the Spijkerplaat, which has the largest contribution to the results is 30 - 40 years. The differences in bed level along the cable trajectory at the Spijkerplaat in 1974 and 2017 are thus not very large; in both years the cable installation takes place on top of the Spijkerplaat. In case the cable would have been installed in 1992, when the trajectory was located in the Schaar van de Spijkerplaat (see Appendix A01.24), the effects would be much different with smaller required reburial lengths and larger required maintenance dredging volumes.

Table 4.20. Required reburial length (km / 40 years per cable) between 1974-2014 (in red) and 2017 - 2057 (in blue) between KP 0 - 38 per individual cable

Initial burial	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
2	39.3 37.0	28.7 25.6	27.8 27.7	19.2 18.5
3	28.6 28.3	19.9 18.6	21.8 22.2	14.5 14.0
6	18.3 18.0	12.4 12.0	14.9 15.2	9.7 9.7
8	14.8 14.4	9.5 9.5	11.9 12.1	7.8 7.9
10	11.5 11.2	7.3 7.4	9.2 9.1	5.7 6.0

Table 4.21. Required maintenance dredging volumes (million m³/ 40 years per cable) between 1974-2014 (in red) and 2017 - 2057 (in blue) between KP 0 – 38 per individual cable

Initial burial	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth : 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
2	20.8 20.6	21.5 22.1	20.1 20.0	20.5 21.8
3	22.3 22.9	22.8 24.0	21.8 22.1	22.1 23.2
6	52.3 55.6	52.8 56.5	51.8 55.0	52.1 56.4
8	157.3 146.5	157.7 147.1	156.8 145.9	157.4 147.5
10	234.5 217.6	234.9 218.1	234.1 217.0	234.1 218.1

In case the morphology indeed continues as a cyclic process as was the case the last decades the accuracy of the results will thus be in the order of about 10%. However, in case the morphologic behaviour will not follow the trend as expected from the historical surveys, and will change the coming years the accuracy of the results will diminish. According to the sensitivity analysis the increase/ decrease in reburial needs, where the magnitude of bed level fluctuations have been varied, can go up to 20-25% (see Table 4.18).

Morphodynamics are very difficult to predict and large accuracy bandwidths generally exists. Based on the results of phase 1 and phase 2 and the executed sensitivity analysis under both phases we expect that the uncertainty in the results of the reburial requirements will be about +/-30%

The uncertainty of the maintenance dredging requirements will probably be larger because apart from the uncertainties in morphological behaviour of the bed, also large uncertainties exist in the infill capacity of a dredged trench above the trajectory. The approach followed in this study could be further detailed to decrease the bandwidth, in case necessary. We expect that the uncertainty in the maintenance dredging results will be in the order of +/- 50%.

4.6 OPTIMAL INSTALLATION DEPTH WITH LOWEST REBURIAL REQUIREMENTS

Cable reburial is generally an expensive intervention and should be prevented as much as possible by initially bury the cable to depths large enough to prevent exposure. Initial installation depths however are restricted by the maximum allowable dredging volumes due to environmental constrains and by technical limitations of the cable installation equipment. Trenching to a depth of 10m below seabed is considered to be the maximum possible in sand at his moment in time. The CAPEX-OPEX assessment will determine the optimal ratio between initial burial depth and reburial needs.

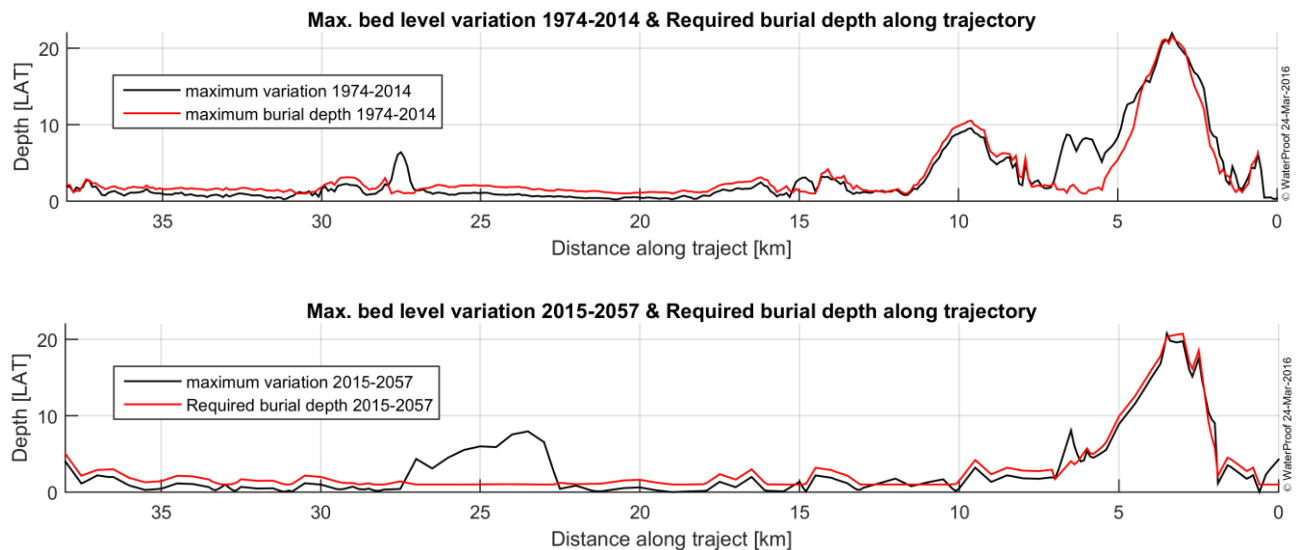


Figure 4.29: Maximum absolute difference in bed level (red line) and required burial depth in case no reburial is allowed (black line) for the period 1974 – 2014 and 2015 -2057

In case no reburial would be allowed, along the largest part of the trajectory the initial burial depths should be about 1-2 m. In the Rede van Vlissingen and Honte the initial burial depths should be about 3-6 m and at the Spijkerplaat the burial depth should be at least 21 m.

5 PHASE 3: COMPARISON RESULTS WITH ARCADIS STUDY

5.1 COMPARISON RESULTS WITH ARCADIS STUDY

In December 2015 ARCADIS Nederland B.V. has delivered the Appropriate Assessment for the Borssele cable at Sea (In Dutch: Passende Beoordeling Transmissiesysteem op zee, Borssele). Part of underlying study is to judge if the morphological aspects as applied in the ARCADIS study (ARCADIS, 2015) are comparable.

Within the ARCADIS (2015) study the routing of the cable is described in detail. It is mentioned that the cables will be placed as much as possible on the south side of the Spijkerplaat. We agree with this statement since burial on the south (more deep) side means larger installation depths and a decrease in reburial needs. Moreover, the historic absolute difference in bed level between 1950 and 2015 decreases when going more south.

Appendix 3 of the report presents the turbidity study in which the effects of dredging on turbidity (and related effects on nature) are assessed. This study starts with an assessment of the morphology in the project area. ARCADIS (2015) used bathymetrical data between 1964 and 2014 of which most data is comparable to the dataset as used in underlying study. The description of the morphologic behaviour of the bed along the trajectory is detailed and the most important processes along the trajectory are described. Only limited attention is given to the behaviour of sand waves in the North Sea area. However, because the movement of the sand waves is generally low and the crests of the sand waves will be dredged away before installation it is expected that this will not have a large impact on the outcome of the study.

The dredging volumes as determined in the ARCADIS study are based on a preliminary defined burial depth along the route. The actual dredging volumes will probably be different because the burial depth as assessed in underlying report and optimal depth as will be derived in the CAPEX-OPEX assessment will importantly influence the maintenance dredging volumes. However, it is believed that the preliminary defined burial depth is chosen conservative, leading to relative high dredging volumes for installation. It is expected that the total dredging volume will not exceed the volumes as given in ARCADIS (2015). It is however noted that the distribution of the dredging volumes along the trajectory might be slightly different.

6 CONCLUSIONS & RECOMMENDATIONS

6.1 CONCLUSIONS

In this study, various requirements, burial depths and phases have been thoroughly studied to gain insight in the installation and maintenance needs for cable. The results are extensive and conclusions can therefore be difficult to comprehend. For this reason, the conclusions drawn in this chapter are clarified and supported by a summary of the main results of the study.

Objective

The main objective of this study is to quantify the expected amount of maintenance on the depth of burial of the subsea power cables that is needed throughout the 40-year life span of the 5 cables, as a result of the dynamic morphology in the project area. The required maintenance has been calculated for two phases: (1) in case that the cables would have been buried in 1974 and (2) in case they are buried in 2017.

Also, two maintenance requirements are considered:

- 1) to increase the depth of burial (reburial via e.g. trenching) for protection of the cable and;
- 2) to decrease the depth of burial (lowering the seabed above the cable by means of dredging in case required) to ensure sufficient heat exchange of the cable.

It is concluded that both phases result in comparable maintenance requirements (see below).

Morphodynamic activity along the trajectory

As a first step, the morphology of the area is studied. It is concluded that different morphological processes play an important role along the trajectory. Migrating sand waves determine the burial requirements in the North Sea area and at the Voordelta. On the Vlake van de Raan moving sand banks with heights up to 10 m and a relative long cycle time should be considered. In the entrance of the Western Scheldt the meandering of the Rede van Vlissingen channel affects the required burial depths. The largest bed level fluctuations are found in the area where the cable crosses the Spijkerplaat/ Schaar van de Spijkerplaat. The Spijkerplaat / Schaar van de Spijkerplaat behave cyclically where the Spijkerplaat and adjacent Schaar are formed, move towards the north, slowly decrease in size and die in subsequent years after which a new channel is formed at the location where it was present approx. 35 years ago. Due to the large differences in bed level in time (> 20 m in 40 years) it is concluded that this area strongly influences the maintenance needs of the cables.

Sedimentation in a trench

It is concluded that a trench that is dredged above the cable trajectory will be subject to substantial sedimentation. Both in the North Sea as well in the Western Scheldt it is expected that a dredged trench will be filled annually with about 3 m of sediment, slightly independent of trench depth. Consequently, the maintenance requirements of a dredged trench are large. As a result, the maximum depth of burial requirement also leads to large maintenance dredging needs.

Cable reburial

The cables are optimally installed in the deepest sections of the project area to minimize the reburial needs. In this way, the initial installation depth is largest and the chance that the future bed level will reach the cable depth resulting in surfacing of the cable becomes smaller. Within the Western Scheldt, the maximum change in bed level is generally in the order of 1-2 m/year. Based on this relative high bed level flux it is recommended to survey the bathymetry and derive the depth of the cables from it regularly in case it is situated in the upper sections of the bed. Moreover, to apply a minimum burial depth criterion of at least 1 m to diminish the chance on surfacing of the cable in between two survey periods.

Phase 1 results, cable burial in 1974

A long dataset of historical bathymetric information is available which is used to determine the maintenance needs in case the cable would have been buried in 1974. For a number of cases the cable has been installed in the 1974 seabed at five different initial burial depths. When in time the depth of burial becomes smaller than the minimum depth of burial (0.5 or 1.0 m) the cable is reburied (either 2 m below the bed or 3 m below the bed). The total length in kilometres of the trajectory at which reburial is required (reburial length) between 1974 and 2014 is shown in red in Table 6.1.

Table 6.1. Required reburial length (km / 40 years per cable) between 1974-2014 (in red) and 2017 - 2057 (in blue) between KP 0 – 38 per individual cable

Initial depth of burial (m)	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
2	39.3 37.0	28.7 25.6	27.8 27.7	19.2 18.5
3	28.6 28.3	19.9 18.6	21.8 22.2	14.5 14.0
6	18.3 18.0	12.4 12.0	14.9 15.2	9.7 9.7
8	14.8 14.4	9.5 9.5	11.9 12.1	7.8 7.9
10	11.5 11.2	7.3 7.4	9.2 9.1	5.7 6.0

The number of times reburial is required during the lifetime of the cable is shown in Table 6.3. The number of times reburial is required is determined by considering sections of 100 m along the trajectory and verifying whether each individual section along the trajectory needs maintenance. In case in one year, one or more sections need maintenance this is counted as one reburial time. This calculation has been made with an interval of one year (leading to 40 times in case reburial is needed in every year during the 40 year lifetime).

Table 6.2. Required number of times reburial is needed between 1974-2014 (in red) and 2017 - 2057 (in blue) between KP 0 – 38 per individual cable

Initial depth of burial (m)	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
2	37 39	37 39	33 35	32 33
3	32 34	30 32	27 28	25 27
6	24 16	22 15	18 15	17 15
8	19 14	18 13	15 13	14 13
10	13 12	12 12	10 12	9 12

The largest reburial requirements are found in case of shallow initial depth of burial, smallest reburial and largest minimum burial depth. Maximum reburial lengths are of the order of 40 km in 40 years to minimum of 6 km in 40 years in case of large initial burial depths, largest reburial and smallest minimum burial depth.

The dredging requirements of maintaining a trench above the cable in case the maximum burial depth was reached between 1974 and 2014 is presented in blue in Table 6.3. It shows that the dredging needs significantly increase for large installation depths where the cable is installed deeper than the maximum burial depth criteria (6 m) implying that the trench needs to be maintained by dredging continuously.

Table 6.3. Required maintenance dredging volumes (million m³/ 40 years per cable) between 1974-2014 (in red) and 2017 - 2057 (in blue) between KP 0 – 38 per individual cable

Initial burial	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth : 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
2	20.8 20.6	21.5 22.1	20.1 20.0	20.5 21.8
3	22.3 22.9	22.8 24.0	21.8 22.1	22.1 23.2
6	52.3 55.6	52.8 56.5	51.8 55.0	52.1 56.4
8	157.3 146.5	157.7 147.1	156.8 145.9	157.4 147.5
10	234.5 217.6	234.9 218.1	234.1 217.0	234.1 218.1

At the most dynamic area (Spijkerplaat KP 2 to 7), the cable is in 1974 installed on top of the shallow area and in time the bed level decreases with maximally 21 m (which is reached around 1992). This section dominates the maintenance requirements of the cables. In case no reburial is allowed, the cables should be initially buried more than 21 m below the bed level.

Phase 2 results, cable burial in 2017, KP 0 - 38

The available bathymetric information has been used to extrapolate the morphological behaviour to the coming 40 years. The cyclic behaviour of the various morphological processes is important for the extrapolation method. Linear extrapolation is applied in case the cyclic behaviour is very large (> 50-100 year) while cyclic extrapolation has been applied for shorter (0 – 50 year) cyclic behaviour.

Also in case the cable is buried in 2017, the cable will be placed on top of the Spijkerplaat. Similar to scenario 1, this will lead to large maintenance needs. In Table 6.1 and Table 6.3, the maintenance requirements in case the cable is buried in 2017 are presented in blue. The tables show that the maintenance requirements for both phases are in the same order of magnitude. The fact that both in 1974 and 2017 the cable trajectory is installed on top of the Spijkerplaat, importantly determines the comparable results between both phases. In case the cable will be installed about 15-20 year later in the cyclic process (around 1990 or 2035), the reburial needs would be much smaller because the cable is installed much deeper than in case the installation takes place in 1974 or 2017. However, the maintenance dredging requirements would strongly increase in this case, due to the maximum burial requirement of 6 m continuous dredging of a trench above the cable is required.

Phase 2 results, cable burial in 2017, KP 38 - 67

Under phase 2, also predictions have been made of the behaviour of the sand waves in the North Sea area. These predictions have been used to determine the expected maintenance requirements in this area. Although only 3 bathymetrical surveys were available covering a 15-year timeframe, the followed approach results in reasonable but slightly conservative predictions of the bed level between 2017 - 2057. Comparable to the previous described approach, five different initial burial depths have been considered in the sand wave area. Note that the sand waves are dredged away prior to placement and burial of the cables. In this study, the initial depth of burial is the depth after sand wave removal by dredging (see for example Figure 3.5). The required maintenance in the sand wave area (KP 38-67) are shown in Table 6.4, Table 6.5 and Table 6.6.

Table 6.4. Required reburial length (km/ cable) between 2017-2057

Initial burial	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth : 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
0.5	23	20.3	15.4	14.3
1.0	16.6	14.6	3.9	3.6
1.5	4.6	3.6	2.1	2
2.0	2.5	2.1	1.1	1
2.5	1.1	1	0.4	0.4

Table 6.5: Required number of times reburial is required (per cable) between 2017 - 2057

Initial burial	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
0.5	39	32	27	25
1.0	31	27	21	21
1.5	23	22	14	14
2.0	14	14	8	8
2.5	8	8	4	4

Table 6.6. Required maintenance dredging volumes (million m³/ 40 years per cable) between 2017 - 2057

Initial burial	Minimum burial depth 1.0 m		Minimum burial depth : 0.5 m	
	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m	Reburial: 2 m	Reburial: 3 m
0.5	0.99	1.37	1.09	1.74
1.0	1.32	1.32	1.43	1.82
1.5	2.13	2.13	2.13	2.13
2.0	3.72	3.72	3.72	3.72
2.5	6.51	6.51	6.51	6.51

Only in case the installation depths in the sand wave area are between 2 to 2.5 m, a very limited reburial is required. The side effect of these installation depths is that they increase the maintenance dredging requirements because in some parts a trench needs to be dredged above the cable trajectory.

Optimal installation depth with lowest reburial requirements

Cable reburial is generally an expensive effort and should be prevented or minimized as much as possible by initially burying the cables to depths large enough to prevent surfacing. The CAPEX-OPEX assessment will determine the optimal ratio between initial burial depth and reburial needs. In case no reburial is allowed, along the largest part of the trajectory the initial depths of burial should be about 1-2 m. At the Rede van Vlissingen and Honte an initial depth of burial of about 3-4 m is required and at the Spijkerplaat the depth of burial should be at least 21 m.

Comparison of phase 1 and phase 2 and accuracy of the results

The results of both phases are generally comparable and differences are relatively small. The main reason for this is that the calculations of phase 2 have been made 43 years later than phase 1, which coincides with the cyclic process duration. The cyclic duration of the Spijkerplaat (which has the largest contribution to the results) is 30 -40 years. The differences in bed level along the cable trajectory at the Spijkerplaat in 1974 and 2017 are thus not very large; in both years the cable installation takes place on top of the Spijkerplaat. In case the cable would have been installed in 1992, when the trajectory was located in the Schaar van de Spijkerplaat

(see Appendix A01.24), the effects would be much different with smaller required reburial lengths and larger required maintenance dredging volumes.

In case the morphology indeed continues as a cyclic process as was the case the last decades, it is expected that the accuracy of the results will be in the order of about 10%. However, in case the morphologic behaviour will not follow the trend as expected from the historical surveys and literature and will change the coming years, the accuracy of the results will decrease. According to the sensitivity analysis, the increase/ decrease in reburial needs, where the magnitude of bed level fluctuations has been varied, can be in the order of 20-25% (see Table 4.18).

Morphodynamics are difficult to predict and large accuracy bandwidths generally exists. Based on the results of phase 1 and phase 2 and the executed sensitivity analysis under both phases we expect that the uncertainty in the results of the reburial requirements will be about +/-30%

The uncertainty of the maintenance dredging requirements will probably be larger because apart from the uncertainties in morphological behaviour of the bed, also large uncertainties exist in the infill capacity of a dredged trench above the trajectory. The approach followed in this study could be further detailed to decrease the bandwidth, in case necessary. We expect that the uncertainty in the maintenance dredging results will be in the order of +/- 50%.

6.2 RECOMMENDATIONS

Maximum burial depth requirement

The maximum burial depth requirement (which states that the cable cannot be buried deeper than 6 m below the bed) has a large effect on the required maintenance dredging needs. The dredging volumes are so large that it is recommended to find possibilities to maximize this criterion as much as possible. This could be done by (1) choosing a different cable type with a higher conductance (larger conductor area or/and copper core instead of aluminium), leading to lower thermal heat or (2) by decreasing the conservatism in the thermal models by investigating the thermal resistance or thermal conductance of the sediment surrounding the cable. Both aspects might increase the maximum burial depth requirement and consequently decrease the required maintenance dredging volumes.

Re-routing the trajectory on the Spijkerplaat south

It is recommended to investigate whether the cable trajectory on top of the Spijkerplaat could be relocated southwards. The historical absolute difference in bed level on the Spijkerplaat is about 21 m (difference between historic maximum and minimum bed level). Relocating the trajectory south has two advantages: (1) south of the Spijkerplaat the absolute difference in bed level decreases leading to smaller (less large) required burial depths, and (2) the depths south of the Spijkerplaat are currently larger (existence of Schaar van Spijkerplaat) and with the same installation depth the cable can be positioned at a lower vertical level.

Installation depth on the Spijkerplaat

At the Spijkerplaat it is recommended to apply trenching (possibly in combination with dredging a shallow trench) to the deepest feasible depths reachable with a trencher and wait for the moment that the bed level along the trajectory almost reaches the cable depth. At the moment the bed level almost reaches the cable depth, it is advised to re-burry the cable with help of mass-flow excavation. This should be assessed as part of the CAPEX-OPEX comparison of installation options.

Optimizing the cable trajectory within the sand wave area

It is recommended to optimize the cable trajectories in the sand wave area by repositioning the cables such that the cables are aligned with the sand waves and mostly follows the troughs of the sand waves within the area. In this way, the required dredging of sand wave crests can be minimized and related dredging volumes can be reduced.

7 REFERENCES

- [1] ARCADIS, 2015. Passende beoordeling transmissiesysteem op zee, Borssele. 21 december 2015.
- [2] Arcadis, 2013a. Passende Beoordeling en Natuurtoets onderhoud vaargeul Westerschelde. In opdracht van: het Vlaams Gewest. Afdeling Maritieme Toegang. Datum: 1 juli 2013.
- [3] Arcadis, 2013b. Passende beoordeling en quick scan verspreiding baggerspecie uit havens in de Westerschelde. In opdracht van Rijkswaterstaat Zee en Delta en Zeeland Seaports. Datum: 18 oktober 2013.
- [4] Arcadis 2014. Passende beoordeling en quick scan verlenging Westhofkade. Zeeland Seaports. April 2014. B02043.000317.0100
- [5] Arcadis-Technum consortium, 2007. Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde. Achtergronddocument Morfologische ontwikkeling Westerschelde. Fenomenologisch onderzoek naar de ontwikkelingen op meso-schaal. Versie 3.0. 22 juni 2007.
- [6] Cleveringa J., 2007. Morphodynamics of the Delta Coast. Quantitative analysis and phenomenology of the morphological evolution 1964-2004. Alkyon report A1881R1r2
- [7] Dam G, Van der Wegen M., Roelvink D., Labeur R.J., Blik B., 2015. Simulation of long-term morphodynamics of the Western Scheldt. E-proceedings of the 36th IAHR World Congress. 28 June – 3 July, 2015. The Hague.
- [8] Van Duren L., 2009. Metingen stroomsnelheden platen van Ossensisse, metingen in ondiep water en intergetijdegebieden, Deltares rapport Z4574, 2009.
- [9] Fettweis M., Du Four I., Zeelmaekers E., Baeteman C., Francken F., Huziaux J.S., et al. (2007) Mudorigin, characterisation and human activities activities (MOCHA).
- [10] Menninga J., 2012. Analysis of variations in characteristics of sand waves observed in the Dutch coastal zone: a field and model study. M.Sc dissertation thesis. Universiteit Utrecht, 2012.
- [11] Nemeth A., Hulscher S.J.M.H., Van Damme R.M.J., 2004. Modelling sand wave migration and height comparing model results and data. Marine Sandwave and River Dune Dynamics – 1 & 2 April 2004 – Enschede, the Netherlands.
- [12] Riezebos H.J., Hasselaar R., Raaijmakers T., Vermaas T., 2014. Morphodynamics of Borssele Windfarm zone. prediction of potential seabed level changes during the lifetime of offshore wind parks. Deltares project 1210520-000
- [13] Schelde consortium, 2014. T2009-Rapport Schelde estuarium. Ministerie van infrastructuur en milieu Rijkswaterstaat Zeeland, uitvoerend secretariaat van de vlaams-Nederlandse scheldecommissie. 7 mei 2014. C03041.002718.0400

- [14] Schelde consortium, 2013a. Instandhouding Vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie. Actualisatierapport Delft3D Schelde-estuarium. Achtergrondrapport A-27. 1 oktober 2013
- [15] Schelde consortium, 2013b. Instandhouding Vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie. Effect morfologie monding Westerschelde op getij. Basisrapport grootschalige ontwikkeling G-12. 1 oktober 2013
- [16] Schelde consortium, 2013c. Instandhouding Vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie. Synthese en conceptueel model. Basisrapport grootschalige ontwikkeling G-13. 1 oktober 2013
- [17] Tonnon P.K., Van Rijn L.C., Walstra D.J., 2006. The morphodynamic modelling of tidal sand waves on the shoreface. Coastal Engineering 54 (279-296)

Internet sources:

- [1] Waterstanden Rijkswaterstaat:
https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Referentiewaarden%20waterstanden_tcm174-326696_tcm21-24223.pdf
- [2] Scheldemonitor: www.scheldemonitor.be
- [3] Flanders Marine Institute: www.vliz.be

13. Na installatie van de kabels zal de initiële begraafdiepte opgemeten worden door met state of the art meettechniek de diepte van de kabel onder het zeebed op te meten. De begraafdiepte van de kabels zal gedurende de levensduur van de kabels herhaaldelijk opnieuw vastgesteld worden door frequent de ligging van het zeebed boven de kabels op te meten. De minimale frequentie van het opmeten van het zeebed ligt vast in de vergunningen. De frequentie van de opmetingen van het zeebed zal in overleg met het bevoegd gezag aangepast worden wanneer de mobiliteit van het zeebed daar aanleiding toe geeft.
14. Voor het herbegraven dan de kabels in zand en zachte klei staan verschillende methoden ter beschikking, waarmee TenneT op andere kabels ervaring op heeft gedaan.
15. Voor het herbegraven van kabels in harde klei en sterke veen pakketten zijn op het moment geen geschikte methoden voorhanden. Wanneer additioneel beschermen van de kabels in harde klei en sterk veen nodig is, dan kan dat met een steenstorting worden verzorgd. Wanneer de kabels echter dieper in harde klei of in sterk veen begraven moeten worden, dan is daarvoor of een jettrencher nodig met hogere waterjetdruk dan nu gebruikelijk of moet een nieuw stuk kabel dieper geïnstalleerd worden parallel aan de bestaande kabel die het oude stuk kabel moet vervangen. Een dergelijke situatie wordt getracht te voorkomen door de kabels in gebieden waar in vaarwegen stijve klei of sterk veen tegen wordt gekomen direct op een zodanige diepte te begraven dat herbegraven kan worden voorkomen.

Bijlage 4 Globale doorkijk stopcontacten op de Noordzee voor offshore windenergie

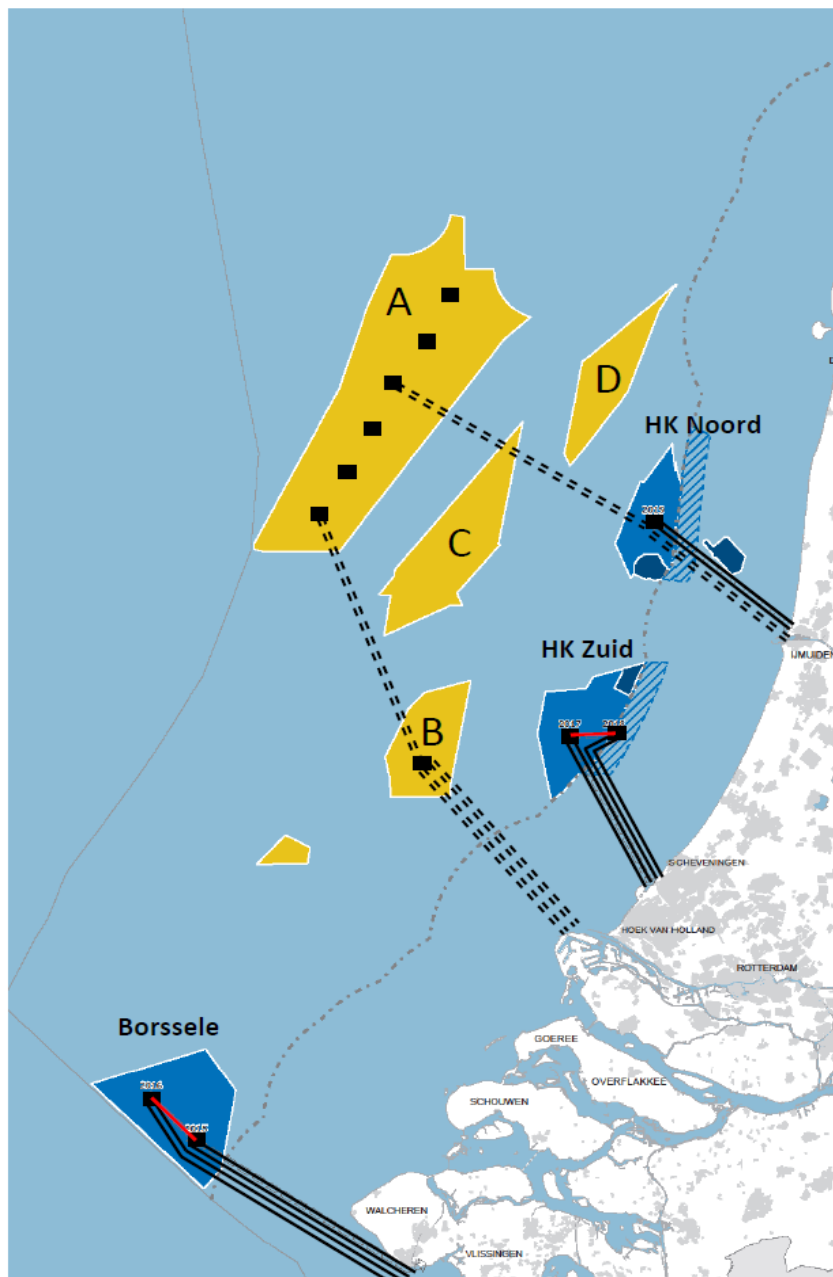
Als laatste punt adviseert de Commissie MER om bij toekomstige projecten voor windenergie en/of netten op zee een globale doorkijk te geven van de mogelijkheden van een toekomstig netwerk van 'stopcontacten' op de Noordzee voor offshore windenergie. Hiermee wordt duidelijk of zo'n netwerk in de nabije toekomst een rol (kan) gaan spelen.

Het Ministerie van Economische Zaken heeft een uitrolstrategie voor wind op zee bedacht waarin ook een doorkijk wordt gegeven van een toekomstig netwerk van stopcontacten op zee voor offshore windenergie. Deze uitrolstrategie geeft sturing aan offshore windenergie door middel van kavels en vergunningen op grond van de Wet windenergie op zee, subsidie op grond van het Besluit stimulering duurzame energieproductie en een ontwikkelkader voor de ontwikkeling van windenergie op zee. Artikel 16e van de Elektriciteitswet 1998 bepaalt dat de minister van Economische Zaken dit ontwikkelkader vaststelt.

Het ontwikkelkader windenergie op zee geeft de sturing van de rijksoverheid vorm voor de ontwikkeling van windenergie op zee, in het bijzonder dat van het net op zee.

Op dit moment worden windparken op zee kosteneffectief gerealiseerd in drie gebieden: Borssele (1.400 MW), Hollandse Kust (zuid) (1.400 MW) en Hollandse Kust (noord) (700 MW). De gebieden Hollandse Kust die niet grenzen aan de 12-mijlszone en het gebied IJmuiden Ver hebben vanwege hun verdere ligging hogere kosten en komen eventueel pas na 2019 in beeld voor uitgifte

In het ontwikkelkader is opgenomen dat deze verder weg gelegen gebieden mogelijk aangesloten kunnen worden op het net op land door gebruik te maken van de TenneT-platforms die op dat moment al gerealiseerd zijn, zoals de platforms in Hollandse Kust (noord). Een platform kan dan fungeren als "stapsteen", zodat het mogelijk is om op termijn de verder uit de kust gelegen windenergiegebieden met wisselstroom aan te sluiten op de platforms in de windenergiegebieden uit de routekaart. Voor het windenergiegebied Borssele is een stapsteen niet aan de orde, er ligt daar immers geen verder uit de kust gelegen windenergiegebied in de buurt.



Figuur 1 Schematische weergave van de verbindingen van de windenergiegebieden uit de routekaart (zwarte gesloten lijnen). De tracés van het net op zee voor het gebied Hollandse Kust moeten nog bepaald worden en zijn hier afgebeeld ter illustratie. De 66 kilovolt verbindingen tussen de platforms in Borsselle en Hollandse Kust (zuid) staan weergegeven in rood. Met stippellijnen zijn indicatief verbindingen voor IJmuiden Ver aangegeven volgens het stapsteen-principe.

In het ontwikkelkader is verder opgenomen:

"Voor Hollandse Kust (zuid) is er wel sprake van een verder weggelegen windenergiegebied (aangeduid met "B"), maar blijkt dat het verbinden van het platform in gebied B met een eigen kabel naar de kust slimmer en goedkoper is. De afstand tot de kust is zodanig kort dat de voor wisselstroom noodzakelijke blindstroomcompensatie niet halverwege de kabel nodig is. Dit levert binnen het windenergiegebied Hollandse Kust (zuid) ook wat meer ruimte op om windturbines te plaatsen, doordat een extra tracé voor de zeekabels uit gebied "B" achterwege kan blijven.

Bij Hollandse Kust (noord) ligt een stapsteen wél voor de hand, in eerste instantie voor het verbinden van windenergiegebied IJmuiden Ver (aangeduid met "A"), mocht dat in de toekomst ontwikkeld worden. De stapsteen-functie bij Hollandse Kust (noord) behelst primair de huisvesting van blindstroomcompensatie van een van de kabelparen vanuit IJmuiden Ver, die het mogelijk maakt om (een deel van) dit verder weggelegen gebied met wisselstroom aan te sluiten. Daarnaast is een voorziening aanwezig voor (het doorverbinden van) het tweezijdige gegevensverkeer tussen het net op land en de windparken in IJmuiden Ver.

De stapsteen-functie omvat geen elektrische koppeling van de kabel(s) van IJmuiden Ver met die van Hollandse Kust (noord). Een elektrische koppeling zou namelijk slechts een beperkte toename van de beschikbaarheid opleveren, doordat de beschikbaarheid al zeer hoog is vanwege de dubbele kabels van elk platform, maar ook doordat de transportcapaciteit van 700 MW van Hollandse Kust (noord) gering is ten opzichte van het in potentie op te stellen vermogen van circa 4000 MW in IJmuiden Ver. De opgewekte elektriciteit van IJmuiden Ver zal dus via meerdere kabels naar land gebracht worden, waarbij halverwege (waaronder bij het platform Hollandse Kust (noord), maar mogelijk ook bij windenergiegebied "B") de blindstroomcompensatie kan plaatsvinden. Het voornemen is dan ook om bij de verkaveling van windenergiegebied Hollandse Kust (noord) ruimte voor een kabeltracé vanuit IJmuiden Ver te reserveren.

Aangezien het op voorhand niet zeker is of de gebieden Hollandse Kust die niet grenzen aan de 12-mijlszone en het gebied IJmuiden Ver na 2019 ontwikkeld zullen worden, en omdat een stapsteen-functionaliteit alleen voor het platform van Hollandse Kust Noord aan de orde is, schrijft dit ontwikkelkader voor om ten behoeve van deze functionaliteit in het (gestandaardiseerde) ontwerp van de platforms geen ruimte te reserveren op de platforms zelf, maar de stapsteen-functie (indien deze inderdaad gewenst is) vorm te geven middels een hulpplatform dat in de onmiddellijke omgeving van het standaardplatform neergezet wordt, waarbij communicatie- en nutsvoorzieningen kunnen worden gecombineerd (modulaire aanpak).

Al enige tijd denken deskundigen en beleidsmakers na over het (op termijn) onderling verbinden van windparken op de Noordzee, al of niet in combinatie met interconnectoren, om op die wijze een zogenaamd 'Noordzee-net' te vormen. Een dergelijk internationaal netwerk op zee kan additionele kostenbesparingen met zich meebrengen, maar vereist een verregaande afstemming tussen landen en partijen.

Op dit moment is de ontwikkeling van een dergelijk netwerk op de Noordzee nog weinig concreet. Daarnaast brengt combinatie met interconnectoren met zich mee dat een dergelijk netwerk logischerwijze gebaseerd zal zijn op gelijkstroom. Dit omdat het transport van elektriciteit over grote afstanden veelal voordeliger is met een gelijkstroomverbinding, vanwege de geringere transportverliezen. Toepassing van gelijkstroom vraagt echter een extra omzetting (van wisselstroom naar gelijkstroom en vice versa), waarbij ook verliezen optreden, en daarnaast is hoog-voltage gelijkstroomapparatuur kostbaarder en op zee nog minder beproefd. Bij de verbinding van windparken op zee zal daarom doorgaans pas gekozen worden voor een gelijkstroomconfiguratie indien deze parken zich verder weg dan circa 100 km van het landelijk hoogspanningsnet op land bevinden.

De windparken waarop dit ontwikkelkader betrekking heeft liggen echter relatief dicht bij de kust. In dergelijke gevallen is wisselstroom goedkoper, en dat zal dan ook worden toegepast. Dit heeft tot gevolg dat eventuele opname in een Noordzee-net niet voor de hand ligt. Wellicht dat combinatie met een dergelijk net wel meerwaarde kan bieden voor de aansluiting van IJmuiden Ver of andere in de toekomst te ontwikkelen verder op zee gelegen windenergiegebieden. In die gevallen is bijvoorbeeld een combinatie met een interconnector naar het Verenigd Koninkrijk denkbaar.

Een combinatie van het net op zee voor Borssele met een interconnector naar België via de zee ligt om de volgende redenen niet voor de hand:

- Er is geen noodzaak en business case voor een interconnector via zee. De komende jaren wordt de interconnectie-capaciteit met België door diverse projecten op land aan Nederlandse en Belgisch zijde al uitgebreid. Bovendien is de aanleg van een interconnector via zee naar verwachting ingewikkelder en duurder dan over land.
- Er is in België (nog) geen netbeheerder van het net op zee. Het wettelijk kader voor een netbeheerder van een net op zee in België is nog uiterst onzeker en onduidelijk. De Belgische windparken die grenzen aan het windenergiegebied Borssele (zoals C-Power, Northwind, Belwind) zijn of worden aangesloten door middel van radiale verbindingen, die worden aangelegd en beheerd door de windparkontwikkelaar.
- Op dit moment ontbreekt een reguleringskader dat het mogelijk maakt om de aansluitingen van windparken te combineren met een interconnector. Immers, interconnectie-capaciteit dient non-discriminatoir aan de markt beschikbaar gesteld en toegewezen te worden. Dit biedt geen ruimte voor voorrang voor specifieke windparken ten opzichte van andere gebruikers van een interconnector. Ook verschillen de subsidieregimes tussen België en Nederland, en is het momenteel nog niet mogelijk om SDE+ te ontvangen voor elektriciteit die niet op het Nederlandse net wordt ingevoerd. Dit vergt aanpassingen van het reguleringskader.

- Noodzakelijke investeringen door verschillen in de technische opzet van de verbindingen van de Belgische windparken. Van een aantal radiale verbindingen van de Belgische windparken is bekend dat deze een spanningsniveau kennen van 150 kilovolt tegen 220 kilovolt aan Nederlandse zijde (zie paragraaf 3.5). Hierdoor is een extra transformator nodig om Belgische windparken aan te kunnen sluiten op de TenneT-platforms bij Borssele. Daarnaast kan een parallelle koppeling Nederland-België via zee ongewenste effecten geven op de landelijke hoogspanningsnetten op land. Dit vergt extra investeringen in technische oplossingen evenals extra beheersmaatregelen.

Dit ontwikkelkader stelt daarom geen aanvullende eisen aan de configuratie van het net op zee voor opname in een Noordzee-net."

CONCEPT