4 EFFECTEN OP ONDERWATERLEVEN

4.1 Inleiding

Bij het onderzoek naar het effect van windparken op de Noordzee moeten de mogelijke effecten van windturbines op onderwaterleven nader onderzocht worden. De adviesrichtlijnen van de Commissie voor de m.e.r. en de uiteindelijke richtlijnen van Rijkswaterstaat Directie Noordzee geven aan dat er een beschrijving van de huidige situatie van het onderwaterleven moet worden gegeven, met name met betrekking tot zeezoogdieren, vissen en bodemfauna. Specifieke aandacht wordt gevraagd voor:

- De in het studiegebied voorkomende zeezoogdieren en de mate waarin die dieren gebruik maken van het gebied. Bekende migratieroutes en foerageergebieden verdienen daarbij de aandacht.
- In het gebied voorkomende vis- en bodemfaunapopulaties, indien mogelijk met indicaties van de dichtheid van de belangrijkste soorten en indien relevant specifiek gebruik van het gebied (paaien, kinderkamer etc.)

Bij de effectbeschrijving wordt aandacht gevraagd voor te verwachten effecten op het migratie- en foerageergedrag van zeezoogdieren. Tevens moeten te verwachten positieve effecten van het zogenaamde oase-effect op de vispopulatie opgenomen worden. Hierbij valt ook te denken aan veranderingen in bodemfauna door het vrijwaren van het gebied van bodemberoerende visserij. Daarnaast moeten de refugiumfunctie voor de visfauna en effecten van elektromagnetische velden op vissen en kraakbeenvissen uitgewerkt worden.

In dit hoofdstuk wordt uitvoerig ingegaan op de hierboven aangegeven aandachtspunten. Voor de effectbeschrijving is ervoor gekozen de effecten op het onderwaterleven per fase te behandelen, dus effecten van de aanleg, de exploitatie en de demontage van een windpark op de Noordzee.

De gegevens in dit hoofdstuk bouwen voort op kennis verzameld in het kader van het MER locatiekeuze NSW en Q7 (E-Connection 2001). Als referentiekader voor de bestaande situatie is met name gebruik gemaakt van:

- Baseline studies wind farm for demersal fish, RIKZ door: Royal Haskoning, TNO en WUR (Tien *et al.* 2004);
- Baseline study Lot 1 Benthic Fauna Final Report, Institute of Estuarine and Coastal Studies, Hull, UK (Jarvis *et al.* 2004).
- Baseline data on the harbour porpoise, *Phocoena phocoena*, in relation to the intended wind farm site NSW (Brasseur *et al.* 2004);
- Base line studies North Sea wind farms: Final report pelagic fish (Grift *et al.* 2004);
- Gebieden met bijzondere ecologische waarden op het Nederlands Continentaal Plat, door: Alterra en RIKZ (Lindeboom *et al.* 2005);
- Integraal beheersplan Noordzee 2015 (Ministeries van V&W, EZ, LNV en VROM 2005).

Tevens is onder andere gebruik gemaakt van monitoring en evaluatieresultaten van het Deense windpark Horns Rev. Daarnaast is gebruik gemaakt van recent onderzoek, ervaringen en openbaar beschikbare kennis die opgedaan is bij andere (buitenlandse) windparken.

4.2 Bestaande milieutoestand en autonome ontwikkeling

In deze paragraaf wordt de huidige situatie van het onderwaterleven beschreven, daartoe worden in het studiegebied voorkomende bodemfaunapopulaties, vis- en zoogdieren genoemd. Tevens wordt aangegeven in welke mate de dieren gebruik maken van het studiegebied (paaien, kinderkamer, foerageren, migratieroute, etc.).

4.2.1 Bodemfauna

In en op de bodem leeft het macrobenthos: ongewervelde dieren, zoals wormen en schelpdieren, die veelal ingegraven in het zand leven. Over de bodem kruipen zeesterren en kreeftachtigen. Veel van deze dieren zijn plaatsgebonden, of hun actieradius is dermate beperkt dat ze functioneel gezien toch als weinig mobiel kunnen worden beschouwd.

Door de geringe mobiliteit is de macrobenthosgemeenschap op een locatie een goede afspiegeling van de abiotische factoren die ter plekke op de wat langere termijn heersen. Daarnaast is het macrobenthos als voedsel voor een aantal vissoorten van cruciaal belang en indirect dus ook voor organismen op een daaropvolgend trofisch niveau.

Gegevens

Het is van belang te kunnen beschikken over onderzoeken met een grote bemonsteringsdichtheid in het studiegebied. Het NIOZ heeft zoveel mogelijk benthosgegevens bij elkaar gebracht om gebieden met karakteristieke macrobenthos gemeenschappen van het NCP aan te geven en te beschrijven. Er bestaan meetgegevens van macrobenthos van 100 stations van het project van de Biologische Monitoring NV van het Nederlands Continentaal Plat (BIOMON) over de jaren 1995-2002, 490 extra stations uit het *MILZON project (1987-1993) en van een dataset van de Doggersbank (NIOZ,* R.Heyman). Deze vormen ook de basis voor het RIKZ rapport 'gebieden met bijzondere ecologische waarden op het Nederlands Continentale Plat' (Lindeboom *et al.* 2005). In de genoemde rapportage worden vijf gebieden op het NCP geselecteerd, die wat betreft het macrobenthos bijzonder genoemd kunnen worden. Deze gebieden komen grotendeels overeen met de gebieden die in de Nota Ruimte (2004) genoemd worden. Dit zijn de Doggersbank, de Centrale Oestergronden, het Friese Front, de Klaverbank en de Kustzee. In het Integraal Beheerplan Noordzee 2015 (IBN 2015) zijn 4 van de 5 gebieden als GBEW (Gebied met Bijzondere Ecologische Waarde) aangewezen; alleen de Oestergronden is buiten deze selectie gebleven, en niet de gehele kustzone is als GBEW aangewezen: het gedeelte tussen Bergen en de Voordelta is buiten beschouwing gebleven.

De zogenaamde MILZON benthos studie (Van Scheppingen en Groenewold, 1990) die ook de zoöbenthosatlas van het Nederlandse Continentale Plat (Holtmann et al 1996) voor een groot deel van haar kustgegevens voorzag, geeft een representatief beeld van het macrobenthos in de Hollandse kustzone. Uit vervolgstudies (o.a. Daan en Mulder 2002) blijkt dat het algemene beeld van de benthosgemeenschappen (biomassa en diversiteit) redelijk stabiel is ondanks de hoge variatie in dichtheden en verspreiding van bepaalde soorten.

Levensgemeenschappen

Een analyse van het gehele NCP (inclusief 12-mijlszone) laat zien dat er in de Nederlandse kustzone op zandige sedimenten slechts twee verschillende gemeenschappen worden aangetroffen (Holtmann *et al.*, 1996): een kust- en een offshore-gemeenschap. Beide gemeenschappen tonen overigens nog een behoorlijke overeenkomst (tabel 4 in Holtmann *et al.*, 1996), onder andere door het optreden van de worm *Spiophanes bombyx*. Deze soort bouwt kokers van zandkorreltjes waarin zij zich in zekere mate kan verankeren en handhaven als het omringende zand door waterbeweging wordt weggespoeld. Dit is een indicatie voor het instabiele karakter van het milieu van deze levensgemeenschappen. Veel van de macrobenthossoorten in dit gebied hebben dan ook een relatief korte levensduur en zijn hieraan aangepast door een snelle reproductie en een groot aantal nakomelingen. Ze kunnen dan ook worden gekarakteriseerd als zogenaamde r-strategen. Een analyse van diversiteitsgegevens van de jaarlijks uitgevoerde monitoring van het benthos in het Nederlands deel van het continentaal plat (BIOMON) over de periode 1986-1998 laat zien dat hierin weinig veranderingen optreden (Lavaleye *et al.* 2000). Ook de positie van de onderscheiden levensgemeenschappen verandert daarbij niet (Holtmann *et al.* 1999).

Offshore-gemeenschap

Buiten de 5 kilometer brede kustgemeenschap bevindt zich de offshore-gemeenschap. Deze wordt qua dichtheden ook gedomineerd door polychaeten. Zij heeft als kenmerkende soorten de polychaete worm *Nephtys cirrosa* en het gravende vlokreeftje *Bathyporeia guilliamsoniana*. Grote schelpenbanken ontbreken, de biomassa wordt meer bepaald door kreeftachtigen en stekelhuidigen (zee-egels e.d.). Voor de Noord- en Zuid-Hollandse kust neemt de biomassa in zeewaartse richting snel af. De gemiddelde biomassa per vierkante meter van de offshore-gemeenschap is dan ook veel lager dan die van de kustgemeenschap. De jaarlijkse macrobenthossurvey (Lavaleye *et al.* 2000) laat voor de offshore gemeenschap tussen 1990-1998 een gemiddelde dichtheid zien variërend van 6,4-15,35 gram Asvrij Drooggewicht per m^2 (AVDG/m^2). Kenmerkende soorten voor deze gemeenschap zijn de polychaete wormen *Nephtys cirrosa*, *Scoloplos armiger* (wapenworm) en *Spiophanes bombyx* en de vlokreeften *Urothoe poseidonis*, *Bathyporeia elegans* en *Bathyporeia guilliamsoniana*.

Binnen de offshore-gemeenschap kan een overgangszone worden onderscheiden (Van Scheppingen en Groenewold, 1990). Kustwaarts wordt deze overgangszone scherp begrensd op 5 kilometer van het strand. Richting zee loopt de overgangszone ongeveer tot 20 kilometer uit de kust en gaat daar geleidelijk over in het westelijk deel van de offshore-gemeenschap. De overgangszone wordt gekarakteriseerd door een relatief hoge dichtheid en biomassa aan kreeftachtigen. De biomassa van de tweekleppigen, die voor de voedselketen zo belangrijk zijn, is in het westelijke deel van de offshore-gemeenschap drie maal zo laag als in de overgangszone, maar in de kustzone is zij een factor 15 hoger. In de offshore gemeenschap domineren andere soorten *Ensis* en *Spisula* (*S. elliptica* en *S. solida*) dan in de kustgemeenschap (*Spisula subtruncata*), maar deze halen nooit de dichtheden van de bovengenoemde soorten in de kustgemeenschap.

Toch komen op een diepte van 18 tot 19 m nog redelijke aantallen *Spisula subtruncata* voor (Jarvis *et al.* 2004) ter hoogte van Egmond: 31,6 individuen/m^2. Met de schaaf werden ook nog redelijke aantallen aangetroffen (18/m^2). Echter, aantallen in deze

ordegrootte kwam slechts voor op enkele locaties. Het is onbekend in hoeverre deze soorten ook aanwezig zijn in het studiegebied van West Rijn.

Een samenvatting van aantallen en biomassa's in de diverse zones en een overzicht van de belangrijkste abiotische karakteristieken staat in tabel 4.1 (naar Van Scheppingen en Groenewold (1990)).

Tabel 4.1: Overzicht van macrobenthos en enkele abiotische gegevens voor de Hollandse kust.

Afstand tot de kust	Kustgemeenschap		Offshore-gemeenschap			
			Overgangszone		Offshore-west	
	< 5 km		5 – circa 20 km		> circa 20 km	
	Dichtheid[2]	Biomassa[1]	Dichtheid[2]	Biomassa[1]	Dichtheid[2]	Biomassa[1]
Polychaete wormen	4.093	9,9	553	3,7	741	2,0
Kreeftachtigen	601	0,2	567	4,5	219	1,1
Tweekleppigen	1.352	35,3	55	2,4	19	0,8
Stekelhuidigen	54	6,7	16	5,5	10	2,5
Overig	194	1,2	70	0,5	70	0,2
Totaal[3]	4.232	53,3	1.171	12,5	826	6,6
Soorten/monster	21		15		13	
Mediane korrelgrootte	209 µm		295 µm		319 µm	
Slibgehalte	6,1%		1,43%		1,0%	

1 biomassa in gram AVDG/m^2
2 dichtheid in n/m^2, exclusief juvenielen

Conclusies macrobenthos

Voor de samenstelling van het macrobenthos en bodemleven wordt een onderscheid gemaakt naar kustzone (<5 km van de kust), overgangszone (5-20 km uit de kust) en een offshore gemeenschap (> 20 km uit de kust). Windpark West Rijn ligt in het gebied van de offshore-levensgemeenschap, het gebied met een relatief lage dichtheid en biomassa. Meer specifiek bevindt het gebied zich in de westelijke offshore gemeenschap. De biomassa is hier minder laag dan in de rest van de gemeenschappen.

De **fytoplanktonontwikkeling** in de Zuidelijke Noordzee wordt mede bepaald door de kenmerken van het Kanaalwater. In het voorjaar komt het fytoplankton hier eerder tot ontwikkeling dan bijvoorbeeld in de Centrale Noordzee, door de eerder optredende hogere lichtintensiteit in het zuiden. Fytoplankton bloeit vooral in begin voorjaar (diatomeeën), met in april/mei een topproductie, vooral door *Phaeocystis globosa*, een flagelaat die de bekende schuimstranden kan veroorzaken. In de zomer kunnen ook fytoplanktonbloeien voorkomen, met name van dinoflagellaten. Hieronder behoren ook toxische soorten als *Gyrodinum* en *Dinophysis* (Cramer *et al.* 1992, Leopold en Dankers 1997), alhoewel echte bloeien van deze soorten niet aan de Hollandse kust zijn waargenomen. Algemeen geldt dat vanaf 1983 grote bloeien van toxische algen, door toename van het nutriëntengehalte van het water, vaker lijken voor te komen. Dit geldt dus ook voor de Zuidelijke Bocht (Leopold en Dankers 1997). De gemiddelde primaire productie is circa 200 g C/m^2/jaar (Bergman *et al.* 1991).

Er is niet veel informatie over **zooplankton**. De zooplanktongemeenschap in de Zuidelijke Bocht is duidelijk verschillend van die ten noorden van de overgangszone (Leopold en Dankers 1997). In het NIOZ-rapport 1991-3 wordt vermeld dat de productie

van roeipootkreeftjes in Zuidelijke Bocht lager is dan in de noordelijke Noordzee (resp. 10 g C/m^2/j en 20 g C/m^2/j). In de Zuidelijke Bocht gaat een aanzienlijk deel van de primaire productie de microbiële kringloop in en komt dus niet direct bij het zoöplankton terecht.

Alhoewel de diversiteit van het **meiobenthos** relatief hoog is, is de dichtheid relatief laag (circa 1000 ind./10 cm^2) (Holtmann en Groenewold 1994, Holtmann *et al.* 1997). Roeipootkreeftjes (*copepoda*) zijn in de Zuidelijke Bocht naar dichtheid het belangrijkst. Dit in tegenstelling tot de meeste andere gebieden van het NCP waar de *nematoda* (draadwormen) de dominante groep vormen (Bergman *et al.* 1991). Vooral interstitiële (tussen de sedimentkorrels levende) roeipootkreeftjes spelen een belangrijke rol (Holtmann *et al.* 1997). De meeste andere taxa komen ook in dit gebied voor. Binnen de Zuidelijke Bocht worden wat betreft de meiofauna twee gebieden onderscheiden:

- een gebied met grof sediment (grof zand): ten zuiden van IJmuiden en een zone ten westen van Texel en Vlieland;
- de rest van de Zuidelijke Bocht.

4.2.2 Vissen

Algemeen

Binnen de Noordzee kunnen op grond van soortensamenstelling van de visfauna drie gebieden onderscheiden worden (figuur 4.1) (Bergman *et al.* 1991, Cramer *et al.* 1992, Daan *et al.* 1990, Hartgers *et al.* 1996):

- De zone rond de rand van het Continentaal Plat (200 ->1.000 m diep);
- Het centrale gebied (40 - 200 m diep);
- Zuidoostelijk zeegebied (<40 m diep).

Locatie West Rijn bevindt zich in het *zuidoostelijk zeegebied* en bevat, vergeleken met de overige delen, in de zomer de grootste biomassa aan platvis, een gemiddelde biomassa aan gadoïden (kabeljauw, wijting en schelvis) en haaien en de geringste biomassa aan roggen. 's Winters kunnen zich op relatief beperkte schaal verschuivingen voordoen (Bergman *et al.* 1991, Cramer *et al.*1992). In het algemeen is de diversiteit van de visfauna op het gehele NCP laag vanwege de sterke dominantie van een aantal platvissoorten (Hartgers *et al.* 1996).

Verdeling van de Noordzee op grond van soortensamenstelling van de visfauna (Daan et al.,1990)
(1= zone rond de rand van het Continentaal Plat, 2= centrale zeegebied, 3= zuidoostelijk zeegebied)

Figuur 4.1: Verdeling van de Noordzee op grond van soortensamenstelling van visfauna

Gegevens

Er zijn weinig bemonsteringen uitgevoerd die een gedetailleerd beeld opleveren van de visfauna van het studiegebied. Data zijn met name afkomstig van vier routinematige bestandsopnamen die worden uitgevoerd in de Noordzee en wel de International *Bottom Trawl Survey (IBTS, sinds 1965), de Beam Trawl Survey (BTS, sinds 1985), de* Sole Net Survey (SNS, sinds 1969) en de Demersal Fish Survey (DFS, sinds 1969).

In totaal zijn er 256 vissoorten in de gehele Noordzee waargenomen, dit betreft zowel inheemse soorten als gasten. Binnen de 200 meter dieptelijn komen 124 soorten voor die daar paaien, hun larven grootbrengen of het gebied als trekgebied gebruiken. Het NCP is vrijwel nergens dieper dan 50 meter. In dit deel van de Noordzee zijn 75 soorten resident (zij paaien hier en hier groeien hun larven op) en 12 soorten zijn als trekker aanwezig. In de kustzone ligt het aantal soorten rond de 50 (Daan, 2000).

Temporele variatie visfauna

De jaarlijkse fluctuaties van de visbestanden zijn vrij hoog. Deze fluctuatie wordt sinds langere tijd vooral bepaald door de jongste jaarklassen, die dominant zijn in de gehele bestanden. De oudere jaarklassen van vele vissoorten zijn overbevist, en de visserij bestaat voor het overgrote deel uit individuen die 1 à 2 jaar volwassen zijn. Een voorbeeld is de sterke achteruitgang van de kabeljauw de laatste jaren, waar vermoedelijk de klimaatverandering (kabeljauw is een koud water-vis) ook een rol in

speelt. De grote variatie in de tijd, zowel per seizoen als per jaar, is een extra complicatie bij pogingen om binnen het studiegebied een detaillering in de visfauna aan te brengen.

Ruimtelijke variatie visfauna

Tussen de Hollandse kustzone en het gebied ten noorden van de Waddenzee bestaat een opmerkelijke overeenkomst in de visfauna. Het is dan ook niet verwonderlijk dat er binnen de Hollandse kustzone nauwelijks aanwijzingen zijn voor het bestaan van locaties die een specifieke (meer)waarde vertegenwoordigen. Deels wordt dit verklaard door de mobiliteit van vissen. Daarnaast is het ook onwaarschijnlijk dat er wezenlijke verschillen in visfauna zouden bestaan, gezien de kleine verschillen in milieuomstandigheden: zowel de abiotische kenmerken als het voedsel voor vissen verschillen nauwelijks binnen het studiegebied.

De soortenrijkdom van bodemgebonden vis neemt toe van de Duitse bocht richting de zuidelijke Noordzee (Rijnsdorp *et al.* 1995). Genoemde auteurs verklaren dit doordat er in de Duitse Bocht een grote temperatuurvariatie voorkomt.

Paai-, opgroei- en doortrekgebied

Elke vissoort verblijft bij voorkeur op die plaatsen waar het voedsel van zijn keuze te vinden is. Haring, makreel en sprot leven bijvoorbeeld in de bovenste waterlaag, waar zooplankton te vinden is. Bodemvissen zoals schol en tong leven op de zeebodem en voeden zich met bodemdieren zoals kleine kreeftachtigen en wormen.

In de "diepere" Noordzee bevinden zich gebieden, die als paaigebied dienen voor verschillende soorten vissen (Heessen et al, 1999). De meeste soorten produceren echter pelagische eieren waaroor er geen relatie is met de onderliggende zeebodem. Veel vissoorten kennen geen specifieke paailocaties maar paaien over een zeer groot gebied. In de Noordzee zetten slechts enkele soorten vissen waaronder de haring, de zandspiering en het harnasmannetje hun eieren af op het substraat. Ook kraakbeenvissen zoals haaien en roggen zetten hun eierkapsels af op de bodem. Haring paait niet in het gebied van windpark West Rijn vanwege het ontbreken van grindbedden, waarvan deze soort afhankelijk is voor het afzetten van haar eieren.

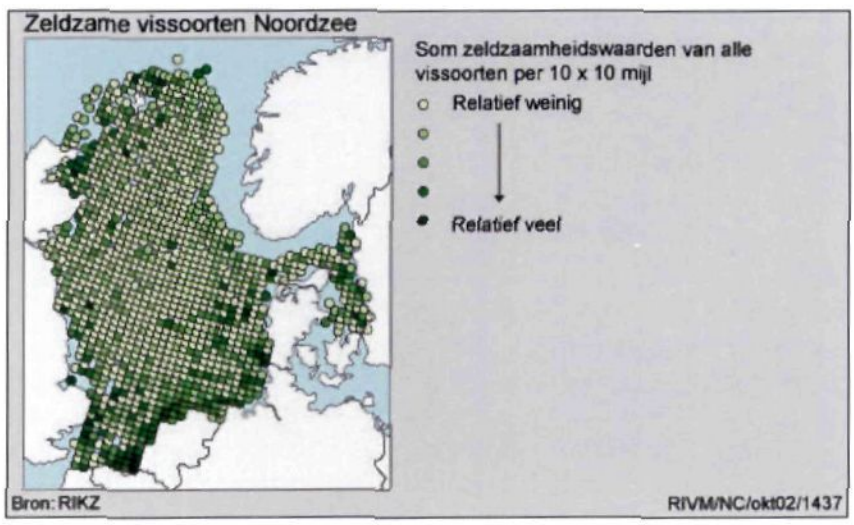
Soorten als tong en horsmakreel zetten eieren af in de kustzone. Daarnaast heeft de kustzone een belangrijke functie als kinderkamer voor platvissen zoals schol, tong, schar, tarbot en griet, maar ook voor haring, kabeljauw en ponen. Van de schol in de Noordzee is 90 procent van alle jongen afkomstig uit de kustzone van België tot Jutland, inclusief de Waddenzee en de Zeeuwse stromen (Heessen 1998).
Nadat schol gepaaid heeft op een diepte van meer dan 20 meter, zweven eieren en larven gedurende twee maanden in de kustzone met de stroom mee voordat de juvenielen de estuaria binnentrekken. Een- en tweejarige schol bevindt zich vooral binnen de 30 mijlszone. De kinderkamergebieden van nul- en eenjarige tong liggen binnen de 12-mijlszone. Paai- en opgroeistadia zijn niet strikt plaatsgebonden. Veelal treedt daarin een ruimtelijke verschuiving op: paaigebieden, larven en juvenielen bewegen zich als een brede baan door de kustzone. Naarmate vis ouder wordt trekt ze naar dieper water.

Zeldzaamheid

In onderstaand figuur is de zeldzaamheidsindex per kwadrant van 10 bij 10 mijl weergegeven voor vissen. Dat is de som van de zeldzaamheidswaarden van alle vissoorten die in dat kwadrant voorkomen. Hoe hoger deze waarde, hoe meer zeldzame soorten daarin voorkomen. De Nederlandse kustzone is rijker aan zeldzame vissen dan de open Noordzee. Door de grote afstand van West Rijn tot de kust zijn hier minder zeldzame vissoorten te verwachten.

In de Zuidelijke Bocht komen vissoorten voor die kenmerkend zijn voor de open Noordzee (> 20 m). Het ondiepere deel van de Zuidelijke Bocht ligt in de overgangszone waarin soorten voorkomen van open zee en soorten die kenmerkend zijn voor de kustzone. Voorbeelden hiervan zijn pitvis, schurftvis, dwergtong, schol en schar. De kleine pieterman, een soort die kenmerkend is voor het zuidelijke deel van het NCP, komt eveneens voor (Hartgers *et al.* 1996).

Op grond van de soortenbescherming van de habitatrichtlijn geniet een aantal diadrome soorten zoals de Zeeprik bescherming. De verspreiding hiervan op zee is voor zover bekend zodanig diffuus en laag dat van een windpark geen significante effecten te verwachten zijn.



Figuur 4.2: Het voorkomen van zeldzame vissoorten in de Noordzee

Conclusie vissen

De Nederlandse kustzone als geheel is van groot belang voor de visfauna: veel soorten vissen trekken door de hele Nederlandse kustzone en foerageren in de waterkolom. Hierdoor is er altijd een tijdspanne waarbinnen deze vissen zich in of ter hoogte van een locatie zullen ophouden, waar deze locatie ook ligt. Een speciale betekenis voor vis kan worden toegekend aan de zone dicht onder de kust (minder dan 5 kilometer uit de kust), deze zone is van belang voor paaien en kraamkamerfunctie. Deze zone ligt echter buiten het studiegebied. Binnen het studiegebied ontbreken de gegevens om een goede detaillering van de visfauna mogelijk te maken. Specifieke (substraatgebonden) paaigebieden zijn in het studiegebied niet aanwezig.

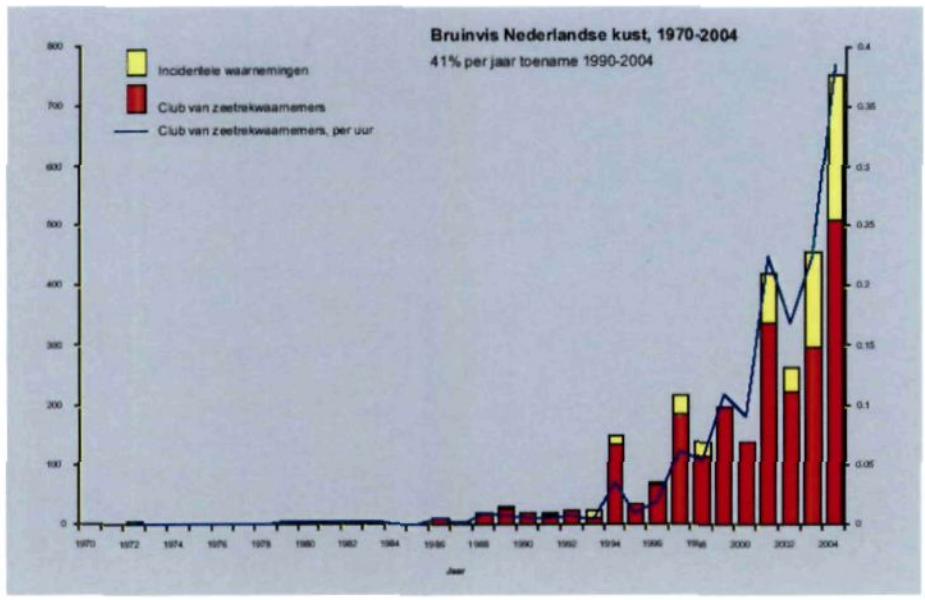
4.2.3 Zeezoogdieren

Cetacea

Van de walvisachtigen (Cetacea) is de bruinvis (*Phocoena phocoena*) de enige soort die regelmatig in de Nederlandse kustwateren wordt gesignaleerd. De habitat van de bruinvis bestaat uit kusten en estuaria, maar de soort wordt ook ver van de kust aangetroffen en tot op diepten van meer dan 200 meter (Goodson 1997, Read 1997). De bruinvis leeft incidenteel in groepen van meer dan 100 dieren, maar meestal in losse verbanden. Dit houdt in dat bruinvissen ogenschijnlijk veelal solitair leven, maar dat in werkelijkheid sprake is van groepen waarbij de individuen zich op honderden meters afstand van elkaar bevinden (Baptist, persoonlijke mededeling). Voor zijn voedsel is de bruinvis onder andere afhankelijk van vissoorten als haring en sprot, waarvan zich in de kustzone concentraties kunnen vormen.

In de gehele Noordzee komen momenteel tussen de 267.000 en 465.000 bruinvissen voor waarvan er zich ruim 30.000 op het NCP bevinden (Frissezeewind2 2005). In de eerste helft van de vorige eeuw was de bruinvis algemeen in de Nederlandse kustzone, maar daarna werd deze soort een zeldzame en onregelmatige verschijning. Sinds 1986 houdt *P. phocoena* zich echter weer vrij algemeen voor onze kust op, met name in de winter en alleen ten noorden van de Waddeneilanden (Bergman en Leopold 1992). In het Noord-Hollandse kustgebied komen de meeste waarnemingen van de bruinvis uit de omgeving van Texel (Camphuysen en Leopold, 1998). Gegevens over strandingen van de bruinvis (Addink en Smeenk 1999) bevestigen dit beeld. Uit luchtwaarnemingen (Witte *et al.* 1998) blijkt dat de zuidgrens van de zuidelijke Noordzeepopulatie van de bruinvis voor de Nederlandse kust ligt. Het Noord-Hollandse kustgebied en meer specifiek 53° noorderbreedte wordt dan ook aangeduid als de zuidgrens van de Noordzeepopulatie van de bruinvis. Incidenteel wordt de bruinvis echter ook zuidelijker waargenomen. Recente gegevens over strandingen duiden op grotere aantallen in de zomermaanden en op een mogelijke verschuiving van de Noordzeepopulatie in de zuidelijke richting (Addink 2000). Er wordt vermoed deze verschuiving (en dus geen absolute toename) dat voedselgebrek in het noordelijke deel van de Noordzee hierin een rol speelt. Overal lijkt een afname van dichtheden aanwezig in de richting van het Kanaal.

Bruinvissen zijn zeer moeilijk te tellen op zee. Op basis van incidentele waarnemingen, systematische observaties en lange termijn trend is het voorkomen van de bruinvis in kaart gebracht (zie figuur 4.3).



Bron: Lindeboom *et al.* 2005

Figuur 4.3.: Aantal waargenomen bruinvissen in de Nederlandse kustzee sinds 1970

De witsnuitdolfijn (*Lagenorhynchus albirostris*) wordt incidenteel in het NCP aangetroffen. Naar schatting leven er 7.500 in de hele Noordzee, de hoogste aantallen komen voor in het noordwesten. Incidenteel kan in de kustzone een groep van honderden individuen worden aangetroffen (Bergman en Leopold,1992), maar meestal zwemt deze soort wat verder uit de kust. Daarnaast is de Noordzee thuis voor zo'n 11.000 witflankdolfijnen (*Lagenorhynchus acutus*) die ook alleen incidenteel in het NCP wordt waargenomen. Andere soorten zoals de tuimelaar (*Tursiops truncatus*) en de gewone dolfijn (*Delphinus delphis*), worden alleen zeer incidenteel waargenomen. Het gaat dan om hooguit enkele exemplaren per jaar. Vroeger was de tuimelaar ook een algemene soort langs onze kustzee bij Den Helder en Marsdiep. Tegenwoordig komen in de Noordzee nog slechts circa 130 tot 175 Tuimelaars voor in de Schotse wateren (*Lindeboom et al.* 2005).

Zowel de bruinvis als tuimelaar worden genoemd in bijlage 2 van de Habitatrichtlijn. In bijlage 4, de strikt beschermde soorten, worden alle Cetacea (walvisachtigen) genoemd. Omdat de tuimelaar vrijwel verdwenen is, wordt in Graadmeters voor de Noordzee (Ministerie van Verkeer &Waterstaat, 2000) als graadmeter voor de populatie zeezoogdieren van de walvissen alleen de bruinvis als indicatorsoort gebruikt.

Pinnipedae

Onder de Pinnipedae vallen de zeehonden, zeerobben en zeeleeuwen. In de Nederlandse kustwateren leven twee soorten zeehonden: de gewone zeehond (*Phoca vitulina*) en de grijze zeehond (*Halichoerus grypus*). De gewone zeehond laat zich

vooral zien op zijn ligplaats; in Nederland in de Waddenzee en in het Deltagebied. Wanneer de dieren in het water zijn worden ze zelden waargenomen.
De laatst bekende gegevens zijn van Alterra uit 2004, toen werden er 3195 gewone zeehonden geteld in de Nederlandse Waddenzee. In het gehele waddengebied (inclusief Denemarken en Duitsland) ligt het aantal gewone zeehonden nog veel hoger. In 2002 lag het aantal gewone zeehonden in de Nederlandse waddenzee op 4466, in dat jaar brak echter een infectieziekte uit waardoor de populatiegrootte sterk afnam.

In de jaren '90 zijn er satellietzenders ontwikkeld die klein genoeg zijn om ook voor onderzoek aan de gewone zeehond te gebruiken. De zeehonden bleken zich niet te beperken tot de tientallen kilometers rondom hun ligplaats, maar bleken soms meer dan 200 km de zee op te trekken en naar ligplaatsen te gaan die meer dan 300 km verderop zijn. Sinds 1997 zijn er in Nederland 43 dieren gevolgd met satellietzenders. Uit Lindeboom *et al.* (2005) blijkt dat ondanks het gerichte trekgedrag van de dieren in geen enkel geval twee zeehonden samen in zee werden gelokaliseerd. Door de grote individuele variatie en het ontbreken van voldoende data in het belangrijkste foerageerseizoen (het najaar) is het moeilijk om de belangrijke foerageergebieden in de Noordzee te identificeren. In de RIKZ rapportage wordt een eerste verspreidingsmodel toegelicht. Hieruit blijkt dat de potentiële habitat van de gewone zeehond het gehele NCP bestrijkt, maar omdat de dieren samenkomen op de zandbanken in de Waddenzee en het Deltagebied, is de waarschijnlijke concentratie zeehonden in die kustgebieden hoog en op open zee ver hier vandaan veel lager.

Vooral van december tot en met februari worden zeehonden voor de Noord- en Zuid-Hollandse kust gezien (Platteeuw *et al.* 1994). Het vermoeden bestaat dat de zeehond met name in koude winters de Waddenzee verwisselt voor de kustzone. Waarschijnlijk is het noordelijk deel van het Hollandse kustzone belangrijker als uitwijkgebied voor gewone zeehonden uit de Waddenzee dan het zuidelijk deel, vanwege de nabijheid van de Waddenzee en de aanwezigheid van voedselrijke gebieden (Friese Front). Theoretisch betekent dit dat op de meest noordelijke locaties in de Noordzee de meeste zeehonden zouden kunnen voorkomen en niet rond windpark West Rijn. In hoeverre deze, op zich kustgebonden, soort daadwerkelijk vlak onder de kust blijft is niet bekend. Als prooidieren zich verder zeewaarts bevinden, zijn daar tijdelijk ook concentraties voorstelbaar.

De grijze zeehond (*Halichoerus grypus*) heeft vrij recentelijk de Nederlandse wateren weer gekoloniseerd. Tot in de Middeleeuwen kwamen de dieren voor in de Waddenzee maar hier zijn zij waarschijnlijk door jacht uitgeroeid. Sinds 1980 groeit de kolonie Grijze Zeehonden, die gebruik maakt van ligplaatsen in het westelijk wad, exponentieel: in 2003 werden 1100 dieren geteld. En ook in het Deltagebied worden nu regelmatig grijze zeehonden aangetroffen. Er is in Nederland nog geen onderzoek gedaan naar het habitatgebruik van deze dieren, maar aannemelijk is dat ze, evenals hun soortgenoten in Schotland, nog grotere afstanden kunnen overbruggen om te foerageren dan de gewone zeehond (>200 km). Ook voor deze soort zal men in de Noordzee rekening moeten houden met nog nader te identificeren hotspots die Grijze Zeehonden opzoeken.

De aantallen zeehonden in de (Voor)Delta nemen nog steeds toe (Witte en Wolf 1997). De Hollandse kustzone is dus van belang als migratieroute tussen Waddenzee en (Voor)Delta. Ten aanzien van deze functie is er geen gradiënt langs de kust. Daarnaast is er uitwisseling van zeehonden tussen Nederland en de Engelse oostkust, maar het is

nog niet duidelijk of daarbij specifieke migratierouten in het geding zijn (Brasseur 2000). Zowel de gewone als de grijze zeehond worden genoemd in bijlage 2 en 5 van de Habitatrichtlijn. Voor de populatie zeezoogdieren wordt in Graadmeters voor de Noordzee naast de Bruinvis ook de Gewone zeehond als indicatorsoort gebruikt.

Overige zeezoogdieren (zoals de cuvier dolfijn, spitssnuitdolfijn, potvis, dwergpotvis, beloega, bultrug of de butskop) komen voor de Hollandse kust slechts zó sporadisch voor, dat het niet zinvol is te speculeren over verschillen in dichtheid op de West Rijn locatie.

Tabel 4.2: Perioden waarin de grootste aantallen zeezoogdieren voorkomen per deelgebied

Gebied	Bruinvis	Witsnuitdolfijn	Gewone zeehond	Grijze zeehond
Doggersbank	mei-nov	hele jaar	-	-
Oestergronden	(hele jaar) mei-nov	(hele jaar) juni-nov	-	-
Klaverbank	mei-nov	hele jaar	-	-
Transitiezone	hele jaar	hele jaar	-	-
Friese Front	hele jaar	hele jaar	-	-
Waddenkust	hele jaar	-	(hele jaar) winter	(hele jaar) winter
Hollandse kust	vnl. okt-mei	hele jaar	Voordelta: winter	-
Zuidelijke Bocht	hele jaar	hele jaar	-	-

Conclusie zeezoogdieren

De bruinvis is het talrijkste zeezoogdier op deze locatie. Ter hoogte van de locatie bevindt zich momenteel een marginaal deel van de populatie bruinvissen, maar gezien recente ontwikkelingen mag niet uitgesloten worden dat dit in de toekomst verandert. De overige soorten kunnen sporadisch (dolfijnachtigen) of in kleine aantallen (gewone zeehond) voorkomen in het studiegebied.

4.2.4 Conclusie huidige situatie en autonome ontwikkeling

Er zijn voldoende gegevens over het voorkomen van bepaalde habitats en de verspreiding van *bodemfauna* bekend. Fytoplanktonontwikkeling komt op de locatie West Rijn in het voorjaar eerder tot ontwikkeling dan bijvoorbeeld in de Centrale Noordzee. Als gevolg van de dynamiek van het systeem is de bodemfauna vrij arm. De diversiteit van het meiobenthos is relatief hoog en de dichtheid relatief laag. Binnen de Zuidelijke Bocht zijn in een gebied met grof zand (ten zuiden van IJmuiden en ten westen van Texel en Vlieland) diversiteit en dichtheid hoger dan in de rest van het gebied. Dichtheid en biomassa van het macrobenthos zijn eveneens relatief laag.

Voor *vissen* heeft de Kustzee de hoogste biodiversiteit; deze wordt verder naar zee lager. En voor zover ze op het NCP voorkomen, worden de specifiek in de Habitatrichtlijn genoemde vissoorten (diadrome soorten) vrijwel uitsluitend in de Kustzee gevonden. Op basis van visverspreiding gegevens zijn er geen speciale beschermingsgebieden aangewezen. Voor vissen is de locatie West Rijn niet van speciale betekenis.

Van de verspreiding van *zeezoogdieren*, met uitzondering van de Kustzee, kunnen geen additionele gebieden nabij het studiegebied aangewezen worden die onder het voor

deze dieren geldende habitat-criterium vallen. Voor de, in de bijlage van de Habitatrichtlijn opgenomen, soorten geldt wel overal een generiek beschermingsregime.

Er zijn 4 gebieden met verhoogde ecologische waarden aangewezen in het Integraal Beheerplan Noordzee 2015. Locatie West Rijn valt echter buiten deze beschermde gebieden; het dichtstbijzijnde GBEW is de Voordelta, welke ook een Vogel- en Habitatrichtlijngebied is. Tevens is door het RIKZ een aantal gebieden vastgesteld met bijzondere waarden voor het NCP.

Autonome ontwikkelingen

De laatste jaren is er een toename van zeezoogdieren waar te nemen, op basis van verschillende onderzoeken kan aangenomen worden dat deze trend zich op kortere termijn zal voortzetten. Echter, aangezien oorzakelijke verbanden voor de toename van de bruinvis onvoldoende duidelijk zijn, is het onduidelijk hoe dit in de verdere toekomst zal verlopen. De toename van de beide soorten zeehonden zal voorlopig nog doorgaan, alhoewel ook daar een plafond aan zal zitten, en virusinfecties de zeehondenpopulaties sterk kunnen doen verminderen.

De visgemeenschap in de zuidelijke Noordzee, en dan vooral de commercieel interessante soorten, waarvan veruit het meest bekend is, heeft de afgelopen tientallen jaren sterke wisselingen laten zien. Soorten als kabeljauw zijn sinds het midden van de zestiger jaren in bestandsomvang langzaam maar zeker achteruit gegaan.
Platvissoorten zoals schol en tong hebben eind zeventiger en begin tachtiger jaren een opleving gehad, maar sindsdien zijn de bestanden verminderd en de laatste 10 jaar schommelen ze rondom het biologisch minimum.
De gemiddelde lengte van vis in de Noordzee loopt al sinds lange tijd terug: in 1970 was het aandeel vissen groter dan 25 cm nog bijna 30 %, momenteel is dat gedaald tot 10% (NMP 2006). Dit weerspiegelt de sterk veranderde leeftijdsopbouw van de visgemeenschap in de zuidelijke Noordzee.

Deze trends zullen zich bij een ongewijzigd visserijbeleid doorzetten. Mochten de GBEW in de toekomst als visserijvrije gebieden worden aangewezen, en wordt de visserijdruk evenredig gereduceerd, dan is de verwachting dat een herstel van de visgemeenschap, zowel met betrekking tot bestandsgrootte en leeftijdsopbouw kan optreden.

Chemische verontreiniging, klimaatverandering en fysieke ingrepen (landaanwinning) blijven bronnen van verstoring van de Noordzee.

4.3 Effecten van het windpark per fase

Voor het bepalen van de effecten voor het aspect 'Onderwaterleven' zijn de levensvormen in de Noordzee (voor zover relevant) als uitgangspunt genomen. Daarbij zijn criteria onderscheiden, die de abiotische factoren betreffen die mogelijk veranderen door de plaatsing van windturbines en die relevant zijn voor een of meerdere biotische levensvormen. In tabel 4.3 is voor iedere onderscheiden levensvorm aangegeven welke toetsingscriteria worden onderscheiden. Tevens is aangegeven in welke fase van het windpark de criteria een rol spelen.

Tabel 4.3: Levensvormen en (sub-)criteria

Levensvorm	(Sub-)criterium	Fase van het park
Macrobenthos	Zandig substraat	Exploitatie, aanleg en demontage
	Hard substraat	Exploitatie
	Waterkwaliteit	Aanleg en verwijdering
Vissen	Stromingspatroon water	Exploitatie
	Onderwatergeluid en trillingen	Exploitatie, aanleg en verwijdering
	Waterkwaliteit	Aanleg en verwijdering
	Elektromagnetische velden	Exploitatie
Zeezoogdieren	Onderwatergeluid en trillingen	Exploitatie, aanleg en verwijdering
	Waterkwaliteit	Aanleg en verwijdering
	Elektromagnetische velden	Exploitatie

Met name bij mobiele levensvormen, zoals vissen en zeezoogdieren, kan bij de functie van het gebied een onderscheid worden gemaakt in diverse levensfasen volgens tabel 4.4.

Tabel 4.4: Levensfasen van met name mobiele levensvormen

Levensfase	Functie
Voortplanting	Paaigebied
Opgroei	Kinderkamer / foerageergebied
Migratie	Doortrekgebied / foerageergebied
Permanent aanwezig	Leefgebied / foerageergebied

Bij het bepalen van de effecten op de diverse levensvormen worden verschillende maatstaven gehanteerd, namelijk *dichtheden* (voor alle levensvormen), *biomassa* (met name bij macrobenthos) en *functies* (voor alle levensvormen, zie tabel 4.4).

In de effectbeschrijving op onderwaterleven wordt onder andere ingegaan op de *footprint* van de turbine op het zeebed, de fundatie. In deel A hoofdstuk 3 zijn verschillende fundatiemogelijkheden (*monopile*, *gravity base* en *tripod*) uitgelicht. Voor het aspect onderwaterleven zijn de effecten van deze verschillende fundatietypen niet onderscheidend van elkaar.

In deze paragraaf worden de effecten per fase van het windpark uiteengezet (aanleg, exploitatie, verwijdering). Voor ieder criterium worden de effecten in algemene zin beschreven, zodat een beeld ontstaat van de aard en omvang van effecten.

In Van der Winden *et al.* (1997) wordt ook het effect van lichtschitteringen van rotorbladen in het water genoemd. Uit die studie blijkt dat lichtschitteringen van zeer geringe betekenis zijn voor het onderwaterleven. Dit onderwerp blijft daarom in het MER buiten beschouwing.

4.3.1 Effecten van aanleg

Gedurende de aanleg van windpark West Rijn zullen enkele verstorende activiteiten plaatsvinden, hierbij kan gedacht worden aan;

- installeren van de fundering;
- installatie van turbines/ toename scheepvaartbeweging;

- het aanleggen van een transformatie station;
- geofysisch en geotechnisch vooronderzoek;
- installatie van een meteorologische meetmast.

Fundatie van de windturbines

De aanleg van de fundaties zullen *trillingen en geluid* veroorzaken in het water binnen en rondom het park. Hoewel de fysische principes van geluid onder water vergelijkbaar zijn met die van geluid in lucht zijn er karakteristieke verschillen in de voortplanting van het geluid en in het achtergrondniveau (zie HASKONING 1995a,b en Clyde 1998). De voortplanting van geluid onder water is onder andere afhankelijk van de frequentie van het geluid en de diepte van het water. Voor de Noordzee geldt in het algemeen dat geluid rond de 100 Hz tot op tientallen kilometers waarneembaar is, geluiden tussen de 1 en 10 kHz zijn tot op enkele kilometers waarneembaar en geluiden boven de 100 kHz maximaal enkele meters. In ondiep water neemt de verspreiding toe door het zogenaamde tunneleffect. Een gestratificeerde waterkolom waarbij bovenin zoeter water aanwezig is en daaronder zout water (of door temperatuurgelaagdheid) kan ook dit tunneleffect veroorzaken. Door reflecties tegen de bodem, geulranden en het wateroppervlak doven signalen beneden de 200 Hz echter snel uit.

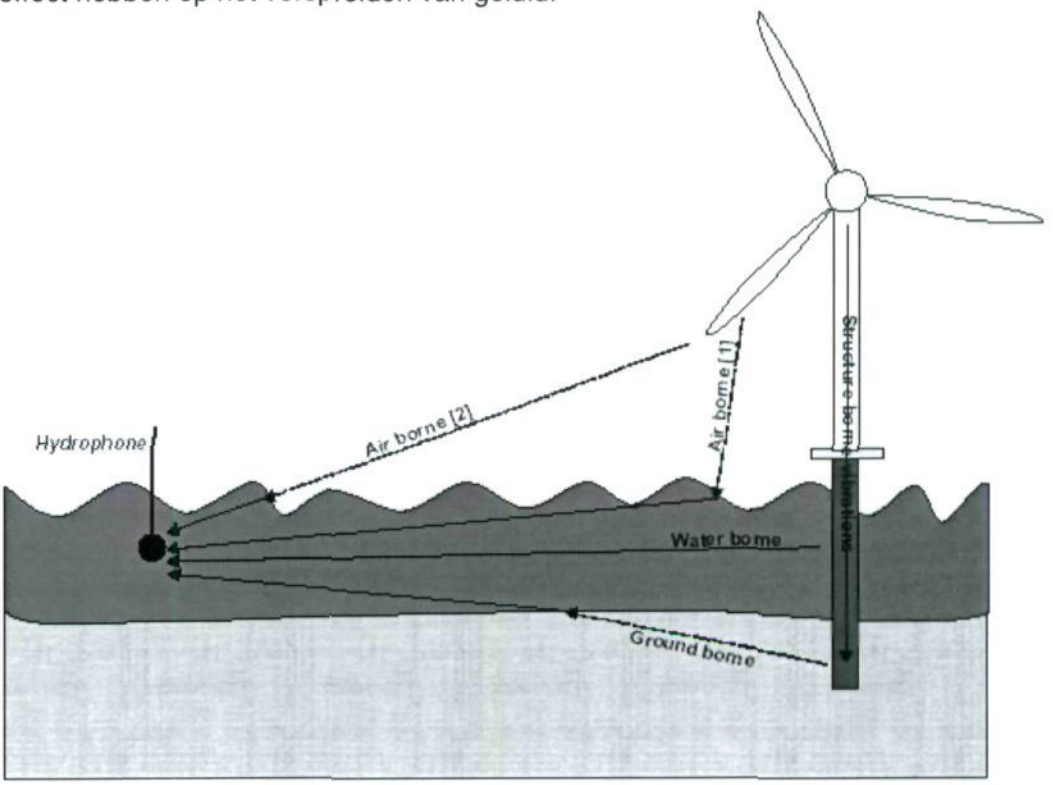
Het achtergrondniveau van geluid in zee wordt bepaald door fysische, biotische en antropogene factoren. Regen heeft bijvoorbeeld een verhogend effect met circa 18 dB bij 100 Hz en circa 22 dB bij 1.000 Hz. Deze verhoging moet geteld worden bij het achtergrondgeluid van een volkomen vlakke zee van ongeveer 85 dB bij 30 Hz tot 60 dB bij 16 kHz. Bij storm kunnen deze achtergrondniveaus oplopen tot meer dan 100 dB bij 30 Hz en 85 dB bij 16 kHz. Van de biotische factoren is met name van garnalen bekend dat ze het achtergrondniveau fors kunnen verhogen met circa 40 dB bij 8 kHz. Ook bijvoorbeeld walvissen en dolfijnen produceren zelf geluid, met pieken rond de 200 dB. Antropogene factoren betreffen bijvoorbeeld het geluid van scheepvaart. Geluiden van vrachtschepen en veerboten variëren tussen 150 dB bij 100 Hz en 115 dB bij 5 kHz.

De effecten van onderwatergeluid kunnen naar gelang het geluidsdrukniveau en geluidsfrequentie in vier invloedszones worden ingedeeld. De indeling van de zones is voor alle dieren hetzelfde, maar de ligging van de grenzen tussen de klassen varieert van soort tot soort, en van situatie tot situatie (Richardson *et al.*.1995):

- *Hoorbaarheidszone* - Alle geluiden die hoorbaar zijn voor organismen. Hierbij spelen de gevoeligheid van het gehoorapparaat en de achtergrondgeluiden een rol. Tot de hoorbaarheidszone behoren ook geluiden die de dieren wel kunnen horen, maar waar ze verder niet op reageren.
- *Reactiezone* - Tot deze zone behoren de geluiden waarop de dieren een reactie vertonen in gedrag of fysiologie. Deze zone is zeer variabel, omdat de akoestische eigenschappen van het milieu ter plaatse en het al dan niet aanwezig zijn van achtergrondgeluid een grote rol spelen. Op een plek waar veel achtergrondgeluid is door scheepvaart of andere bronnen kan de reactie van dieren heel anders zijn dan op een locatie waar alleen natuurlijke geluidsbronnen aanwezig zijn.
- *Maskeringszone* - Dit is het gebied waar geluiden interfereren met de geluiden die dieren produceren of die hun prooi produceert. Als bijvoorbeeld de echolocatiegeluiden van bruinvissen worden gemaskeerd door bij de aanlegwerkzaamheden geproduceerde geluiden, is er sprake van maskering. Of maskering optreedt, hangt af van het geluidsniveau en de frequentie van de geluiden die door de aanwezige soorten worden geproduceerd en van het geluidsniveau en de frequentie van de geluiden door menselijke activiteiten.

- *Zone van gehoorschade* - Dit zijn de geluiden waarvan de sterkte zo groot is dat er tijdelijke of permanente schade optreedt aan de gehoor- of andere organen van zeedieren. Voor gehoorschade is vooral het 'breedband' geluidsniveau van belang. De onderwatergeluiden worden veroorzaakt door de schepen en de onderwaterapparatuur die gebruikt worden bij de aanleg van de kabel.

Onderwatergeluid van heien kan zich op verschillende manieren verspreiden naar een ontvanger in de verte. Deze worden in onderstaande figuur inzichtelijk gemaakt. Er zijn verschillende manieren om de monopalen te heien: de paal kan van bovenaf geheid worden alsook van onder het wateroppervlak. Deze factoren zullen een aanzienlijk effect hebben op het verspreiden van geluid.



Bron: COWRIE 2004

Figuur 4.4.: Verspreiding van onderwatergeluid door windturbine

Effecten van het heien zijn afhankelijk van significante factoren welke het geluidsniveau beïnvloeden: de paaldiameter, de lokale geologie en het diepteverloop. De eerste twee beïnvloeden de benodigde energie die nodig is om de paal te heien, de laatste bepaalt de efficiëntie waarmee het geluid verspreid wordt. In de studie van McKenzie en Maxon (2000) wordt aangegeven dat voor een enkele heislag, voor paal met een diameter van 4 meter, een bronniveau van boven de 200dB re 1 µPa @ 1 m waarschijnlijk is. Het heien kan een uiteenlopende reeks frequenties bevatten tussen de 100 and 1000 Hz.

De effecten van onderwatergeluid op vissen is afhankelijk van de gevoeligheid van een bepaalde vissoort voor geluid. Bij lage frequenties, tot 30 Hz, komt de geluidsgevoeligheid bij veel vissoorten redelijk overeen. Bij hoge frequenties is deze gevoeligheid echter afhankelijk van een aantal factoren; aan- of afwezigheid van zwemblaas, hoeveelheid lucht in de zwemblaas en of de blaas in verbinding staat met het binnen oor (Frissezeewind2 2005). Het heien kan grote gevolgen hebben voor

vissen. De hoge druk van een geluidsgolf kan er voor zorgen dat de zwemblaas van de betreffende vissoort schade oploopt. De drukgolf kan gevolgd worden door een golf met een lage druk (onderdruk) deze golf kan tot gevolg hebben dat de zwemblaas knapt (Verboom 2005 in: Frissezeewind2 2005).

Het effect van het geluid wat door het heien gegenereerd wordt is niet alleen afhankelijk van het bronniveau, maar ook van de soorten en diergrootte. Er is nog weinig onderzoek geweest naar de effecten van heien waarop daadwerkelijke milieueffecten kunnen worden gebaseerd.

Bij een studie in Zweden naar de effecten van een windpark in zee op rustplaatsen van zeehonden, werd tijdens de aanleg van het windpark een tijdelijke daling in het aantal rustende dieren waargenomen (Sundberg en Söderman1999). Ook waren de zeehonden onrustiger. Het is onduidelijk of dit vanwege geluidshinder of visuele hinder was.

Uit reviews van de *Whale and Dolphin Conservation Society* (WDCS) in Groot-Brittanië blijkt dat het effect van *airguns* (luchtkanonnen die gebruikt worden voor seismisch onderzoek op zee), die een geluid produceren van 200 tot 220 dB, tot op grote afstand (>20 km) nog een gedragseffect hebben op walvissen. In Groot-Brittanië is het nu verplicht om tijdens seismisch onderzoek walvisachtigen te monitoren. Uit deze monitoring blijkt dat walvissen zoals de dwergvinvis die ook in de noordelijke Noordzee voorkomt) op een significant grotere afstand verbleef van de *airguns* als er gevuurd werd dan als er niet gevuurd werd (Stone 2003). In plaats van waarnemingen binnen 1 km werden de meeste nu gedaan op een afstand van 2 - 3 km.

Tijdens de aanleg en de verwijdering van het windpark kan er door activiteiten als heien en trenchen een extra *vertroebeling* van de waterkolom en een tijdelijk gebrek aan zuurstof in het water optreden. De *sedimentologische samenstelling* is van groot belang voor de fauna die zich daarin ontwikkelt. Dit betekent dat door de grotere variatie in de samenstelling van het sediment een grotere variabiliteit in het milieu en haar bewoners ontstaat. Grote verplaatsingen van sediment kunnen gevolgen hebben voor de bodemfauna. Bodemdieren kunnen volledig verdwijnen of permanent begraven worden (Bijkerk 1988, Van Moorsel en Munts 1995). Doordat de bodemfauna is aangepast aan dynamische natuurlijk omstandigheden (r-strategen) zal de toestand zich na de aanleg snel weer herstellen. Tijdens de constructie van de fundering en de turbines zijn dergelijke invloeden ook te verwachten, weliswaar in mindere mate, maar wel vaker. In paragraaf 7.2 bij de beschrijving van effecten van de aanleg van de kabels zal hier nader op in gegaan worden.

Ten aanzien van de invloed van geluid als gevolg van aanlegactiviteiten zoals heien (van windturbines) op organismen onder water blijkt uit het MER Winning van aardgas in blok Q4 van het Nederlands Continentaal Plat, dat er geen onaanvaardbare effecten zijn, mede omdat de activiteit van korte duur is en de achtergronddynamiek hoog is.

Tijdens de aanleg van het park zullen zich dus tijdelijke effecten voordoen, er zullen mitigerende maatregelen getroffen moeten worden om deze effecten zoveel mogelijk te beperken. Deze maatregelen zullen in paragraaf 4.4.3 aan bod komen

Installatie van turbines/toename scheepvaartbeweging

Nadat de fundaties gerealiseerd zijn moeten de turbines nog ter plaatse geïnstalleerd worden. Achtereenvolgens worden de toren, de gondel en daarna de bladen geïnstalleerd. Hierdoor zal een toename van scheepvaart plaatsvinden, die onderwatergeluid en eventuele vervuiling kunnen veroorzaken.

Bekend is dat onderwatergeluiden van baggerschepen nog op te vangen zijn tot op een afstand van 20 tot 25 kilometer (Richardson *et al* 1995). Deze geluiden zijn echter waarschijnlijk van een andere aard dan het onderwatergeluid tijdens de aanleg en verwijdering van de windturbines van het windpark West Rijn.

Het is duidelijk dat gedurende de gehele levenscyclus van het windpark er een toename van scheepvaart zal zijn als gevolg van aanleg en onderhoud en een consequente toename in het algemene niveau van onderwatergeluid, echter het effect op onderwaterleven is niet met zekerheid te voorspellen. Daarnaast zal echter sprake zijn van reductie van de scheepvaart voor visserijschepen. Deze reductie is waarschijnlijk geringer dan de toename door aanleg en onderhoud. Geregistreerde bronniveaus van schepen variëren van 152 dB re 1 mPa @ 1 m voor een klein schip met buitenboord motor tot 192 dB re 1 mPa @ 1 m voor grote containerschepen. Effecten op deze toename van scheepvaartgeluid resulteert in vermijdingsgedrag maar eventueel ook aantrekkingsgedrag van onderwaterleven (COWRIE 2004).

Richardson et al. Bespreekt de verstoring van zeezoogdieren door schepen en geeft daarbij aan dat het vaak moeilijk is visuele en auditieve reacties op gedrag te onderscheiden. Het is niet duidelijk of de zeezoogdieren verstoord worden door het geluid wat de schepen veroorzaken of de visuele verschijning van de schepen. Zo melden verschillende onderzoeken dat de gewone zeehond zich in het water verschuilt wanneer boten dichtbij hun foerageerplaats komen, hun reactie op kano's en kayaks is echter even sterk. Dit suggereert dat visuele aspecten dominanter wegen dan de geluidsaspecten. De reacties van zeezoogdieren zoals walvissen en dolfijnen is een gecompliceerde zaak, er vindt zowel aantrekking en vermijdingsgedrag plaats. Waar het type reactie van afhankelijk is, is onduidelijk. Waarschijnlijk is dit per soort of zelfs per individu verschillend.

Verondersteld is dat geen gebruik wordt gemaakt van aangroeiwerende middelen (*anti-foulings*). Dit zou niet alleen ingrijpende gevolgen hebben op het leven op en rond de windturbines, ook het bodemleven in een groot deel van het stroomafwaarts gelegen gebied zou in dat geval de gevolgen van deze stoffen kunnen ondervinden.

Het aanleggen van een transformatorstation

Voor het transformatorstation worden ook fundaties geheid. Vervolgens wordt een ondersteuningsconstructie (jacket) en een bovenbouw aangelegd. Hetzelfde schip dat bij de installatie van de turbines gebruikt wordt kan bij de installatie van het transformatorstation ingezet worden. De effecten van de aanleg van het transformatorstation betreffen onderwatergeluid door heien, extra scheepvaartbeweging met daarbij behorende effecten.

Meteorologische meetmast

Daarnaast wordt een meteorologische meetmast geïnstalleerd voor monitoring van meteorologische omstandigheden (windsnelheden etc.) in het gebied. De aanleg vindt ook middels heien plaats en zal overeenkomstige effecten hebben als de aanleg van de fundaties zoals hierboven beschreven.

4.3.2 Effecten van exploitatie en onderhoud

Activiteiten gedurende de exploitatie van het windpark kunnen de volgende effecten hebben op het gebied in en rondom het windpark:

- Fysieke aanwezigheid van de windturbines (hard substraat);
- Geluid en trillingen van windturbines;
- Andere effecten van het windpark;
- Uitsluiten van visserij.

Buiten het windpark zijn ook een aantal effecten te verwachten door bijkomende werkzaamheden als inspectie en onderhoud (materialen, energie en afval). Er zullen extra vaarbewegingen plaatsvinden en mogelijk vliegbewegingen t.b.v. inspecties.

Fysieke aanwezigheid van de turbines

Waterstroming
De aanwezigheid van de turbines heeft invloed op het leefgebied van verschillende onderwaterdieren in de Noordzee. Zo zullen de fundaties van de windturbines de waterstroming lokaal en rond het windparkgebied beïnvloeden. De buispalen brengen extra wervelingen in de waterkolom met zich mee, die de morfologie en dynamiek van de bodem lokaal beïnvloeden. Op plaatsen met een verhoogde waterbeweging kunnen ontgrondingskuilen ontstaan. Bij het offshore windpark wordt rond de buispalen met stortsteen een erosiebescherming aangebracht om het ontstaan van ontgrondingskuilen tegen te gaan. Achter de funderingen kunnen slijpgeulen ontstaan en resteert alleen grofzandig materiaal. Op luwe plaatsen kan ophoping van slib optreden (Van Moorsel, 1994). Dit effect is bij andere offshore windparken echter minimaal gebleken. Bij de aanleg van het windpark Nysted is gebleken dat de veranderingen van de stroomsnelheden slechts 5m van de rand van de funderingen minder dan 15% zijn en veranderingen in stroomsnelheden rondom het gehele park niet meer zijn dan 3-4%.

Substraat
De windturbines leiden tot een te verwaarlozen afname van het oppervlak aan oorspronkelijk **zandig substraat**. Bij een windpark, dat onder water alleen bestaat uit funderingen, ligt de afname in de orde van 0,05 promille van het oorspronkelijke oppervlak van de zeebodem ter plaatse van het offshore windpark. Als rond de funderingen van de turbines een bed van grind of stortsteen wordt aangebracht, is de afname aan oorspronkelijk substraat natuurlijk groter. Het vierkant van 18 bij 18 meter rond elke buispaal betekent een afname van 1 promille van het oppervlak van de oorspronkelijke zeebodem ter plaatse van het offshore windpark West Rijn. Een zone van ongeveer 6 meter rond een fundering betekent een afname van het oppervlak van de oorspronkelijke zeebodem van 0,1%.

Daar waar dieren, die zich voeden met gesuspendeerd materiaal, selectief verdwijnen door een verhoogde resuspensie van sediment, vertaalt zich dit in een daling van de ITI

(de Infaunal Trophic Index). Tijdens de gebruiksfase is de situatie vergelijkbaar met de huidige situatie, dit levert voor de bodemdieren geen invloed op de ITI op. Omdat de afname van het oppervlak aan *zandig substraat* als gevolg van de aanwezigheid van de windturbines zeer klein is, zal dit geen gevolgen hebben voor de totale bodemgesteldheid in het gebied van offshore windpark West Rijn.

De afname van het oppervlak van de oorspronkelijke zandbodem heeft een navenante afname van de *leefruimte* tot gevolg voor met name bodemvissen (te denken valt aan verschillende soorten platvis en ponen). Maar even als de afname van het oppervlak van de oorspronkelijke zandbodem is te verwaarlozen, is ook de afname van de leefruimte voor bodemvissen te verwaarlozen. De kwaliteit van de habitat zal daarentegen verbeteren (zie verderop).

Het plaatsen van funderingen voor windturbines komt neer op de **introductie van hard substraat**. Hierdoor wordt een type milieu gecreëerd dat ter plekke nog niet bestond, met een heel andere flora en fauna dan op en in zacht substraat (zand, slib) (Van Moorsel *et al.* 1991, Van Moorsel 1994). De toename van het oppervlak van het harde substraat is vele malen groter dan de afname van het oppervlak van het zandige substraat vanwege de plaatsing van een windturbine. De toename van het oppervlak aan hard substraat is groter naarmate de waterdiepte groter is. De relatieve toename van het oppervlak kan worden uitgedrukt door middel van 4d/Ø, waarbij d staat voor de waterdiepte en Ø voor de diameter van de buispaal. Bij een paaldiameter van 4,5 meter ter hoogte van de zeebodem en een waterdiepte van 20 meter bedraagt de toename van het substraatvlak een factor 18.

Zodra de aanleg van het windpark voltooid is, kunnen de fundaties als *kunstmatige rif* gaan fungeren en typerende hard substraat soorten aantrekken. Bij offshore windparken die eerder aangelegd zijn is hier onderzoek naar gedaan. De monitoringsresultaten van de Deense windparken Horns Rev en Nystad hebben deze toename van hard substraat soorten ook waargenomen (Leonhard en Petersen 2005). Ook werd een toename van de dichtheden van de meest voorkomende soorten aangetroffen in het *Horns* Rev gebied ten opzichte van het referentiegebied (Bech *et al.* 2005).

Aan de fundaties van de turbines groeien tweekleppigen, zoals mosselen, en andere fauna, zoals zakpijpen. Ook wieren zullen aangroeien aan de palen. Daardoor kan aangenomen worden dat de diversiteit van de flora en fauna in het windpark zal toenemen na aanleg van het park. Veel soorten zullen echter niet van nature voorkomen in zandige littorale bodems. Toch kunnen deze soorten niet als gebiedsvreemd worden beschouwd. De larven van dergelijke hard substraat soorten komen voor in het water, en bij gebrek aan de juiste ondergrond kunnen ze niet koloniseren. Als dergelijk substraat wel voorkomt, zoals bij scheepswrakken, dan groeien dergelijke objecten binnen enkele jaren vol met deze orgasismen. In de Oosterschelde en de Grevelingen komen veel van zulke soorten ook voor.

Voor de mate en soort van aangroei is het type substraat van belang: de aard van het materiaal (staal, beton) en de eventuele aanwezigheid van een sokkel of bestortingen rond de turbines. Van boven naar beneden ontstaan een spatzone, een getijdenzone, een sublitorale wierzone en sublitorale zones. De laatste worden gedomineerd door dierlijke organismen. Lokaal brengt dit een aanzienlijke verhoging van de biodiversiteit en biomassa met zich mee.

De opofferingsanodes zullen invloed hebben op de aangroei. Niettemin is van andere offshore installaties op de Noordzee, die ook zijn uitgerust met anodes voor kathodische corrosiebescherming, bekend dat de voedselrijkdom in de directe omgeving van de ondersteuningsconstructies hoog is (Van Moorsel 1999). Dit resulteert plaatselijk in een verhoging van de biodiversiteit.

Door onderzoek aan de begroeiing van scheepswrakken (e.g. Van Moorsel *et al.* 1991) en kunstmatige riffen (e.g. Van Moorsel 1994) in de Noordzee bestaat een redelijk beeld van het *bodemleven* dat zich op de windturbines kan vestigen. Diergroepen die op zandbodems vrijwel ontbreken, zoals sponzen, hydropoliepen, zeeanemonen en zeepokken, kunnen zich in groten getale ontwikkelen. Een aantal van deze soorten of de door hen gevormde structuren vormt op hun beurt een ondergrond of leefomgeving voor weer andere vastzittende soorten. Tussenin en op deze soorten worden vrij kruipende organismen, zoals naaktslakken, zeesterren, krabben en kreeften, aangetroffen die ofwel leven van de vastzittende soorten of daar bescherming zoeken. Een aantal soorten, zoals inktvissen, is alleen in bepaalde seizoenen te verwachten, bijvoorbeeld om eikapsels af te zetten op het harde substraat.

Over de aangroei van macrobenthos op objecten die vanaf de zeebodem tot boven het wateroppervlak reiken is ook een en ander bekend. Op het Europlatform (een monozuil) en de Meetpost Noordwijk (zespotige jacket) ontwikkelde zich een laag mosselen van 8 tot 10 centimeter, voordat de pijlers schoon gemaakt werden. Deze mechanische verwijdering van aangroei vindt meestal jaarlijks plaats tot op een diepte van 8 tot 10 meter, daaronder minder frequent omdat de aangroei er minder dik is. In 1986 werd op drie diepten de bedekking van een pijler van de Meetpost Noordwijk geschat (Waardenburg 1987). De mossel (*Mytilus edulis*) vormde tot op 16 meter diepte een bedekking tot 100 procent. De dikte varieerde tussen 5 en 20 centimeter en nam ook hier af met de diepte. Wieren werden alleen tot op een diepte van één meter aangetroffen. Op 18 meter diepte, vlak boven de bodem, werd de aangroei gedomineerd door Ruwe zeerasp (*Hydractinia echinata*). De biomassa van de door mosselen gedomineerde gemeenschap was met 2,2 tot 4,1 kilo AVDG/m^2 extreem hoog, hoger dan de toch al hoge biomassa van scheepswrakken (Van Moorsel *et al.* 1991).

Begroeiing van pijlers met mosselen is een algemeen verschijnsel: in de Oosterschelde zijn de pijlers van de Zeelandbrug eveneens met een dikke laag mosselen bedekt. Ook op booreilanden kan een zware aangroei van mosselen voorkomen soms wel tot 30 meter diepte (Van der Winden *et al.* 1997).

Er bestaat een groot verschil tussen de begroeiing van scheepswrakken en kunstmatige riffen enerzijds en pijlers anderzijds. Omdat in het geval van pijlers een getijdenrange van ongeveer 1,5 meter aanwezig is, ontwikkelt zich een litorale zone waarin vastzittende wieren voorkomen. Opvallend zijn de dikke lagen mosselen. Op scheepswrakken en kunstmatige riffen werden nooit volwassen mosselen aangetroffen. Dit is deels te verklaren door de aanwezigheid van de Zeester (*Asterias rubens*) die zich vanaf de zandbodem makkelijk op deze objecten kan begeven om zich daar te goed te doen aan de mosselen. In de getijdenzone kan de Zeester zich niet goed handhaven door de golven en doordat zij bijvoorbeeld voor meeuwen als voedsel dienen. Bovendien zal het voor de Zeester moeilijk zijn om tegen lange verticale structuren, zoals pijlers, op te kruipen, onder andere omdat de basis vaak door neteldieren is begroeid. Als zich eenmaal een laag mosselen in de getijdenzone heeft gevormd, kan

deze laag zich waarschijnlijk geleidelijk uitbreiden tot op diepten waarop de Mossel zich niet kan ontwikkelen als het substraat onderdeel is van een laag object op de bodem.

Mosselen hechten zich met byssusdraden aan het substraat. De laagdikte die zich ontwikkelt is afhankelijk van het type substraat. Op een slechte verflaag of roestig metaal verdwijnen mosselen eerder dan op beton. Een ruw oppervlak biedt waarschijnlijk extra goede aanhechtingsmogelijkheden. Zonder onderhoud zal de mossellaag uiteindelijk zo dik worden dat de krachten op de byssusdraden door het gewicht van de mosselen en de golven te groot worden. De laag zal in delen loslaten en op de zeebodem terecht komen, zodat zeesterren en andere organismen daar een rijk gedekte dis aantreffen. Filterfeeders zoals mosselen ontdoen het langsstromende water van een deel van plankton en seston, het zwevend dood organisch en anorganisch materiaal.

Concluderend kan gezegd worden dat er op het onderwatergedeelte van een windturbine een totaal andere levensgemeenschap te verwachten is dan op een zandbodem. Omdat een windturbine dóór het wateroppervlak heen steekt, ontwikkelt zich waarschijnlijk een dikke laag mosselen in de getijdenzone en in de zone direct daaronder. De oorspronkelijke zandfauna blijft ook aanwezig, zal vermoedelijk in aantallen en biomassa van bodemdieren toenemen, maar verandert waarschijnlijk niet sterk qua diversiteit.

Vissen
Bij windturbines zullen zich verschillende typen vissoorten ophouden: soorten die over en tussen het substraat kruipen, soorten die weliswaar vrij zwemmen maar duidelijk aan de bodem gebonden zijn en soorten die in het vrije water zwemmen, maar zich toch in de nabijheid van harde substraten kunnen ophouden. Diverse vissoorten, zoals zeedonderpadden (*Myoxocephalus scorpius* en *Enophrys bubalis*), de snotolf (*Cyclopterus lumpus*) en geep (*Belone belone*), gebruiken hard substraat in de getijdenzone en in ondiep water om hun eieren af te zetten. De laatste twee soorten zijn daarbij alleen in bepaalde seizoenen te verwachten. Soorten die zich meer in de buurt van harde substraten ophouden, zoals bij de pijlers van de Zeelandbrug zijn harder (*Chelon* spp.) en zeebaars (*Dicentrarchus labrax*). Het is echter onbekend of zij dat ook zullen doen bij pijlers in open zee zoals bij West Rijn.

Door het verbod op *commerciële visserij* rond en in het windpark zal het effect verbonden aan het omwoelen van de bodem door visnetten op benthische organismen verdwijnen. Het windpark zal daarbij als een vluchtplaats (refugium) dienen, maar is naar verwachting niet groot genoeg om van invloed te zijn op populatiegroottes. Vissen zullen op een gegeven moment toch uit het park trekken. De kans om vervolgens te worden opgevist is erg groot, gezien de visserijdruk van de zuidelijke Noordzee. Voorts is bekend dat vissers graag dicht rondom beschermde gebieden vissen, juist omdat daar de grotere exemplaren vis zich graag ophouden.

De aangroei op wrakken en kunstriffen vormt voor de meeste vissoorten waarschijnlijk geen belangrijke reden voor het samenscholen. De biomassa is weliswaar hoog, maar deze wordt voor een groot deel gevormd door zeeanemonen, die nauwelijks in aanmerking komen als voedselbron voor vissen (Van Moorsel *et al.* 1991). Als de aangroei voornamelijk uit mosselen bestaat, kunnen zich daartussen wormen, zoals zeerupsen, ophouden die wel als voedselbron kunnen dienen. Of de mosselen zelf ook vissen uit het omringende water aantrekken is niet bekend. Naarmate de mossel groter

wordt, wordt in het algemeen ook een betere bescherming tegen predatie bereikt.

Samenscholingen van vissen zoals de steenbolk, harder en zeebaars bij de windturbines zouden een aantrekkende werking kunnen hebben op zeehonden. Omdat kabeljauwachtigen (met name wijting) een belangrijke voedselbron voor de bruinvis kunnen vormen (Adding 2000) is het mogelijk, dat de aanwezigheid van steenbolk ook tot verhoogde concentraties van de bruinvis leidt.

Monitoring van visvoorkomens bij windpark *Horns Rev* laten gemengde resultaten zien. Er werden er zowel meer grote als meer kleine vissen waargenomen met akoestische metingen, maar het is wel afhankelijk van het tijdstip waarop gemeten werd (Hvidt *et al.* 2005). Met deze akoestische methode konden geen rustende of ingegraven platvis worden waargenomen. Verschillende soorten spiering (alle kortlevende en snelgroeiende vissoorten) bleken binnen het windmolengebied in 2 jaar met 300% te zijn toegenomen, terwijl buiten het windpark de dichtheid met 30% was afgenomen (Jensen *et al.* 2004).

Geluid en trillingen geproduceerd door de windturbines

Of windturbines ook in de zeebodem trillingen veroorzaken, die hinderlijk zijn voor de omgeving, is afhankelijk van het turbinetype, de bodemgesteldheid en de gevoeligheid van de omgeving voor trillingen.

Windturbines produceren verschillende typen mechanische trillingen:

- Laagfrequente trillingen
  Deze hangen samen met de passage van de rotorbladen langs de mast, de onbalans van de rotor en de eigen trilling van de mast. Tijdens de exploitatie van het windpark zal het geproduceerde geluid tussen de 100 en 150 dB liggen, afhankelijk van de soort turbines en windsnelheden. Hogere frequenties kunnen mogelijk ontstaan door interferentie van deze trillingen met geluid uit de gondel.
- Hoogfrequente trillingen
  Deze hangen samen met de draaiende onderdelen van de generator in de gondel, de interactie van wind met de gehele windturbine (met name het aerodynamische geluid van de rotortippen), golven die tegen de mast slaan, de beweging van zand en water langs de mast en organismen die op de windturbines voorkomen (in dit specifieke geval met name het sluiten van kleppen van de Mossel).

De bladen van de turbine zullen aërodynamisch lawaai produceren aangezien zij zich door de lucht bewegen. Dit geluid zal via de lucht het water ingaan. Wanneer de rotatiesnelheid van de windturbine stijgt, zal ook het aërodynamische lawaai stijgen. De beweging van lucht over de gehele structuur met inbegrip van de turbinebladen en de hydrodynamische krachten van golven zal structurele trillingen veroorzaken. Daarnaast zullen trillingen voortkomen uit mechanische trillingen die in de motorgondel worden geproduceerd. De trillingen van de motorgondel zullen afhangen van de graad van mechanische verbetering van het omzettingsproces van de windenergie. Aangezien er een efficiencyvoordeel in het verminderen van deze trillingen is, zal het systeem hoogst geraffineerd gehouden worden. Nochtans is het waarschijnlijk dat de omvang van de trillingen met de leeftijd van de machine zal stijgen, toe te schrijven aan *componentenslijtage. Het niveau van trillingen zal ook met stijgende windsnelheid* stijgen, aangezien de krachten op de mechanische delen stijgen. Elk van deze

generatiemechanismen zal afhankelijk zijn van het ontwerp en de kwaliteit van elke turbine.

De generatie van geluid en transmissiemechanismen suggereren dat het bereikte geluidsniveau veroorzaakt door een windturbine beïnvloed wordt door een aantal factoren zoals de lokale windsnelheid, het geluidssnelheid, diepte van de waterkolom, de ruwheid van de zee en de zeebed geologie. Van deze factoren, zullen de windsnelheid, de geluidssnelheid en de ruwheid van het zeeoppervlak afhangen van weersomstandigheden, de diepte van de waterkolom zal afhangen van de getijden.

De geluidsproductie kan in principe op drie manieren worden overgedragen naar het water, namelijk direct via de mast, indirect vanuit de lucht via het grensvlak van lucht en water en via de bodemstructuur. Bij hogere windsnelheden zal als gevolg van de min of meer constante draaisnelheid, de frequentie van het geluid door wiekpassage niet veranderen. De intensiteit van mastgeluid kan echter wel toenemen.

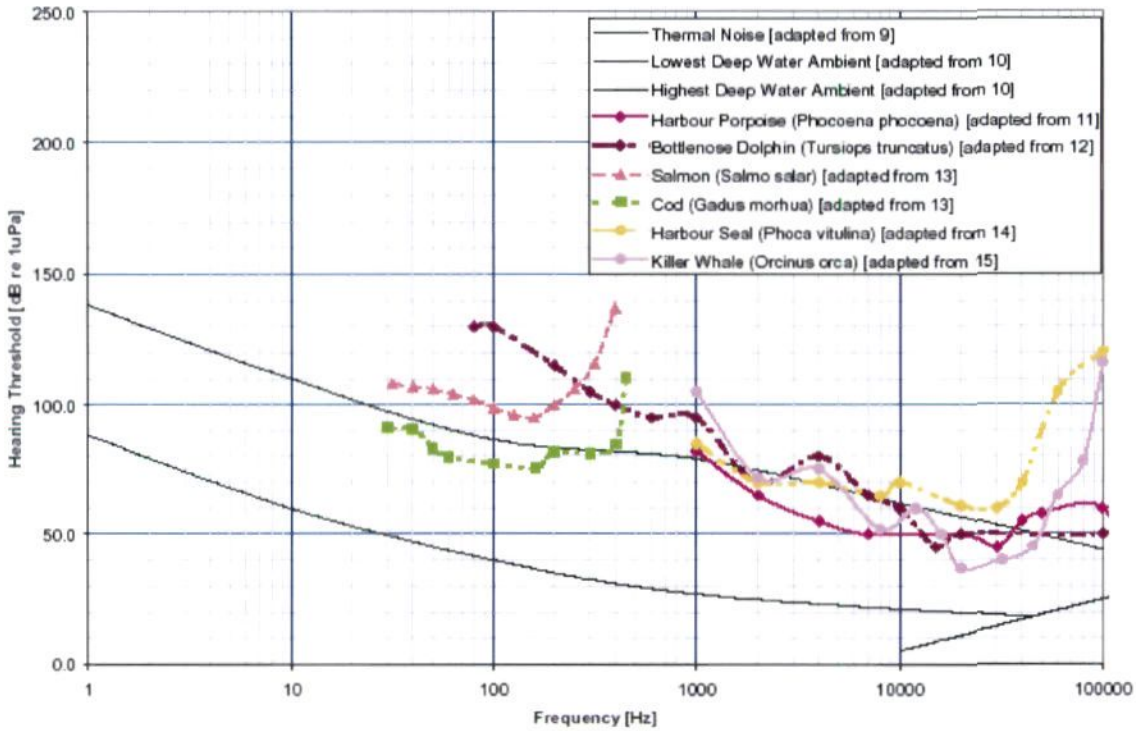
Een deel van de geluiden uit de gondel zal een hogere intensiteit en frequentie krijgen. De hogere intensiteit gaat echter gepaard met een toename van het achtergrondgeluid, doordat bij sterkere wind ook de waterbeweging en, afhankelijk van de diepte, ook het zandtransport zullen toenemen. Om een goede inschatting te kunnen maken van de effecten van onderwatergeluid door windturbines, is het noodzakelijk dat na realisatie van het windpark, de resultaten van metingen van onderwatergeluid worden ingepast in een reeds bestaand overzicht van geluidsspectra van andere activiteiten (bijvoorbeeld Richardson *et al.* 1995).

Gedurende de exploitatie van het windpark zullen lage frequenties geluid waar te nemen zijn, met een brongeluid van maximaal 153dB re 1 µPa op 1m met een geluidsniveau van 16 Hz (Nedwell en Howell 2004). Deze waarneming is gedaan voor individuele windturbines van relatief laag vermogen (<1MW). Ondanks de lage geluidsniveaus, zijn toch effecten op het gedrag van bruinvis geobserveerd.

Onderwatergeluid heeft waarschijnlijk de meeste invloed op **vissen en zeezoogdieren**. Om zich te handhaven dienen deze soorten doelmatig te reageren op roofvijanden en prooien. Daarnaast moet aandacht worden besteed aan de voortplanting. Bij al deze levensfuncties en gedragingen kan geluid een rol spelen. Zo maken walvissen en *dolfijnen gebruik van ultrasone sonar om een prooi op te sporen of obstakels te* lokaliseren en worden lagere frequenties gebruikt voor sociale interacties: het communiceren binnen een groep of tussen groepen (Richardson *et al.* 1995). Vissen kunnen geluid maken om een vijand af te schrikken of partners te lokken en kunnen het gebruiken om in schoolverband te zwemmen. Met name in relatief troebele (kust)wateren kan geluid een relatief belangrijke rol spelen. Om in te schatten of geluid van windturbines het gedrag van vissen en zeezoogdieren beïnvloedt, kan het windturbinegeluid worden vergeleken met de gehoorgrens van deze organismen. Daarnaast kan onderwatergeluid van windturbines worden vergeleken met de frequentie en sterkte van geluiden die door deze organismen worden geproduceerd (vocalisatie). Tenslotte kan er een verband worden gelegd tussen het (vermijdings)gedrag en geluid.

Voor een overzicht van het gehoor, de gevoeligheid voor geluid, de geluidsproductie en het effect van geluid op gedrag van vissen en zoogdieren wordt verwezen naar Van der Winden *et al.* (1997) en speciaal voor zeezoogdieren naar Richardson *et al.* (1995).

Hieronder is een voorbeeld van een audiogram opgenomen, waarin een aantal soorten opgenomen zijn met het omringend geluid als referentie.



Bron: COWRIE 2004

Figuur 4.5: Audiogram van verschillende soorten met omringend geluid als referentie

Gezien het relatieve belang van de bruinvis in dit deel van de Noordzee zijn hier enkele gegevens over het gehoor van de bruinvis opgenomen. Uit onderzoek is gebleken dat het gehoor van bruinvissen geluiden waarneemt tussen de 100 Hz en 180kHz (Kastelein 2000). De hoogste gevoeligheid ligt daarbij tussen de 10 en 150 kHz bij een geluidsdruk van 30 dB re 1 µ Pa. Voor echolocatie (hoogfrequent) gebruiken bruinvissen frequenties tussen de 120 en 150 kHz.

Onderzoek bij andere offshore windparken laat zien dat onderwatergeluid door bruinvissen hoorbaar is op een afstand van 5 meter en door zeehonden tot 20 meter vanaf de fundaties.

Gememoreerd kan worden dat het hoogstwaarschijnlijk om geluiden gaat die een (semi)continu karakter hebben, in tegenstelling tot bijvoorbeeld het explosieve geluid van seismische exploraties. Dit biedt mobiele organismen in beginsel de mogelijkheid om de geluiden van windturbines te vermijden en om zich aan nadelige invloeden te onttrekken. Uiteindelijk is het mogelijk dat gewenning optreedt.

Andere effecten van het offshore windpark

Andere effecten van het windpark tijdens de exploitatie bestaan uit: energieverliezen wanneer de turbines onderhoud nodig hebben, defecten aan de kabels en botsingen tussen grote schepen en tussen grote schepen met turbines. Bij het laatste scenario

kunnen olie en chemicaliën vrij komen. Kleine olie lekkages kunnen verzameld worden door de dienstboot ter plaatse. Maar toch zal de hoeveelheid olie die in een worst-case scenario wordt gelekt in het slechtste geval waarschijnlijk geen zichtbaar effect op het aquatische milieu hebben. Indien alleen olie gelekt wordt uit de turbine (en dus niet uit het schip), dan bestaat dit uit 250 liter minerale olie en maximaal 100 liter dieselolie. Bij een aanvaring/aandrijving tussen een schip en een windturbine kan milieuschade ontstaan, doordat er bunkerolie, ladingolie en/of chemicaliën vrij kunnen komen afkomstig van het schip. Dit zal tijdelijk grote gevolgen kunnen hebben voor het plaatselijke onderwaterleven en de vogels. In hoofdstuk 6, Effecten op scheepvaart en veiligheid, wordt hier nader op ingegaan.

Onderhoud van het windpark

Het handhaven van en het onderhouden van de windturbines zullen hoofdzakelijk tot wat verkeer in het gebied leiden, maar dit verkeer zal niet verschillen van dat van vissersvaartuigen en jachten die momenteel door het gebied varen. Voor de aanleg en verwijdering van het park is werkverkeer nodig en dit zorgt voor extra milieubelasting en op een (licht) verhoogd risico van botsing tussen schepen. De meeste onderhoudswerkzaamheden zullen binnen de turbines plaatsvinden, en de onderwaterdieren zullen slechts aan een storend effect onderworpen worden wanneer extern onderhoud vereist is.

Tenslotte is sprake van de geluidsproductie onder water van onderhoudsvaartuigen. Dit zal echter nauwelijks als een verhoging van de geluidsproductie van de reguliere scheepvaart kunnen worden aangemerkt, vooral niet als het park zal worden gesloten voor overige scheepvaart. Het is daarom dat er per saldo een afname van geluid door scheepvaart ontstaat

4.3.3 Effecten van verwijdering

Aan het eind van de levenscyclus van het windpark zullen de turbines worden verwijderd, de fundaties worden tot 3 m onder zeebed verwijderd. Het verwijderen van het windpark heeft vergelijkbare gevolgen zoals die bij de aanlegfase beschreven zijn. De bodem zal opnieuw beroerd worden, waardoor een tijdelijk effect op het zeebed plaatsvindt. Ook verdwijnt het hard substraat waartussen een nieuwe habitat gevormd is. De verwijdering van het windpark zal de samenstelling en omvang van diverse soorten beïnvloeden.

4.4 Conclusie

4.4.1 Effecten per fase

De *aanleg* van het windpark en de kabel naar land zal effect hebben op het zeebed. Dit effect zal optreden door twee activiteiten, te weten: het heien van de fundaties voor de windturbines en het transformatorstation, en het jet-trenchen van de kabel naar land. De effecten van deze activiteiten op het zeebed zullen minimaal zijn in vergelijking met de natuurlijke verschuiving van het zeebed. Het betreft hier een tijdelijke verstoring, waarna de bodemfauna zich weer herstelt.

Tijdens de exploitatie van het windpark, zullen de fundaties delen van het oppervlak van het zeebed beslaan, maar daar tegenover staat dat zij het gebied van nieuwe habitat

voorzien. De fundaties, inclusief stortsteen, zullen door introductie van dit hard substraat drie dimensioneel gezien een groter oppervlak bieden voor onderwaterleven. Hard substraat soorten zullen zich vestigen op de paal en de steenstort c.q. fundering. De fundaties nemen een (zeer klein) deel van het bodemoppervlak in beslag, waardoor habitat voor de bodemfauna verloren gaat. Deze effecten zullen naar verwachting niet significant zijn. De verwachting is daarentegen dat dichtheden van zacht substraat soorten kunnen toenemen. Het windpark zal na aanleg als refugium fungeren, wat als een positief effect beschouwd moet worden. In het gebied zal grosso modo een toename van benthos en vissen komen.

4.4.2 Effecten op de diverse levensvormen

In onderstaande tabellen is voor de verschillende alternatieven van het geplande windpark aangegeven wat de huidige situatie is, en wat de verwachte effecten op de diverse levensvormen onderwater zijn, en of deze significant zijn.

Tabel 4.5: Mogelijke effecten op aanwezige natuurwaarden: basisalternatief

Soorten	Huidige situatie	Basisalternatief		
		Effect tijdelijk (aanleg en verwijdering)	Effect permanent	Mogelijk significant?
Gewone zeehond (NL pop)	3.500	Negatief (geluid)	Geen	nee
Grijze zeehond (NL pop)	1.500	Negatief (geluid)	Geen	nee
Bruinvis (Noordzee pop)	350.000	Negatief (geluid)	Geen	nee
Biomassa macrobenthos (gasvrij drooggewicht/m^2)	12,5	Negatief (verwijdering habitat)	Geen tot licht positief (aangroei hard substraat)	nee
Diversiteit macrobenthos (H0)	15	Negatief (verwijdering soorten)	Positief (hard substraat)	nee
Biomassa vissen	*onbekend*	*Negatief (geluid)*	*Positief (refugium)*	*nee*
Diversiteit vissen (H0)	50 (kustzone)	Negatief (geluid)	Geen	nee

Tabel 4.6: Mogelijke effecten op aanwezige natuurwaarden: alternatief 1

Soorten	Huidige situatie	Alternatief 1		
		Effect tijdelijk (aanleg en verwijdering)	Effect permanent	Mogelijk significant?
Gewone zeehond (NL pop)	3.500	Negatief (geluid)	Geen	nee
Grijze zeehond (NL pop)	1.500	Negatief (geluid)	Geen	nee
Bruinvis (Noordzee pop)	350.000	Negatief (geluid)	Geen	nee
Biomassa macrobenthos (gasvrij drooggewicht/m^2)	12,5	Negatief (verwijdering habitat)	Geen tot licht positief (aangroei hard substraat)	nee
Diversiteit macrobenthos (H0)	15	Negatief (verwijdering soorten)	Positief (hard substraat)	nee
Biomassa vissen	onbekend	Negatief (geluid)	Positief (refugium)	nee
Diversiteit vissen (H0)	50 (kustzone)	Negatief (geluid)	Geen	nee

Tabel 4.7: Mogelijke effecten op aanwezige natuurwaarden: alternatief 2

Soorten	Huidige situatie	Alternatief 2		
		Effect tijdelijk (aanleg en verwijdering)	Effect permanent	Mogelijk significant?
Gewone zeehond (NL pop)	3.500	Negatief (geluid)	Geen	nee
Grijze zeehond (NL pop)	1.500	Negatief (geluid)	Geen	nee
Bruinvis (Noordzee pop)	350.000	Negatief (geluid)	Geen	nee
Biomassa macrobenthos (gasvrij drooggewicht/m^2)	12,5	Negatief (verwijdering habitat)	Geen tot licht positief (aangroei hard substraat)	nee
Diversiteit macrobenthos (H0)	15	Negatief (verwijdering soorten)	Positief (hard substraat)	nee
Biomassa vissen	onbekend	Negatief (geluid)	Positief (refugium)	nee
Diversiteit vissen (H0)	50 (kustzone)	Negatief (geluid)	Geen	nee

Tabel 4.8: Mogelijke effecten op aanwezige natuurwaarden: alternatief 3

Soorten	Huidige situatie	Alternatief 3		
		Effect tijdelijk (aanleg en verwijdering)	Effect permanent	Mogelijk significant?
Gewone zeehond (NL pop)	3.500	Negatief (geluid)	Geen	nee
Grijze zeehond (NL pop)	1.500	Negatief (geluid)	Geen	nee
Bruinvis (Noordzee pop)	350.000	Negatief (geluid)	Geen	nee
Biomassa macrobenthos (gasvrij drooggewicht/m^2)	12,5	Negatief (verwijdering habitat)	Geen tot licht positief (aangroei hard substraat)	nee
Diversiteit macrobenthos (H0)	15	Negatief (verwijdering soorten)	Positief (hard substraat)	nee
Biomassa vissen	onbekend	Negatief (geluid)	Positief (refugium)	nee
Diversiteit vissen (H0)	50 (kustzone)	Negatief (geluid)	Geen	nee

Zoals uit de voorgaande tabellen blijkt, zijn zelfs in een *worst-case* scenario de effecten op de levende natuur ter plaatse van het studiegebied uitermate beperkt. Voor de onderwaterfauna mag worden gesteld dat de aanwezigheid van een windpark positief kan uitpakken, aangezien zowel de bodemdieren als vissen in aantallen zullen toenemen. Voor zeehonden en bruinvis kan dit, alhoewel beperkt, een positieve bijdrage aan hun overleving vormen.

Bij het bepalen van de effecten op de diverse levensvormen worden verschillende maatstaven gehanteerd, namelijk *dichtheden* (voor alle levensvormen), *biomassa* (met name bij macrobenthos) en *functies* (voor alle levensvormen).

Op de locatie van offshore windpark West Rijn is de flora en fauna in het zeebed schaars. Zoals gezegd is het effect op het zeebed, waarin *macrobenthos* en *bodemleven* zich bevindt, zeer beperkt. Het totale verlies aan zeebodem zal minder dan 0,1% van de bodemfauna in het windpark beïnvloeden. Daartegenover staat ook dat zich in het gebied nieuwe flora en faunagemeenschappen gaan vestigen op en tussen

de fundaties van de windturbines. Zand dat in beweging wordt gebracht tijdens storm zorgt door de schurende werking voor een evenwicht in de aangroei op de fundaties.

Het offshore windpark kan de verspreiding van *vissen* in het gebied op verschillende manieren beïnvloeden. De hoeveelheid voedsel voor vissen zal, zoals uit voorgaande blijkt, niet in grote mate aangetast worden. Uit beschikbare monitoringstudies blijkt dat vissen aangetrokken worden tot fysieke structuren op het zeebed, zoals de fundaties van een windpark. Onderwatergeluid van turbines en elektromagnetische velden van de kabels, hebben een lokaal effect op de verspreiding van vis, maar over de daadwerkelijke negatieve effecten bestaan nog onduidelijkheden.

Met de effecten op *zeezoogdieren* is met name de bruinvis van belang die het gebied aan kan doen. De effecten van de aanleg, operationeel zijn en demontage van het windpark zijn erg lokaal van aard en zullen (op basis van huidige kennis uit monitoringrapportages) de verspreiding van de soort in de Noordzee niet blijvend beïnvloeden. Het is zeer aannemelijk dat de zeezoogdieren die een nadelig effect van de aanleg ondervinden, het gebied tijdelijk vermijden. Het betreft veelal nieuwsgierige soorten welke na constructie weer terugtrekken naar het gebied. Op basis van monitoringsonderzoeken van buitenlandse windparken wordt geen habitatverlies waargenomen. Wat de effecten van onderwatergeluid en magnetische velden zullen zijn, kan met minder zekerheid voorspeld worden. Binnen de wetenschappelijke onderzoeken die hiernaar gedaan zijn lopen meningen uiteen over de effecten op zeezoogdieren, ervaringen uit monitoringsonderzoek en nader onderzoek zullen hierover op termijn duidelijkheid moeten verschaffen. De mate van verstoring zal afhankelijk zijn van een aantal factoren; hoogte en soort geluid, reikwijdte van het geluid, gevoeligheid van zeezoogdier voor betreffende geluid, oppervlakte waar geluid wordt geproduceerd, uitwijkmogelijkheden en de specifieke eigenschappen van het individu (leeftijd, geslacht, ervaring, etc).

Conclusie

Bij de afweging van de overall effecten moet in het oog gehouden worden dat al bestaande activiteiten zoals visserij en scheepvaart momenteel impact hebben op het studiegebied. Door de ontwikkeling van een windpark worden deze effecten voor het betreffende gebied ondervangen. Het gebied wordt gevrijwaard van visserij en niet windparkgerelateerde scheepvaart. Het is maar de vraag of de effecten van de ontwikkeling van een windpark die van andere (huidige) activiteiten overstijgt. Mede doordat de voornaamste effecten voornamelijk tijdelijk van aard zijn en gedurende de gebruiksperiode van het windpark positieve effecten optreden.

Op basis van de huidige kennis kan de conclusie getrokken worden dat de meeste effecten op het onderwaterleven klein zijn en dat er slechts geringe verschillen aan te geven zijn in zowel de abiotische als de biotische component van de onderwater levensgemeenschap in het studiegebied voor het Windpark West Rijn. Ten opzichte van de huidige situatie zijn er positieve effecten te noemen voor de ontwikkeling van het windpark. Het gebied krijgt een zogenaamde refugiumfunctie. Er worden grotere aantallen vissen in het gebied verwacht evenals een toename van biomassa en aantallen van bodemdieren. Daarnaast kan de soortendiversiteit zich in het gebied uitbreiden.
Voor wat betreft de effectvoorspelling van onderwatergeluid, trillingen en magnetische velden bestaan onzekerheden en is nader onderzoek en lange termijn monitoring nodig.

4.5 Mitigerende maatregelen

De effecten van het windpark op het onderwaterleven zijn zowel positief als negatief. De positieve effecten kunnen met aanvullende maatregelen versterkt worden. De negatieve effecten kunnen beperkt worden door het treffen van mitigerende maatregelen.

Instellen van een refugium

Het instellen van een refugium door het uitsluiten van visserij kan als mitigerende maatregel fungeren. Een refugium kan de natuurwaarden op een locatie versterken. Dat betekent in beginsel dat het voor het onderwaterleven een voordeel kan zijn als het windpark op een ecologisch waardevolle locatie ligt.

Weren van zeezoogdieren tijdens aanlegfase

De effecten tijdens de aanlegfase, zoals onderwatergeluid en trillingen tijdens het heien en toename van scheepvaartverkeer, kunnen beperkt worden door de zeezoogdieren tijdens constructie uit het gebied te weren. Te denken valt aan de 'bubble curtain' techniek zoals die door Wursing et al (2000) beschreven zijn. Door middel van het plaatsen van een luchtbellengordijn om de paal heen worden bronniveaus van het heien verminderd. Ook wordt een zgn. *soft start* van het heien aanbevolen. Dit geeft aanwezige vissen en zeezoogdieren de kans om zich te verwijderen uit het gebied voordat schadelijke geluidsniveaus bereikt worden

Daarnaast kunnen akoestische afschrikmiddelen gebruikt worden waarmee zeezoogdieren afgeschrikt worden van de directe nabijheid van de bouwlocatie. Tijdens de aanleg van *Horns Rev* is gebruik gemaakt van *pingers*, onderwater waarschuwingssystemen die een bepaald geluid afgeven om er voor te zorgen dat zeezoogdieren afgeschrikt worden voordat er met heien begonnen wordt.

Een andere manier om de zeezoogdieren te weren is het ter plekke monitoren door akoestische en menselijke waarnemingstechnieken. Hiermee kan verzekerd worden dat er gedurende de aanleg geen zeezoogdieren in de nabijheid van de bouwlocatie komen.

De belangrijkste mitigerende maatregelen om de effecten op het onderwaterleven te beperken zijn samengevat in tabel 4.9.

Tabel 4.9: Samenvattend overzicht van de belangrijkste mitigerende maatregelen om de effecten op het onderwaterleven te beperken

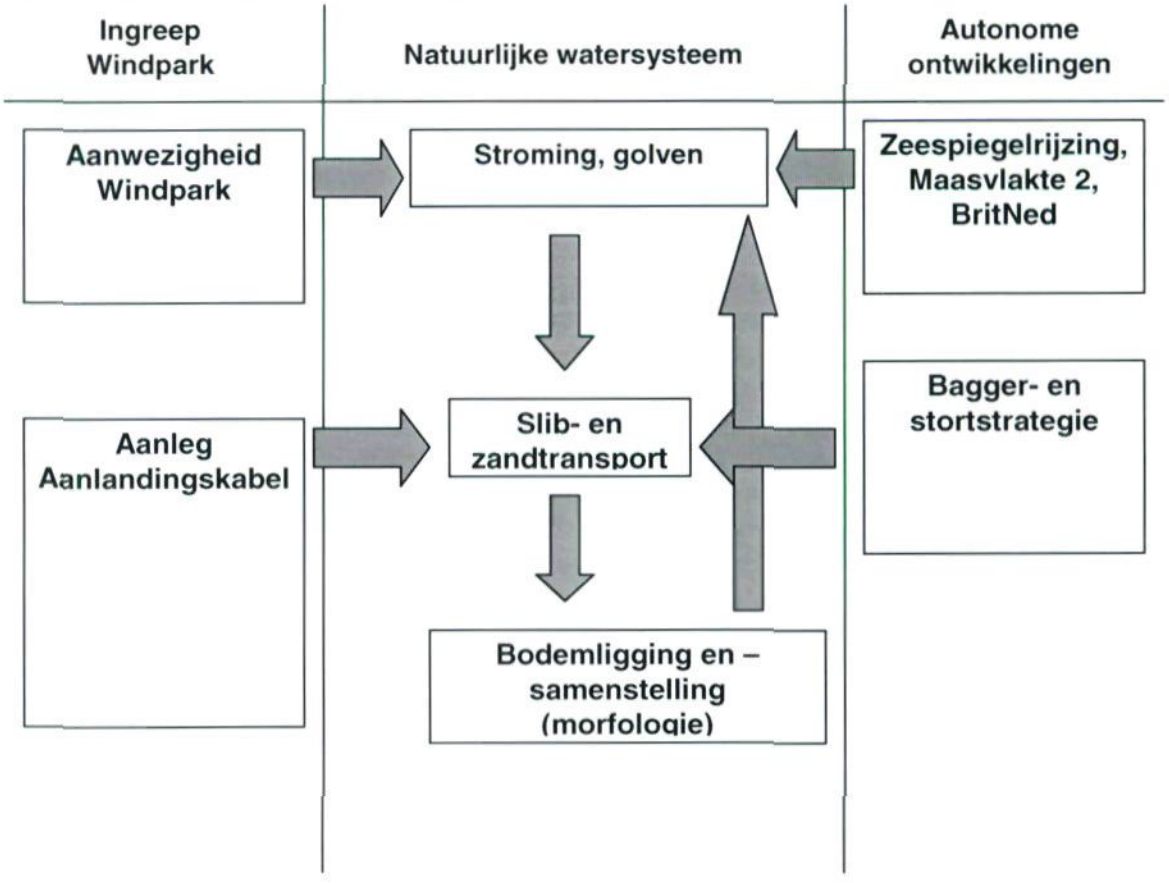
Criterium	Maatregel
Onderwatergeluid	Weren van zeezoogdieren tijdens aanleg (pingers/bubble curtain)
Magnetische velden	Ingraven kabel, bundelen van kabels (zie hoofdstuk 7)
Overig	Instellen van refugium

5 EFFECTEN OP GEOMORFOLOGIE EN HYDRAULICA

5.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de effecten op hydraulica en geomorfologie door de aanleg, exploitatie, en verwijdering van het windpark. Voor het uitwerken van dit hoofdstuk is gebruik gemaakt van ondersteuningstabel 7 van de Richtlijnen van Directie Noordzee (31 maart 2006).
Onder hydraulica wordt hier verstaan de waterbeweging (stroming, golven), en het sedimenttransport (zand, slib). Het onderdeel geomorfologie bevat de beschrijving van de bodemligging en bodemsamenstelling van de Noordzeebodem. Beide aspecten zijn niet onafhankelijk van elkaar, maar onderling gekoppeld. In figuur 5.1 is deze koppeling tot uitdrukking gebracht in het gedrag van het natuurlijke watersysteem. Veranderingen in de waterbeweging zorgen voor veranderingen in transport van zand en slib. De veranderingen in het zand- en slibtransport kunnen op hun beurt weer zorgen voor veranderingen in de bodemligging en bodemsamenstelling. De bodemligging en de samenstelling zijn weer bepalend voor de stroming en de golven en daarmee is de cirkel rond. De interactie tussen de verschillende delen wordt ook wel de "morfologische feedback" genoemd.

Figuur 5.1: Ingreep-effectrelaties voor hydraulica en geomorfologie



De aanleg, exploitatie en het verwijderen van het windpark zorgen voor een verandering van het natuurlijke gedrag van het watersysteem (figuur 5.1). Vanuit verschillend perspectief is er sprake van een verandering. Bijvoorbeeld: de aanleg van de

aanlandingskabel zorgt voor slib in het water tijdens het trenchen van de sleuf. Ook de bodemligging ter plaatse van de sleuf wordt verstoord. Voor het windpark geldt dat de aanwezigheid van de pylonen het golf- en stromingspatroon beïnvloeden. Merk op dat er ook allerlei andere menselijke ingrepen (bijv. bagger- en stortstrategie) en natuurlijke veranderingen (bijv. zeespiegelrijzing) invloed hebben op het natuurlijke watersysteem. In tabel 5.1 is een overzicht gegeven van de mogelijke ingreep-effect relaties voor de onderdelen hydraulica en geomorfologie.

Tabel 5.1: Ingreep-effect relaties voor hydraulica en geomorfologie

	Criterium	Aanleg/ verwijdering	Exploitatie
Geomorfologie	Sedimenttransport	-	Beïnvloeding van sedimenttransport door funderingen
	Bodemligging	Vergraven van zeebodem in verband met aanleg van de turbinefundatie en de kabel	Ontstaan van ontgrondingskuilen door funderingen
	Bodemsamenstelling	Verandering bodemsamen-stelling in verband me aanleg van de turbine fundatie en de kabel	Verandering samenstelling rondom funderingen
	Geomorfologische waarden	Afvlakken van zandgolven voor de aanleg van funderingen/kabel	Verstoring zandgolven en -banken door funderingen/kabel
Hydraulica	Waterdiepte	-	Afname door aanleg fundering windmolen
	Golven	-	Beïnvloeding van golfpatroon
	Stroming	-	Beïnvloeding van stromingspatroon
	Troebelheid	Vertroebeling door baggeren sleuf kabel	-

Geomorfologische en hydraulische kenmerken van het watersysteem zullen direct van invloed zijn op de aanlegmethode, de exploitatie en verwijdering van het windpark en de aanlandingskabel. Bovendien werken de effecten van de aanleg, het gebruik en verwijdering van het park en de kabel op geomorfologie en hydraulica door naar effecten op verschillende gebruiksfuncties en op de ecologie en milieukwaliteit.

Dit hoofdstuk beschrijft de effecten op geomorfologie en hydraulica ten gevolge van de aanleg, exploitatie en verwijdering van het windpark. Eerst wordt de bestaande milieutoestand en de autonome ontwikkelingen toegelicht (5.2). Vervolgens komen de effecten op de geomorfologie (5.3) en de hydraulica (5.4) aan bod. Daarna wordt een samenvatting gegeven van de effecten (5.5) en komen mitigerende maatregelen aan bod (5.6). Omdat de kabel van Airtricity het tracé volgt van de toekomstige BritNed kabel (in de MER BritNed aangeduid als Noordelijke Zeeroute B) wordt voor groot deel aangesloten bij informatie welke reeds in het kader van de aanleg van deze kabel is ontsloten of onderzocht in de MER BritNed (2005).

5.2 Bestaande milieutoestand en autonome ontwikkeling

5.2.1 Huidige situatie hydraulica

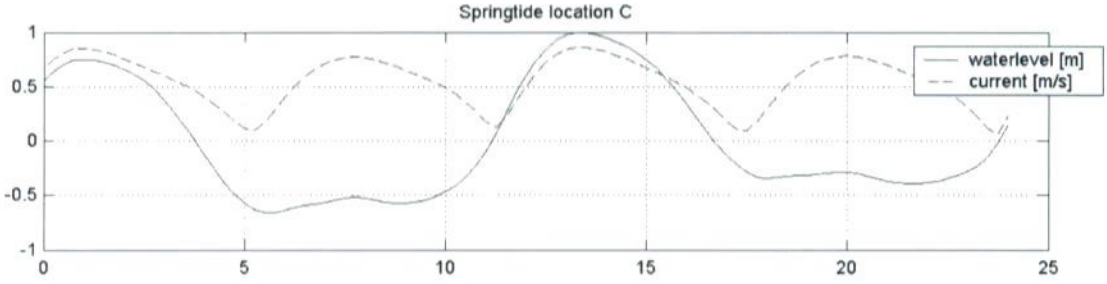
De waterbeweging langs de Nederlandse kust wordt in hoofdzaak bepaald door een samenspel van getijbeweging en de golven. Rondom de Rijn-Maasmonding en vlak langs de Hollandse kust speelt ook de rivierafvoer door het Haringvliet en de Nieuwe Waterweg een rol van betekenis. De waterbeweging zorgt ook voor opwoeling en transport van sediment (zand en slib) langs de kust. Deze aspecten worden hieronder toegelicht.

Getijbeweging

Het verticale getij voor de Hollandse kust varieert van 1,5 m tijdens doodtij tot 2,0 m tijdens springtij. De maximale getijstroming varieert van 0,7 m/s tijdens doodtij tot 1,5 m/s tijdens springtij. Gemiddeld over een lange periode is langs de kust sprake van een netto reststroom in noordelijke richting. Deze reststroom zorgt ervoor dat rivierwater vanuit het Haringvliet en de Nieuwe Waterweg langs de kust richting het noorden wordt getransporteerd. Op kortere termijn (dagen tot een maand) kan het netto reststroombeeld van de Noordzee als gevolg van windinvloeden sterk afwijken van het jaargemiddelde beeld. Met een sterke wind uit het noorden of noordoosten kan de reststroom zelfs omkeren in zuidelijke richting. Windinvloeden kunnen ook resulteren in sterkere stromingen langs de kust en afwijkingen in de waterstand (windopzet).

De waterdiepte (zie figuur 11.1 van bijlage 11) op de locatie West Rijn varieert van 19 tot 21 meter onder LLWS (Low Low Water Spring). LLWS is in de getijcyclus de laagste waterstand tijdens springtij. Het wordt aangegeven ten opzichte van NAP (Normaal Amsterdams Peil). De getijdenniveaus worden verkregen door berekeningen met het zogenaamde ZUNOWAQ model van Rijkswaterstaat. Gedurende een representatief getijde is de volgende getijdenstroming en waterhoogte berekend voor West Rijn (Svasek 2005, zie ook figuur 11.2 en 11.3 van bijlage 11). Bij springtij is het gemiddelde hoogwater is 0.99 m+NAP, het gemiddelde laagwater -0.66 m+NAP en de maximale getijdenstroming is 0.86 m/s. De variatie in de tijd bij locatie West Rijn tijdens springtij is weergegeven in figuur 5.2.

Figuur 5.2: Waterstand en stroomsnelheid bij springtij gedurende het twee getijperioden (circa 24 uur)



Golfklimaat

Wind veroorzaakt waterstandsverhogingen, golven en stromingen. Wind is als zodanig indirect de oorzaak van vele morfologische veranderingen die in het kustgebied plaatsvinden. De windopzet en de golf- en stromingskarakteristieken hangen nauw samen met het windklimaat (windrichting en windsnelheid). Het windklimaat kan veranderen als gevolg van veranderingen in de klimatologische en meteorologische omstandigheden.

Het golfklimaat op diep water bij de locatie West Rijn kan worden bepaald aan de hand van gevalideerde 3-uurlijkse metingen van de afgelopen 16 jaar (RIKZ, 2000; zie ook www.golfklimaat.nl). Deze metingen zijn onder andere gedaan bij het Europlatform, dicht bij de locatie West Rijn. In het golfklimaat zijn de golfhoogtes (H_{m0}) en periodes (Tm_{02} en T_p) van belang en wordt er gewerkt met overschrijdingsfrequenties. Voor alle windrichtingen (omni-directioneel) geldt bij het Europlatform voor eens in de 10 jaar een extreme golfhoogte van 6,22 m.

Tabel 5.2: Golfklimaat bij Europlatform

	Overschrijdingskans			
	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}
H_{m0} (m)	6,22	7,07	7,78	8,40
Tm_{02} (s)	7,97	8,53	9,00	9,40
T_p (s)	10,71	11,71	12,55	13,30

Sedimenttransport

In algemene zin treden sedimenttransporten op als gevolg van de gezamenlijke werking van golven, stromingen en wind. Golven woelen het sediment van de bodem op waarna het door stromingen kan worden getransporteerd. Of sprake is van sedimenttransport is voornamelijk afhankelijk van de beweging van het water en de bodemsamenstelling. In het algemeen kan het sedimenttransport worden opgedeeld in drie fasen, te weten het opwoelen of eroderen van bodemmateriaal, de horizontale verplaatsing door het water en de sedimentatie.

Voor de Noordzee is het van belang onderscheid te maken tussen het transport van zand (%0.063 – 2 mm) en slib (%< 0.063 mm). Het onderscheid tussen deze verschillende sedimentfracties is belangrijk omdat deze zich anders gedragen in het water en in de bodem. Het zandtransport vindt voornamelijk langs de bodem plaats en wordt gedomineerd door de maximale stroomsnelheden als gevolg van getij en golven. Slib is veel meer homogeen verdeeld over de waterkolom. Deze fractie wordt ook vaak aangeduid als zwevende stof. Om verwarring te voorkomen wordt hier alleen de term slib gebruikt.

Het zandtransport vindt voornamelijk plaats in de ondiepe kustzone vanwege de invloed van golven. De zone tot een waterdiepte van circa 8 meter is het meest belangrijk en wordt als actieve zone aangemerkt. Transporten door golf-geïnduceerde stromingen evenwijdig aan de kust zijn in deze zone dominant. Het netto transport in noordelijke richting bedraagt in de actieve zone langs de Hollandse kust 300 tot 400 duizend m^3 per jaar. De havenmonden van Rotterdam, Scheveningen en IJmuiden verstoren het

langstransport met als gevolg een afwisselend patroon langs de kust van erosie en aangroei (zie ook paragraaf 5.2.2).

Het slib in de Noordzee is grotendeels afkomstig uit het Kanaal en vanaf de Vlaamse banken. Een groot deel van dit materiaal wordt in een relatief smalle band langs de Nederlandse kust in noordwaartse richting getransporteerd. Het slib is niet continue in de waterfase er is sprake van (tijdelijke) bezinking op de Noordzee en in luwe zones (bijv. havenmonden). Hierdoor vertoont de hoeveelheid slib in het water een sterk seizoensafhankelijk gedrag. Tijdens stormachtige winterperioden zijn de slibconcentraties veel hoger dan in een kalme zomerperiode. De slibconcentratie in de winter is gemiddeld 5 – 10 mg/l op de Noordzee en 30 – 100 mg/l dichtbij de kust. Voor de zomerperiode zijn 4 – 5 mg/l en 10 – 20 mg/l karakteristieke waarden in deze gebieden.

5.2.2 Huidige situatie geomorfologie

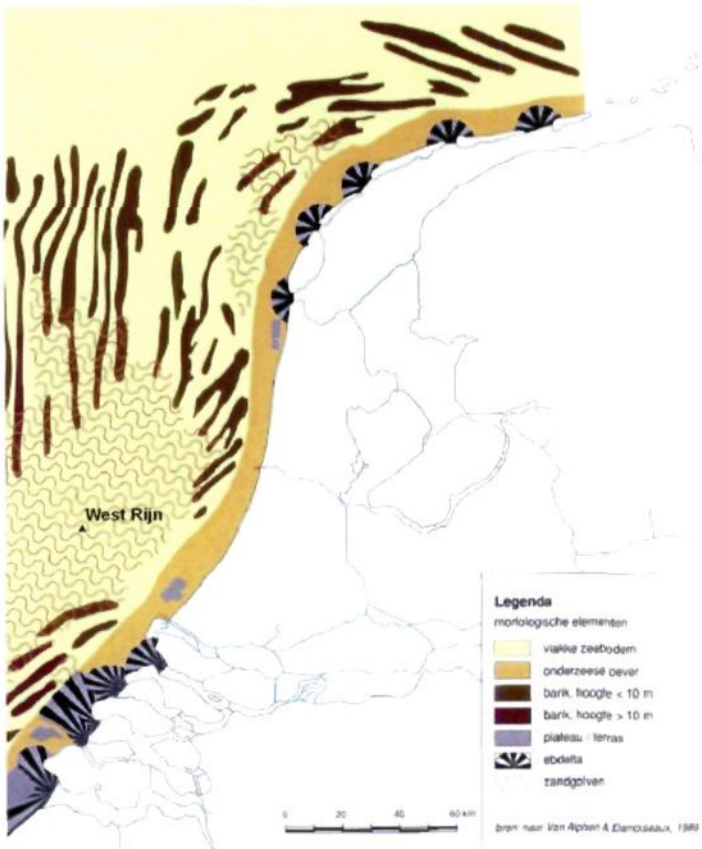
Bodemreliëf

Het reliëf van de Noordzeebodem (zie ook figuur 11.4 van bijlage 11) is hoofdzakelijk een overblijfsel uit de ijstijden, waarin het landijs de bodem opstuwde, uitschuurde of verplaatste. Daaroverheen hebben later, door waterstroming, erosie en sedimentatieprocessen plaatsgevonden. Bezien vanuit de grootschalige geomorfologische en hydrodynamische processen is er op de Noordzee sprake van een dynamisch evenwicht met relatief veel natuurlijke variabiliteit. De invloed van het getij op de geomorfologische veranderingen is het grootst in diep water en neemt naar de kust toe af. De invloed van golven neemt juist in de richting van de kust toe. Ook menselijke activiteiten hebben het bodemreliëf beïnvloed, in het bijzonder langs de Hollandse kust. Voorbeelden hiervan zijn de aanleg van de Maasvlakte en de Deltawerken en de aanleg en de verlenging van de havenhoofden bij IJmuiden.

De Noordzeebodem langs de Hollandse kust is weergegeven op de geomorfologische kaart, uitgegeven door Rijkswaterstaat Directie Noordzee (figuur 5.3). Vanaf de kustlijn neemt de waterdiepte geleidelijk toe over 5 tot 10 km tot een diepte van 15 tot 20 m. Hoofdelementen van de geomorfologie bij de Nederlandse kust zijn:

- De onderzeese kustoever met een vrij uniforme bodemhelling zeewaarts, hetgeen blijkt uit de min of meer evenwijdige dieptelijnen tot op een diepte van circa NAP -17 m;
- De zeebodem, met een gemiddelde ligging op circa NAP -20 m, waarop patronen van kleine duinen en grootschaliger ruggen zijn gevormd;
- De onderzeese buitendelta's van het Marsdiep en het Haringvliet, bestaande uit vrij steile boogvormige zandmassa's; en
- De toegangsgeulen tot de havens van Rotterdam en IJmuiden.

Figuur 5.3: Geomorfologie van de Noordzee (bron: Noordzeeatlas)



De **Noordzeebodem** voor de kust van Zeeland en Zuid-Holland is min of meer vlak en wordt gekenmerkt door de afwisseling van grote zandgolven en langgerekte zandbanken (figuur 5.3). Deze zeebodemvormen worden gevormd door waterstromen en waterdiepte en hebben grote invloed op bijvoorbeeld het sedimenttransport, de kustveiligheid en de stabiliteit van kabels en leidingen die op de bodem van de Noordzee liggen. *Zandbanken* zijn relatief grote en stabiele bodemvormen met een hoogte van enige meters en lengten van kilometers die tijdens de (economische) levensduur van het project (15 tot 20 jaar) in de orde van 15 meter van plaats zal veranderen. Door de flauwe hellingen van zandbanken (orde 1:100) zal de verticale ligging van de bodem in de orde van 10 tot 20 centimeter veranderen. Als gevolg daarvan zal de verticale ligging van de bodem nauwelijks veranderen. Voor *zandgolven* ligt dat anders. Onder zandgolven worden in dit geval bodemvormen verstaan met hoogtes die variëren tussen 0,5 en ongeveer 5 meter en lengtes van enkele honderden meters met een voortplantingssnelheid (migratiesnelheid) van enkele meters per jaar (Hulscher, 1996).

Vanwege de migratie van de zandgolven en zandbanken zijn deze morfologische patronen van belang voor de aanlegdiepte van de fundering en de kabel. Voor de specifieke locatie van West Rijn is het wel of niet voorkomen van zandgolven en de eventuele hoogte daarvan in kaart gebracht. In figuur 11.6 en 11.7 van bijlage 11 zijn de significante hoogten van zandgolven en zandgolven voor Hoek van Holland weergegeven. Op de locatie West Rijn komen zandduinen/zandgolven voor met een

maximale hoogte van 7 meter. Recent onderzoek in een gebied ten westen van de Haringvlietsluizen geeft aan dat duinen zich 3 tot 4 meter per jaar kunnen verplaatsen. Op de zeebodem langs de eerste 24 kilometer van de kabelroute komen geen zandgolven voor. Van 24 tot 40 kilometer ligt de route parallel aan de zandgolven, waardoor de kabel in het dal van een zandgolf kan worden aangelegd, zonder de zandgolven te kruisen. Voor zowel het windpark als de kabel dient dus terdege rekening gehouden te worden met deze duinen bij de aanleg van het windpark.

De morfologische processen in de onderzeese **kustoever** en de wijze waarop deze beïnvloed worden door de aanwezigheid van havenhoofden, andere harde verdedigingselementen en de toegangsgeulen tot de zeehavens bepalen de mate van erosie en aangroei langs de Hollandse kust (zie ook paragraaf 5.2.1). De breedte van de kustoever langs de Hollandse kust (de afstand van de kust tot de vlakke zeebodem) varieert sterk:. Nabij Hoek van Holland bedraagt deze 8 km en bij Zandvoort slechts 2 km. Ook de helling van de kustoever varieert langs de Hollandse kust. Zowel de breedte als de steilheid van de kustoever worden bepaald door een zich voortdurend wijzigend evenwicht tussen golven en getij, voornamelijk loodrecht op de kust. De voor- en achteruitgang van de Hollandse kustlijn wordt hoofdzakelijk bepaald door zandverplaatsingen langs de kust. De netto zandbalans in deze zone langs de kust is vrij goed bekend uit jaarlijkse lodingen (dieptebepalingen), maar de achterliggende processen zijn minder goed bekend.

Het bovenstaande impliceert dat bij aanleg van de aanlandingskabel nabij de kust rekening gehouden moet worden een grote morfologische variabiliteit.

Bodemsamenstelling

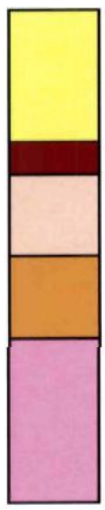
Naast het bodemreliëf speelt ook de samenstelling een rol van betekenis in het kader van het windpark en de aanlandingskabel. Gebaseerd op informatie van de Nederlandse Rijks Geologische dienst en het Brits Geologisch Onderzoek wordt de geologie van het zeebed verdeeld in Holocene toplagen en Pleistocene diepere lagen.

De Holocene toplaag op de locatie West Rijn is 5 tot 20 meter dik. Deze laag bestaat uit de 'Bligh Bank Formatie' van 5 tot 15 meter dikte en de daaronder liggende 'Elbow Formatie' met dikte van 0 tot 5 meter. De 'Bligh Bank Formatie' bestaat uit marien schoon geelbruin zand met een middelgrote of fijn tot middelgrote korrelgrootte. De 'Elbow Formatie' bestaat uit blauwgrijs modderig zand met klei met fijne tot zeer fijne korrelgrootte.

Onder de Holocene toplagen bevinden zich de Pleistocene diepere lagen. De belangrijkste Pleistocene lagen in de bovenste 60 meter van de zeebodem van de Noordzee bestaan uit de 'Eem Formatie', de 'Brown Bank Formatie' en de 'Twente Formatie'. Onder deze formaties kunnen zich de 'Yarmouth Roads Formatie' en daaronder weer de 'Winterton Shoal Formatie' bevinden. De 'Eem Formatie' is tot 30 meter dik en bestaat uit strandzand, (inter tidal and shallow sands) getijdezand en ondiep marien zand met een fijne tot middelgrote korrelgrootte met dunne lagen en tussenlagen van klei. De 'Brown Bank Formatie' is gemiddeld 5 tot 10 meter dik en bestaat uit brakmarien, grijsbruin modderige klei met dunne tussenlagen van zand. De 'Twente Formatie' is vaak minder dan een meter dik en bestaat uit fijn zand. De hoofdzakelijk fluviatiele sedimenten van de 'Yarmouth Roads Formatie' hebben een maximale dikte van 200 meter van kalkloos fijn tot middelfijn zand met verschillende

kleilagen. De 'Winterton Shoal Formatie' heeft een maximale dikte van 130 meter en bestaat uit fijn tot middelfijn zand met kleine kleilagen.

Op de locatie West Rijn komt de 'Eem Formatie' voor met een dikte van ongeveer 10 meter, de 'Yarmouth Roads Formatie' met ook een dikte van ongeveer 10 meter en de 'Winterton Shoal Formatie' met een dikte van 20 tot 35 meter. De 'Brown Bank Formatie' en de 'Twente Formatie' komen niet in West Rijn voor. Figuur 5.4 geeft de opbouw van de bodem van West Rijn weer.



5-15 m	Bligh Bank Formation	fine to medium sand	125-500 µm
0-5 m	Elbow Formation	muddy sand	63-250 µm
± 10 m	Eem Formation	fine to medium sand	125-500 µm
± 10 m	Yarmouth Roads Formation	fine to medium sand	125-500 µm
20-35 m	Winterton Shoal Formation	fine to medium sand	125-500 µm

Figuur 5.4: Opbouw van de bodem van de locatie West Rijn (Svasek, 2005)

Naast de opbouw van de onderlaag is ook de samenstelling van de toplaag van de bodem van belang. De Noordzeebodem bestaat uit relatief fijn tot middelgrof zand (%0.063 – 2 mm) met een gemiddelde korrelgrootte variërend van circa 100 – 500 µm. Het slibpercentage (%< 0.063 mm) in de Noordzeebodem is relatief laag (orde procenten). Om het slibgehalte van de zeebodem te bepalen heeft BritNed (Fugro, 2003) in 2003 op verschillende locaties langs twee geprojecteerde routes slibmonsters genomen op verschillende dieptes. Uit deze studie zijn gemiddelde slibgehaltes over 3 m diepte berekend. Aangenomen is dat deze gemiddelde waarde representatief is voor het slibpercentage dat vrij komt. Gezien West Rijn doorkruist wordt door de Noordelijke route van BritNed zijn metingen ook op deze locatie gedaan, ter hoogte van West Rijn is een percentage van 0.24 % slib gemeten. De slibpercentages variëren voor de Noordelijke zeeroute B tussen 0% en 14%, gemiddeld bedraagt het percentage 1,8 %.

Geomorfologische waarde van de zeebodem

Het onderwaterlandschap kan een aantal geomorfologische waarden bezitten, dit kunnen karakteristieke structuren, geologisch waarden, economisch waarden en cultuurhistorische waarden betreffen. Op locatie West Rijn is sprake van een aantal karakteristieke geologische structuren, zoals de zandduinen en zandgolven. Daarnaast spelen cultuurhistorische waarden een grote rol gezien omdat zich enkele scheepswrakken in het gebied bevinden.

5.2.3 Huidige situatie bodemvisserij

Het studiegebied is een van de intensiefst beviste gebieden van de Noordzee. Bij deze activiteit schrapen zware kettingen over de zeebodem en woelen daarbij op zachte bodem de bovenste bodemlaag (tot 30 cm diepte) om. Hierdoor ontstaat een (tijdelijke) toename van het zwevend stofgehalte over een groot oppervlak. Het vistuig dat wordt gebruikt op het Nederlandse deel van de Noordzee dat door de mogelijke kabeltracés wordt doorsneden, kan globaal in twee types worden onderverdeeld: vistuig dat over de zeebodem wordt getrokken en tuig dat in de diepzee wordt gebruikt. Hierdoor vindt een ernstige verstoring van de geomorfologie plaats.

5.2.4 Huidige situatie baggerwerkzaamheden

Om de Rotterdamse haven toegankelijk te houden wordt jaarlijks ongeveer 15 miljoen m^3 zand en slib gebaggerd. De voor het initiatief van West Rijn relevante baggerwerkzaamheden zijn die van de Maasmond (tot 25 meter diepte) en de Noord Hinder Junction (tot een diepte van 27,3 meter - NAP), waar de toekomstige kabel van airtricity wordt gelegd. Het schone materiaal wordt verspreid op een loswal op zee (ten noordwesten van Hoek van Holland). Verontreinigd materiaal wordt opgeslagen in de Slufter op de Maasvlakte. De bodemberoering treedt alleen op de baggerlocaties op.

5.2.5 Huidige situatie zandwinning

Bij zandwinning wordt met een sleephopperzuiger bodemmateriaal opgezogen. Hierdoor wordt de bodem enkele meters verlaagd. Zand en grind worden tot op heden gewonnen tot een diepte van circa 2 meter onder de zeebodem. Deze ondiepe winning heeft als nadeel dat een relatief groot deel van de zeebodem wordt aangetast, om de benodigde hoeveelheden te kunnen winnen. In deze ondiepe lagen komt bovendien alleen ophoogzand en geen beton- en metselzand voor. In de toekomst wordt daarom waarschijnlijk overgaan op diepere winning. Winningactiviteiten op grotere diepten kunnen ertoe leiden dat sedimentlagen plaatselijk sterker in beweging raken.

5.2.6 Autonome ontwikkeling

Aanleg van Maasvlakte 2

Maasvlakte 2 brengt een aantal effecten met zich mee op geomorfologie en hydraulica, deze zullen deels ook een doorwerking hebben op het initiatief West Rijn. In (Alkyon, 2000) is het bodemreliëf direct na de aanleg, 20 jaar na de aanleg en 50 tot 100 jaar na de aanleg van Maasvlakte 2 beschreven voor de referentieontwerpen I en II uit de PKB, uitgaande van het spuiregime 'Getemd Getij' voor de Haringvlietsluizen. Hieruit blijkt dat er nabij het meest westelijke punt van Maasvlakte 2 een ontgrondingkuil ontstaat met een diepte van NAP-25m na 20 jaar en een diepte van NAP-30m na 50/100 jaar, dit betekent een verdubbeling van de waterdiepte ter plaatse.

In december 2003 hebben de Nederlandse regering en het Havenbedrijf Rotterdam gekozen voor de verdere ontwikkeling van de zogenaamde Doorsteekvariant. Deze variant is aanmerkelijk kleiner dan de in de PKB ontwikkelde referentieontwerpen (circa 2.000 ha. tegen oorspronkelijk ruim 3.000 ha). Dat is bereikt door het oppervlak van het havenbassin te verkleinen en gebruik te maken van de bestaande haveningang (via het Beerkanaal). De vorm van de Doorsteekvariant is bovendien veel compacter, met een

meer vloeiend verlopende buitencontour. Daardoor zullen geomorfologische effecten ook veel kleiner zijn.

Autonome ontwikkeling van het kabeltracé BritNed en NorNed

Nederland kent momenteel nog geen interconnectoren over zee. Er zijn wel twee projecten in voorbereiding: tussen Nederland en Noorwegen (NorNedkabel) en tussen Nederland en Groot-Brittannië (BritNedkabel).
De effecten van deze kabels op hydraulica en geomorfologie komen overeen met de effecten die in het BritNed-MER beschreven zijn. Echter is dit wel afhankelijk van de kabeleigenschappen en de diepte waarop de kabels ingegraven worden.

5.3 Effecten op hydraulica

5.3.1 Aanlegfase

Getijstroming en golfklimaat

Schepen en werktuigen zullen bij de aanleg (en verwijdering) van het windpark en de kabel het stroombeeld en het golfklimaat lokaal zeer beperkt beïnvloeden. Daarnaast zal de tijdelijke sleuf voor de kabel ook lokaal het stroombeeld doen wijzigen. Deze veranderingen zijn dermate lokaal dat deze als verwaarloosbaar beschouwd kunnen worden in het licht van de natuurlijke dynamiek.

Vertroebeling

Door de aanleg van het windpark en de kabel komt slib en zand vrij in het water. Het zand zal vrijwel direct bezinken rond de turbines en de kabel. Het slib zal zich verspreiden in de richting van de stroming. Bij lage stroomsnelheden zal bezinking van slib optreden. Bij hoge snelheden kan indien vrij slib aanwezig is (hetzij van nature, hetzij door bezinking bij eerdere werkzaamheden) opwerveling van slibdeeltjes optreden.

Toename zwevende stof gehalte

Zoals vermeld in de inleiding volgt de Airtricity-kabel het tracé van de BritNed-kabel (Noordelijke zeeroute B). Onderstaand is toename van het zwevend stofgehalte weergegeven, voor de verschillende BritNed-uitvoeringsvarianten als opgenomen in het BritNed-MER.

De toename van het zwevende stof gehalte tijdens de installatiewerkzaamheden is bepaald door het uitvoeren van simulaties met behulp van een slibverspreidingsmodel. Zie Svašek 2004b voor de achtergronden van deze studie. De uitkomsten van deze studie zijn voor beide tracés hierna weergegeven.

De resultaten van de modelberekeningen zijn samengevat in onderstaande tabel. Deze modelberekeningen zijn gedaan voor de Noordelijke zeeroute B. In de tabel worden de effecten op de Voordelta, de Kustzee en de Noordzee (buiten de Voordelta en Kustzee) *apart weergegeven.*

Tabel 5.3: Kortstondige toename zwevend stofgehalte, tijdens installatie van de BritNed kabel

WATER :Verhoging zwevend stof gehalte [mg/l]				
Gebied	**Toelichting**	**Noordelijke zeeroute B**		
		min	**15 jaar**	**40 jaar**
Voordelta	Na 1 getij:	Verwaarloosbaar	Verwaarloosbaar	Verwaarloosbaar
	Maximaal:	Verwaarloosbaar	Verwaarloosbaar	Verwaarloosbaar
Kustzee	Na 1 getij:	0-1	0-1	0-4
	Maximaal:	8	8	8
Noordzee	Na 1 getij:	0-1	0-3	0-9
	Maximaal:	14	65	130

* Maximaal = momentane en lokale waarde

Effecten op de Voordelta blijken verwaarloosbaar, de kustzone geeft een kortstondige toename zwevend stofgehalte weer na 1 getij van 0-1 mg/l. De Noordzee, waar West Rijn gesitueerd is geeft een kortstondige toename van 0-3 mg/l weer en maximaal een lokale waarde van 65 mg/l.

Noordelijke zeeroute B
Het effectgebied kan opgedeeld worden in twee delen. Tot km 40 uit de kust is alleen een ingraafmachine nodig om de kabel op de benodigde diepte te leggen (referentie). Vanaf km 40 tot km 96 is het plaatselijk noodzakelijk om eerst de top van de zandgolven te verwijderen door middel van baggeren. Door het baggeren en in (veel) mindere mate door het ingraven worden de slibconcentraties in het water plaatselijke kortstondig verhoogd. Gezien de locatie van West Rijn varieert tussen de 37 km tot maximaal 46 km is er nader geotechnisch onderzoek nodig om vast te kunnen stellen of baggeren nodig is.

De slibconcentratie op open zee is gemiddeld 4 5 mg/l in de zomer en gemiddeld 4-10 mg/l in de winter. Na een stormperiode is dat tijdelijk 10-20 mg/l. De maximale slibconcentratie tijdens de ingreep zijn dus gemiddeld vergelijkbaar met de gehaltes tijdens een stormperiode en passen daarmee binnen de natuurlijke dynamiek. De effecten zijn zeer lokaler en korter durend dan die als gevolg van een storm.

Op basis van de berekeningsresultaten van BritNed kan worden geconcludeerd dat de effecten van aanleg van het windpark en de kabel op de slibconcentratie overal zeer lokaal en van korte duur zijn. Lokaal kan de toename gedurende één getijdeperiode tot boven de natuurlijke achtergrondwaarden komen, maar geldt dat deze toename na één getij weer zijn afgenomen tot natuurlijke waarden.

5.3.2 Onderhoud en exploitatiefase

Getijstroming

De effecten op de getijstroming zijn in kaart gebracht aan de hand van een numerieke berekening met het ZUNOWAQ-model. Dit model omvat het zuidelijke deel van de Noordzee. Gedurende een representatief springtij simulatieperiode zijn de stromingspatronen en waterniveaus voor West Rijn bepaald, zoals deze bij de huidige milieutoestand zijn beschreven.

De aanwezigheid van het windpark West Rijn zal geen invloed hebben op de *waterstanden*, en alleen de *stroomsnelheid* lokaal rondom de funderingen en de palen veranderen. Een paal c.q. fundering in een stromingsveld veroorzaakt een geringe verhoging van de stroomsnelheid aan weerszijden van de paal en een wervelstraat aan de lijzijde van de paal. Globaal kan aangehouden worden een invloedslengte van één tot twee keer de diameter van de fundering (Hoffman et al., 1997; Chakrabari, 1987). De invloedslengte is dus in de orde van maximaal 10 – 20 meter. De effecten zullen daardoor alleen merkbaar zijn in de directe omgeving van de turbines. Vanwege de onderlinge afstand (circa 800 - 1000 meter) zullen de onderlinge turbines elkaar niet beïnvloeden. Verwacht mag worden dat het effect van de Tripod fundering iets groter zal zijn gezien de metalen driepoot constructie boven het zeebed. Hierbij treedt meer werveling op die zich verder uitstrekt dan bijvoorbeeld de Monopile fundatie.

Golfklimaat

De aanwezigheid van de turbines zal invloed hebben op het lokale golfklimaat ter plaatse van het windpark. Door lokaal afscherming en breking zal het golfpatroon beperkt wijzigen en de golfhoogte achter de turbines lokaal lager worden. Net als bij de beïnvloeding van de getijstroming is de invloedslengte echter beperkt. Dit blijkt ook uit de studies van het Deense Hydraulisch Instituut, dat onderzoek verrichte voor het windpark Horns Rev. Met de aanname dat alle golvenkracht die tegen de turbines slaan geabsorbeerd worden, is aangetoond dat de golfhoogte gereduceerd is met minder dan 3,5% in de lijzijde van het windpark gebied. Deze kleine reductie in golfhoogte direct lijwaarts van het park, zal vereffend worden alvorens de golven de kustzone bereiken. De kustzone zal praktisch onveranderd zijn door de aanwezigheid van het windpark.

De aanwezigheid van de kabel onder het bodemoppervlak heeft geen invloed op het golfklimaat.

Vertroebeling

De aanwezigheid van het windpark en de kabel leiden niet tot verhoging van de troebelheid. Er kan wel sprake zijn van een lichte verhoging van de slibconcentratie in deze fase als gevolg van onderhoud en normale reparaties. Berekeningen hebben aangetoond dat de effecten op de slibconcentratie bij deze activiteiten veel kleiner dan de effecten van de aanleg van het windpark en de kabel. Bij uitzonderlijke reparaties, waarbij bijvoorbeeld de kabel door middel van baggeren bloot gelegd moet worden zijn de effecten vergelijkbaar met het baggeren tijdens de aanleg van de kabel, maar over veel kortere afstanden.

5.3.3 Verwijderingfase

Het basisontwerp voor de buitengebruikstelling aan het einde van de levensduur is de verwijdering van de turbines, het transformatorstation en de kabels. De funderingen van turbines en transformatorstation worden tot 6 meter onder zeebedniveau verwijderd. De erosiebescherming wordt daarbij in tact gelaten. Zoals beschreven in hoofdstuk 7 van deze MER worden de kabels in de zeebodem achtergelaten.

Getijstroming en golfklimaat

De effecten van verwijdering op getijstroming en golfklimaat zijn vergelijkbaar met de effecten tijdens de aanlegfase (zie paragraaf 5.3.1).

Vertroebeling

De effecten van de verwijdering op de slibconcentratie zijn lokaal vergelijkbaar met de effecten van het aanleggen van funderingen voor turbines en het ingraven van de kabel tijdens de aanlegfase. De effecten zijn echter zoals aangegeven in paragraaf 5.3.1 van korte duur en zeer lokaal.

5.4 Effecten op geomorfologie

5.4.1 Aanlegfase

Het plaatsen van de windturbines zal een direct effect hebben op de geomorfologie van het gebied. Door de aanleg zal omwoeling van de bodem plaatsvinden en daarmee verplaatsing van sediment. Tijdens de aanlegfase zullen effecten ten gevolge van funderingen van de turbines, het transformatorstation en de kabels optreden. In deze paragraaf worden deze effecten nader toegelicht. Hierbij zal ingegaan worden op de zogenaamde voetprint van de verschillende alternatieven. Tevens worden effecten van kabels op geomorfologie kort beschreven. De effecten van verstoring van de geomorfologie op verschillende receptoren (bodemdieren, vissen en zeezoogdieren) wordt in hoofdstuk 7 nader uitgewerkt.

Bedekt en vergraven oppervlak door het windpark

De onderlinge afstand van de windturbines is een bepalende factor voor het optreden van veranderingen van de morfologie en hydrodynamica. Indien de windturbines te dicht bij elkaar worden geplaatst kunnen onder andere de erosiekuilen van de verschillende turbines in elkaar overgaan. Dit zou dan kunnen leiden tot een grootschalige verlaging van de bodem.

De hoogte en het vermogen van de turbines kunnen indirect van belang zijn voor de morfologische en hydrodynamische situatie. De afmetingen van de funderingen zijn mede afhankelijk van de hoogte van de mast en het gewicht van de turbine. Er zijn drie verschillende alternatieven voor de fundering van de windturbines (zie Deel A, hoofdstuk 3) de Monopile, de Gravity base en de Tripod fundatie. Per fundatietype wordt nader toegelicht wat het totaal bedekt oppervlak van het windpark zal zijn, dit is per inrichtingsvariant (turbine type en opstellingsvariant) verschillend.

Er is een inschatting gemaakt op basis van voorhanden zijnde afmetingen van de fundaties en de benodigde sleuven voor de kabel. Afhankelijk van de hoogte van zandgolven zal dieper gefundeerd moeten worden en zullen ook de kabels dieper ingegraven worden. Gezien nader onderzoek nodig is naar de ligging en dynamiek van de zandgolven is het niet mogelijk een absoluut getal te berekenen voor het aantal hectares zeebodem wat aangetast zal worden door aanleg van het park en vergraving ten behoeve van de kabel.

1. Monopile

De voetprint van de monopile voor het turbine type 3.6 MW betreft een diameter 7,5 meter en voor de 5MW betreft deze 9 meter. In onderstaande tabel is per inrichtingsvariant het bedekte oppervlak uitgerekend:

Inrichtingsalternatieven	Basisalternatief	Alternatief 1	Alternatief 2	Alternatief 3
Type turbine (MW)	3,6	5	3.6	5
Aantal turbines	79	46	57	83
Totaal vermogen (MW)	284	230	205	415
Layout (in meters)	950-870	1260-1008	1110-888	950-700
Bedekt oppervlak per turbine fundatie	44 m^2	63,6 m^2	44 m^2	63,6 m^2
Totaal bedekt oppervlak (ha) incl. fundatie transformatorstation	0,37 ha	0,31 ha	0,27 ha	0,55 ha

2. Gravity base

De voetprint van de gravity base voor het turbine type 3.6 MW en voor de 5MW betreft een diameter van 35 meter. In onderstaande tabel is per inrichtingsvariant het bedekte oppervlak uitgerekend.

Inrichtingsalternatieven	Basisalternatief	Alternatief 1	Alternatief 2	Alternatief 3
Type turbine (MW)	3,6	5	3.6	5
Aantal turbines	79	46	57	83
Totaal vermogen (MW)	284	230	205	415
Layout (in meters)	950-870	1260-1008	1110-888	950-700
Bedekt oppervlak per turbine	962 m^2	962 m^2	962 m^2	962 m^2
Totaal bedekt oppervlak incl. fundatie transformatorstation	7,62 ha	4,44 ha	5,55 ha	8,00 ha

3. Tripod

De voetprint van de tripod fundatie voor het turbine type 3.6 MW en voor de 5MW betreft drie monopiles met een diameter van 2,13 meter. Dit komt neer op een totale voetprint van 10,7 m^2. In onderstaande tabel is per inrichtingsvariant het bedekte oppervlak uitgerekend.

Inrichtingsalternatieven	Basisalternatief	Alternatief 1	Alternatief 2	Alternatief 3
Type turbine (MW)	3,6	5	3,6	5
Aantal turbines	79	46	57	83
Totaal vermogen (MW)	284	230	205	415
Layout (in meters)	950-870	1260-008	1110-888	950-700
Bedekt oppervlak per turbine	10,7 m^2	10,7 m^2	10,7 m^2	10,7 m^2
Totaal bedekt oppervlak incl. fundatie transformatorstation	0,102 ha	0,067ha	0,079 ha	0,106 ha

Het ruimtebeslag van het windpark met een omvang van circa 47 km^2 staat in een minimale verhouding tot het totaal areaal van het Nederlands Continentaal Plat (57.000 km^2). Het windpark West Rijn beslaat circa 0,08 % van het totaal areaal van het NCP. Het daadwerkelijke oppervlak wat bedekt wordt door turbines en het transformatorstation is nog eens een fractie kleiner. Zoals in de tabellen te lezen valt,

neemt de Gravity base fundatie het meeste ruimtebeslag in. De Tripod fundatie neemt het minste ruimtebeslag, echter treedt hierbij wel meer bodemberoering op doordat voor iedere turbine drie of zelfs vier keer een paal geheid moet worden. Daarbij wordt wel opgemerkt dat naast het berekende bedekt oppervlak er rondom de turbinefundaties nog een laag bodembescherming gestort. Dit zal bijdragen aan een beperkte extra bedekking van het zeebodemoppervlak.

Bedekt en vergraven oppervlak door kabels

Om het initiatief te realiseren zullen kabels binnen het windpark gelegd worden en 2 of 3 kabels naar land. Tijdens de aanlegfase zal een hoeveelheid bodem beroerd worden, na aanleg zal deze weer bezinken en zich herstellen tot de oorspronkelijke situatie. Er zal dan alleen de kabel met een omvang van circa 15 cm in de bodem liggen, dit kan echter niet beschouwd worden als bedekking van de zeebodem. Met betrekking tot de kabel kan dus alleen aangegeven worden hoeveel oppervlak er vergraven wordt, van bedekking is tijdens de exploitatiefase geen sprake.

Binnen het windpark West Rijn zullen kabels aangelegd worden met een totale lengte van 57 km. De kabels worden door middel van trenchen 1 m diep gelegd ten opzichte van het zeebedniveau en er is tijdens de aanlegfase een bodemberoering van maximaal 2 m breed. Dit betekent dat de kabels tijdens de aanlegfase binnen het park een oppervlak van 11,4 ha beslaan.

Daarnaast is er de kabel van het transformatorstation naar land, deze is in totaal 54 km lang. Deze kabel wordt ook middels trenchen 1 m diep ten opzichte van zeebedniveau geplaatst met tijdens de aanlegfase een maximale bodemberoering van 2 m breed. Echter tot 3 km in de kustzone wordt de kabel 3 m diep gelegd. De kabel naar land zal tijdens de aanlegfase een oppervlak van 10,8 ha beslaan. Gezien er 2 of 3 kabels evenwijdig aan elkaar naar land gebracht worden, wordt dit oppervlak met het aantal kabels vermenigvuldigd.

Tabel 5.4: Bodembedekking door aanleg van de electriciteitskabels

Traject	Lengte (km)	Waterdiepte (m)	Ingraafdiepte (m)	Aantal (-)	Bodem bedekking (ha)
Windpark	57	19-21	1	1	11,4
Noordzee	54	20	1 – 3 m	2 of 3	21,6 of 32,4

Sedimentatie en erosie

Uit de voorgaande paragraaf is gebleken dat de effecten op de getijstroming en het golfklimaat alleen lokaal zijn. Derhalve zal alleen het lokale zandtransportpatroon veranderen, het grootschalige transportpatroon blijft gelijk. West Rijn zal, als gevolg van de naar verhouding geringe diamaters van de funderingen en de grote onderlinge afstand tussen de turbines, alleen in de directe omgeving van de fundering lokale erosie effecten hebben.

Door het plaatsen van de turbine zullen lokale ontgrondingskuilen ontstaan in de orde van 3 tot 6 meter diep indien geen bodembescherming wordt aangebracht. Bij de voorspelling van de gevolgen van het windpark is ervan uitgegaan dat er

erosiebescherming rondom de funderingen zal worden aangebracht. Deze bestaat uit een filterlaag met stenen van een kleine diameter en een laag van stenen daarbovenop met een grote diameter. Door de erosiebescherming (mitigerende maatregel) wordt de zeebodem rondom de funderingen vastgelegd en zal voorkomen worden dat diepe ontgrondingskuilen ontstaan.

Daarnaast zal tijdens de aanleg verhoogde slibsedimentatie optreden ten gevolge van de baggerwerkzaamheden. De sedimentatiehoeveelheden zijn in het kader van het BritNedtracé onderzocht met behulp van een slibverspreidingsmodel, waarmee de aanleg van de Noordelijke zeeroute B en de Zuidelijke zeeroute A is gesimuleerd. Zie voor een verdere beschrijving de BritNed: Vertroebelingsstudie, (Svasek 2004b).

In tabel 5.5 zijn de uitkomsten voor de Noordelijke zeeroute B samengevat. De uitkomsten voor de overige Zuidelijke zeeroutes zijn vergelijkbaar.

Tabel 5.5: Maximale laagdikte die aanwezig is gedurende installatie

ZEEBODEM : Verhoging sedimentatie [mm]					
Gebied	**Deelgebied**	**Toelichting**	**Noordelijke zeeroute B**		
			min	**15 jaar**	**40 jaar**
Voordelta	Binnendelta	Gemiddeld:	0 - 1	0 - 1	0 – 3
		Lokaal:	max. 1.5	max. 1.5	max. 6
	Buitendelta	Gemiddeld:	<<0.1	<<0.1	<<0.1
		Lokaal:	<<0.1	<<0.1	<<0.1
	Voordelta*	Gemiddeld:	0	0	0
		Lokaal:	0	0	0
Kustzee		Gemiddeld:	0 – 1	0 – 1	0 – 3
		Lokaal:	0.1 – 2	0.1 – 2	0.1 – 4
Noordzee		Gemiddeld:	<<0.1	<<0.1	<<0.1
		Lokaal:	<<0.1	0.1-1	0.1 – 8

* ten zuiden van de Haringvlietmonding

Uit de gegevens die in de BritNed studie (2005) berekend zijn kan voor locatie West Rijn en het te volgen kabeltracé gezegd worden dat de maximale laagdikte slib die gedurende korte tijd lokaal aanwezig kan zijn 0 tot 6 mm bedraagt. Wanneer de gemiddelde laagdikte bepaald wordt over de gehele aanlegperiode is de laagdikte verwaarloosbaar (<< 0.1 mm), behalve heel lokaal in de ondiepe gebieden in de Binnen Voordelta. Hier is de gemiddelde laagdikte over de gehele aanlegperiode enkele millimeters.

De kabel van windpark naar de kust kruist twee baggerstortlocaties; "Loswal noord" en "Zandberging. Bij de aanleg van de kabel middels jet trenching zal het gestorte slib worden opgewerveld. Dit zal leiden tot een kortstondige beïnvloeding van het aquatisch milieu. Na aanleg van de kabel zal dit effect snel verdwijnen. Er zal onderzocht worden of de uitvoeringsmethode zodanig kan worden ingericht dat opwerveling van slib tot een minimum wordt beperkt.

Geomorfologische waarden

Zandgolven en -duinen
Bij de aanleg van het windpark moet rekening worden gehouden met de karakteristieke structuur van het zeebed. Ter hoogte van locatie West Rijn bevinden zich enkele zandgolven, deze hebben echter een dynamisch karakter. Voor de aanvang van installatie zal uitgebreid geotechnisch onderzoek gedaan worden.
Indien de fundering en erosiebescherming gesitueerd zijn in een zandgolf, zullen zandgolven naar verwachting over de erosiebescherming verplaatsen zonder enige schade aan te richten. Echter het voorbijgaan van zandduinen zou het ontwerp van de turbine wel kunnen beïnvloeden aangezien het in een variërend zeebodemniveau zal resulteren. Indien de fundering op de kam van een zandgolf is gesitueerd, zal de structuur misschien gedestabiliseerd moeten worden. Hoe dit probleem het beste kan worden opgelost is niet grondig bestudeerd. Afhankelijk van de afmeting van de zandgolven en van het patroon van verplaatsing gedurende de aanlegperiode, zal misschien vereist zijn te baggeren alvorens de installatie van de turbines plaats kan vinden. De zandgolven worden dan afgevlakt. Een andere optie is de erosiebescherming verlengen.

Indien zandgolven op het traject van de kabelroute liggen, zal de ingravingsdiepte van de kabels afwisselen. Afhankelijk van de toestand tijdens ingraving van de kabels, kunnen zij dieper of minder diep in de zeebedding komen te liggen of kunnen zelfs blootgesteld worden. Regelmatig onderzoek van de erosiebescherming en ook het kabeltracé is daarom aan te raden, zodat onderhoud werkzaamheden in een vroeg stadium kunnen worden verricht.

De migratie van zandgolven kan een bedreiging vormen voor de funderingen van de turbines, erosiebescherming en de ingraving van de kabels. Er zijn nog veel onzekerheden rondom deze effecten. Lange termijn effecten op geomorfologische ontwikkelingen zijn moeilijk te voorspellen. De periode waarin een zandgolf zich verplaatst, kan niet vastgesteld worden middels een theorie. Monitoringstudies zullen hier duidelijkheid in moeten verschaffen, deze monitoring zal over een lange periode plaats moeten vinden. Er bestaat de mogelijkheid dat de verplaatsingsperiode van een zandgolf de levenscyclus van een windpark overschrijdt en dat een destabiliserende toestand nooit bereikt zal worden. Daarom zullen de migratie van een zandgolf en de condities van de erosiebescherming en de ingegraven gecontroleerd worden. Dit in combinatie met installatie van de turbines in dieptepunten van de zandgolven, het zeebodemniveau.

Cultuurhistorische waarden
Daarnaast zullen cultuurhistorische waarden in acht genomen moeten worden. Bij de inrichting van het park wordt rekening gehouden met de aanwezige scheepswrakken. Voordat met het installeren van fundatiepalen wordt gestart, zal een geotechnisch bodemonderzoek plaatsvinden. Uit een dergelijk onderzoek blijkt waar de scheepswrakken gesitueerd zijn en of overige obstakels aanwezig zijn en hoe de bodem is opgebouwd. Aan de hand van de gegevens uit een dergelijk onderzoek kan dan ingeschat worden of en op welke wijze gestart kan worden met de installatie. Indien een scheepswrak op de zeebodem ligt, waar een turbine is geprojecteerd, dan zal deze turbine naar aanleiding van het bodemonderzoek op een andere plaats worden geïnstalleerd.

Obstakels
Voor een windpark zou de zeebodem op de Noordzee idealiter geheel vlak moeten zijn. Zoals uit het vorige blijkt is dit in de praktijk allerminst het geval. Hierbij komt nog het gegeven dat zich ook obstakels op de zeebodem bevinden. Ook met deze obstakels dient rekening gehouden te worden, het betreft hier twee verlaten kabels voor telecommunicatie die door het gebied lopen. In dit kader dienen ook explosieven op de zeebodem te worden vermeld. Voordat met de daadwerkelijke installatie van fundaties wordt begonnen, zal ook onderzoek gedaan worden naar de exacte ligging van de telecomkabels en eventuele explosieven. Eventueel aanwezige explosieven zullen worden opgeruimd volgens de geldende regels.

5.4.2 Onderhoud en exploitatiefase

Tijdens het regulier onderhoud van het windpark wordt periodiek, elke twee à drie jaar, de aangroei op de funderingspalen verwijderd. Tevens worden de funderingen geïnspecteerd op verbindingen, aangroei op de paal en de erosiebescherming.

Voor de kabel is een speciaal onderhoudsprogramma ontwikkeld. Indien blijkt dat een kabel te weinig gronddekking heeft en een verhoogde kans loopt om beschadigd te worden, kan worden besloten deze opnieuw in te graven of af te dekken. Daarvoor zijn in principe dezelfde middelen beschikbaar als voor de oorspronkelijke aanleg van de kabel.

Effecten tijdens onderhoud en reparatie van de kabel zijn gezien het bovenstaande in principe vergelijkbaar met de effecten gedurende de aanleg van het windpark en de aanleg van de kabels. De oppervlaktes zijn echter vele malen kleiner omdat het steeds om lokale ingrepen gaat. De effecten zijn dus ook minimaal.

Bij exceptionele reparaties, waarbij de kabel doormiddel van baggeren bloot gelegd moet worden zijn de effecten vergelijkbaar met het baggeren tijdens de installatie van de kabel. Deze effecten zijn minimaal (zie effectbeschrijving aanleg). Hierbij kan nog worden aangetekend dat bij een kabelreparatie slechts een korte sectie van de kabel zal worden opgebaggerd, zodat ook de lengte van de verstoring, en dus de sedimentatie minimaal zal zijn.

5.4.3 Verwijderingfase

Het basisontwerp voor de buitengebruikstelling aan het einde van de levensduur is de verwijdering van de turbines, het transformatorstation en de kabels. De funderingen van turbines en transformatorstation worden tot 6 meter onder zeebedniveau verwijderd. De erosiebescherming wordt daarbij in tact gelaten. De bekabeling tussen de turbines en de kabel naar land wordt achtergelaten.

De directe bodemberoering wordt tijdens de verwijdering veroorzaakt door de snijmachine vanaf de jack-up dat de funderingspaal verwijderd. Het betreffen minimale effecten die tijdelijk en lokaal zijn. De effecten van verwijdering zijn in principe vergelijkbaar met de effecten gedurende de aanleg van het windpark.

5.5 Conclusie

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van het totaal bedekt oppervlak van de verschillende alternatieven van het windpark. Het Nederlands Continentaal Plat (NCP) beslaat een totale oppervlakte van 5.700.000 ha. In het licht van dit oppervlak zijn de percentages bedekt oppervlak van het windpark verwaarloosbaar. Het alternatief 3 (5MW turbines met 7,54*5,56 opstelling) met een Gravity base fundatie brengt het grootst mogelijke bedekt oppervlak van de verschillende alternatieven met zich mee. In dat geval gaat het nog steeds om een verwaarloosbaar oppervlak ten opzichte van het totale oppervlak van het NCP.

Tabel 5.6: Overzicht bedekt oppervlakte per alternatief en funderingstype

	Basisalternatief	Alternatief 1	Alternatief 2	Alternatief 3
Monopile	0,37 ha	0,31 ha	0,27 ha	0,55 ha
Gravity base	7,62 ha	4,44 ha	5,50 ha	8,00 ha
Tripod	0,102 ha	0,067 ha	0,079 ha	0,106 ha

De kabel binnen het windpark zal tijdens de aanlegfase een oppervlak beroeren van 11,4 ha. De kabel naar land zal tijdens de aanlegfase een oppervlak van 10,8 ha beslaan. Gezien er 2 of 3 kabels evenwijdig aan elkaar naar land gebracht worden, wordt dit oppervlak met het aantal kabels vermenigvuldigd. Het betreffen hier tijdelijke effecten door beroering van het zeebed door jet trenchen. Deze verstoring zal zich na de aanleg weer snel herstellen.

Tabel 5.7: Bodembedekking door aanleg van de electriciteitskabels

Traject	Lengte (km)	Waterdiepte (m)	Ingraafdiepte (m)	Aantal (-)	Bodem bedekking (ha)
Windpark	57	19-21	1	1	11,4
Noordzee	54	20	1 – 3 m	2 of 3	21,6 of 32,4

Er is een inschatting gemaakt op basis van voorhanden zijnde afmetingen van de fundaties en de benodigde sleuven voor de kabel. Afhankelijk van de hoogte van zandgolven zal dieper gefundeerd moeten worden en zullen ook de kabels dieper ingegraven worden. Gezien nader onderzoek nodig is naar de ligging en dynamiek van de zandgolven is het niet mogelijk een absoluut getal te berekenen voor het aantal hectares zeebodem wat aangetast zal worden door aanleg van het park en vergraving ten behoeve van de kabel.

Uit het onderzoek blijkt dat de hydraulische en geomorfologische veranderingen, voorzover ze optreden, gering zijn in vergelijking met de natuurlijke dynamiek van het gebied. De invloed is beperkt tot de zone rondom de funderingen. Daarnaast is gebleken dat het totaal oppervlak dat beroerd wordt in relatie tot het NCP nihil is. Deze conclusie wordt nader toegelicht in tabel 5.8.

De tabel laat zien dat bijna alle geomorfologische en hydraulische veranderingen, die het gevolg zijn van de aanleg, de aanwezigheid en verwijdering van het offshore windpark tijdelijk en/of zeer lokaal van aard zijn. De veranderingen, voorzover deze

optreden zijn gering in vergelijking met de grote fluctuaties als gevolg van de natuurlijke processen. De gevolgen beperken zich tot de nabije omgeving van het windpark. Effecten op geomorfologie en hydraulica worden dan ook als niet significant beschouwt.

Tabel 5.8: Conclusie effecten op gemorfologie en hydraulica

	Criterium	Aanleg/ verwijdering (tijdelijk)	Aanwezigheid (permanent)	Schatting effect in % van NCP
Geomorfologie	Sedimenttransport	-	Lokale verstoring van zandtransport door aanwezigheid van fundering en paal	< 1%
	Bodemligging	Tijdelijk verstoring door vergraven van zeebodem in verband met aanleg van de turbinefundatie en de kabel	Lokale ontgrondingskuil, geen relevante verschillen	< 1%
	Bodemsamen-stelling	Tijdelijk verstoring door verandering bodemsamen-stelling in verband met aanleg van de turbine fundatie en de kabel	Verandering samenstelling rondom funderingen	< 1%
	Geomorfologische waarden	Afvlakken van zandgolven voor de aanleg van funderingen/kabel	Nader te onderzoeken effect van dynamische zandgolven	< 1%
Hydraulica	Waterdiepte	-	Geen invloed op waterstanden	< 1%
	Golven	-	Lokaal verlaging van golfhoogte, geen relevante verschillen	< 1%
	Stroming	-	Lokaal invloed op stroomsnelheid, geen relevante verschillen	< 1%
	Troebelheid	Lokale en tijdelijke verhoging zwevend stofgehalte bij aanleg, geen relevante verschillen	-	

5.6 Mitigerende maatregelen

Bodembescherming gebruiken rondom funderingen

Het ontstaan van erosiekuilen rondom de funderingen kan worden tegengegaan door het aanbrengen van een bodembescherming. Het aanbrengen van erosiebescherming introduceert nieuw materiaal, i.c. breuksteen, in het gebied. Wanneer besloten wordt geen erosiebescherming aan te brengen, ontstaan na korte tijd grote erosiekuilen rond de monopile fundatie. Tevens moet de ondersteuningsconstructie dan worden ontworpen voor de meest ongunstige situatie, zijnde een diepe erosiekuil en het verplaatsen van een zandgolf. Dat leidt tot aanzienlijke zwaardere constructies, dat wil zeggen een langere paal met een grotere diameter en een grotere wanddikte. Het

gewicht aan anodes (van de kathodische bescherming) wordt bepaald door het gewicht van de ondersteunings-constructie. Een zwaardere constructie leidt dus tot een toename van het anodegewicht.

Afstand houden tussen de funderingen

Om te voorkomen dat ontgrondingskuilen rondom de turbines in elkaar overgaan, dienen grote afstanden (minimaal 200 meter) tussen turbines te worden aangehouden.

Vaker (ondieper) trenchen in plaats van (dieper) baggeren

Op sommige delen van het tracé zal de kabel op een diepte moeten worden gelegd, die alleen met baggeren kan worden bereikt. Het gaat dan om gebieden met zandgolven. Baggeren heeft echter door de wijze van verplaatsen van de grond (hydraulisch transport) grotere gevolgen dan trenchen. Baggeren leidt daarom tot meer vertroebeling van het zeewater.

Een mitigerende maatregel is om de kabel toch met trenchen aan te leggen. Regelmatige controle moet dan uitwijzen of de kabel op een diepte is komen te liggen, die niet meer aanvaardbaar is (c.q. of de kabelbedekking nog voldoende is). De kabel moet dan opnieuw, met trenchen, op diepte worden gebracht.