

Rekolonisatie van de zeebodem na zandwinning en suppletie: een review

Visie voor een onderzoeksaanpak als onderdeel van het MEP
zandwinning RWS & LaMER

Datum 30 juni 2009
Status Definitief

M.J.C. Rozemeijer

Memo RWS-Waterdienst NWOB/MJCR-2009.01

Rekolonisatie van de zeebodem na zandwinning en suppletie: een review

Visie voor een onderzoeksanpak als onderdeel van het MEP
zandwinning RWS & LaMER

Datum 30-6-2009
Status Definitief

M.J.C. Rozemeijer

Memo RWS-Waterdienst NWOB/MJCR-2009.01

Colofon

Uitgegeven door	RWS Waterdienst
Informatie	M.J.C. Rozemeijer
Telefoon	06-11526470
Fax	
Uitgevoerd door	M.J.C. Rozemeijer
Toetsing	M. Meijerink (RWS-WD) S. Marx (RWS-WD) A. Stolk (RWS-NZ) J. de Kok (Deltares)
Datum	30-6-2009
Status	Definitief
Versienummer	Memo RWS-Waterdienst NWOB/MJCR-2009.01

Inhoud

Samenvatting 7

1	Inleiding 9
1.1	Aanleiding 9
1.1.1	Onderwerp van deze review 9
1.2	Aanvullende context 10
1.2.1	Kustveiligheid: Beleid, Basiskustlijn, kustfundament en zwakke schakels 10
1.2.2	De basiskustlijn en kustfundament 10
1.2.3	Zwakke schakels 11
1.3	Andere zandwin-initiatieven 11
1.4	Leeswijzer 11
2	Het natuurlijk systeem 12
2.1	Water 12
2.1.1	Waterstanden 12
2.1.2	Stromingspatroon 12
2.1.3	Zoutgehalte 14
2.1.4	Autonome ontwikkeling 14
2.2	Morfologie 14
2.2.1	Zandtransport 14
2.2.2	Kleinschalig 15
2.2.3	Grootschalige patronen 15
2.2.4	Bodemvormen 16
2.3	Slib 18
2.3.1	Wat is slib 18
2.3.2	Gedrag bodem en slib op de bodem 18
2.3.3	Slib-dynamiek in de waterkolom 19
2.4	Benthos 21
2.4.1	Gradiënt kustdwars 21
2.4.2	Gradiënt kustlangs 21
2.4.3	Gemeenschappen 22
2.4.4	Gemeenschappelijkheid in gemeenschappen. 23
2.4.5	Vlaamse banken model voor Zeeuwse Banken? 25
2.4.6	Rekolonisatie 26
2.4.7	Rekrutering door voortplanting en dispersie van macrobenthos 27
2.4.8	Mechanisme van voortplanting als kwetsbaarheidsindex 28
3	Overzicht bestaand onderzoek 33
3.1	Terschelling: winning 33
3.2	Terschelling: vooroeversuppletie 34
3.3	Punaise proef Heemskerk (suppleren) 35
3.4	Loswallen nabij Rotterdam 36
3.5	Suppletie bij Texel 37
3.6	Klaverbank 38
3.7	Zandwinning in de Waddenzee 38
3.8	RIACON: België, Duitsland, Denemarken 38
3.8.1	Suppleties in het algemeen 38

- 3.8.2 Suppletie Torsminde Tange (Denemarken) 38
- 3.8.3 Winning Torsminde Tange (Denemarken) 39
- 3.8.4 Eiland van Norderney, Duitsland 40
- 3.9 Zuid-Engeland en Frankrijk 40
- 3.9.1 Thames (area 222) 40
- 3.9.2 Hastings (area X en Y) 41
- 3.9.3 Humber area (area 408) 41
- 3.9.4 Bembridge 42
- 3.9.5 Cross Sands 43
- 3.9.6 Dieppe: Kanaal 43

4 Overview wetenschappelijke resultaten met discussie en eerste conclusies 47

- 4.1 Overall patroon 47
- 4.2 Kanttekeningen 47
- 4.2.1 Duur van de monitoring 47
- 4.2.2 Natuurlijke dynamiek van de referentie situatie 49
- 4.2.3 Sediment- en bodemkwaliteit: slib 49
- 4.2.4 Sediment- en bodemkwaliteit: grind 49
- 4.3 Openstaande vragen. 49

5 De bredere maatschappelijk context 51

- 5.1 Lokatie specifiek: aanleiding voor de m.e.r. 51
- 5.2 Adviezen Commissie MER 51
- 5.3 Te verwachten onderzoeken aan rekolonisatie 52
- 5.3.1 Havenbedrijf Rotterdam: Maasvlakte 2 52
- 5.3.2 De Zandmotor 52
- 5.4 Suppleties Ameland 52
- 5.5 Waterplan 52
- 5.6 Volumevergrotingen in de toekomst 52
- 5.7 Verwacht rendement of verbeteringen uitvoer 53
- 5.8 Concluderend vanuit de maatschappelijke context 54

6 Synthese 56

- 6.1 De verschillende argumenten en conclusies samenvattend 56
- 6.2 Verschillende varianten van onderzoek 56
- 6.3 Suggestie voor onderzoek 58

7 Literatuur 59

Samenvatting

Aanleiding

RWS en LaMER hebben gemeenschappelijk MERren laten opstellen (van Duin e.a. 2007, 2008). In deze MERren worden met betrekking tot rekolonisatie aannames gedaan. Daarnaast zijn in de vergunningen voor zandwinningen ten behoeve van suppletie- en ophoogzand, voorschriften opgenomen voor het opstellen van een monitoring- en evaluatieplan (EP). RWS en LaMER hebben wederom gezamenlijk een EP geschreven (Ellerbroek e.a. 2007). In dit EP zijn de in de vergunning voorgeschreven monitoringonderdelen nader uitgewerkt. Aanvullend op het EP is gevraagd om een review en onderzoekvoorstel naar rekolonisatie.

In onderhavig document wordt een overzicht gegeven van bestaand onderzoek. Op basis van de bestaande wetenschappelijke resultaten en maatschappelijke context wordt vervolgens een potentieel onderzoeksprogramma gedefinieerd.

Belangrijkste resultaten review

Huidige situatie: Benthos

Langs de Hollandse kustboog behoort de zandwinzone tot de ecologisch armste zones van de Noordzee. Overwegend zit hier de Zuidelijk Bocht gemeenschap die arm is in soorten, diversiteit en biomassa. Ook de Kustgemeenschap wordt aangetroffen. Op basis van een kleine T0 meting en onderzoek naar de naburige Vlaamse Banken is te verwachten dat de Zeeuwse Banken ongeveer gelijk lijken aan de Zuidelijke Bocht gemeenschap. Ze verdienen echter wel meer aandacht vanwege de minimale kennis ten aanzien van de huidige situatie (T0).

Rekolonisatie

Rekolonisatie is binnen de context van de zanderige oostelijke Noordzee, de grinderige westelijke Noordzee en het Kanaal goed onderzocht. Het voornaamste mechanisme achter rekolonisatie is het complex van larventransport, settlement en recruitment. Over het algemeen is het een patroon van eerste settlement van typisch koloniserende soorten (r-strategen) als wormen, daarna volgen binnen één á twee jaar alle soorten nodig voor een complete gemeenschap. De rekolonisatie gebeurt vooral door settlement van larven uit de waterkolom. De jaren daarop is er wel dynamiek in soortenbestand die gekoppeld lijkt aan een normale natuurlijke dynamiek in soorten bestand en diversiteit. Het herstel in de jaren daarop is vooral in aantallen en biomassa. Het uiteindelijk herstel lijkt in 4 tot 6 jaar voltooid. Dit komt ook overeen met de gangbare theorieën over de Noordzee met grootschalige processen van water- en larventransport.

Elementen die verstoring kunnen werken hebben te maken met zeer hoge slibgehalten (dan duurt de rekolonisatie langer) of met de relatieve bijdrage aan grind (karakter bodem). Voor grindige bodems leidt exploitatie vaak tot een duidelijke verandering van het karakter van de ondergrond. Er treedt dan wel herstel op maar naar een andere gemeenschap die gekoppeld is aan die specifieke bodemkwaliteit. In de Nederlandse situatie geldt dat risico bijvoorbeeld voor de Klaverbank en de Borkumse Stenen.

Maatschappelijke context

De maatschappelijke omgeving vraagt meer duidelijkheid omtrent rekolonisatie van diepe winningen en over rekolonisatie van de regio Zeeuwse Banken. De rekolonisatie bij diepe winning wordt bestudeerd door HBR. Voor het MEP van RWS en LaMER lijkt rekolonisatie van de Zeeuwse banken de openliggende vraag (kennisleemte).

In hoofdstuk 5 is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Hieruit blijkt dat uitgaande van de huidige winningspraktijk (zandwinning tbv MV2 meegerekend) en 4 jaar herstelduur, er permanent $\sim 239 \text{ km}^2$ door zandwinning verstoord oppervlak aanwezig is (inclusief diverse fases van rekolonisatie).

Dat valt nog steeds in het niet bij het totaal aan areaal waarop deze Zuidelijke Bocht gemeenschap te vinden is ($\sim 60.000 \text{ km}^2$). De uitgevoerde gevoeligheidsanalyse laat zien dat ook bij een langere rekoloniseringsperiode de hoeveelheid verdwenen oppervlak nog steeds laag is (in MER beoordelingsmethodiek: nagenoeg geen effect). Het is nergens gesignaleerd dat er geen rekolonisatie optreedt. Mocht onderzoek aantonen dat rekolonisatie niet 4-6 jaar duurt maar 6-8 jaar, dan is er nog steeds op MER-beoordelingsmethodiek "nagenoeg geen effect".

Onderzoeksvoorstel

Deze review presenteert een onderzoeksvoorstel waarin bestandsopnames van de Zeeuwse banken gemaakt waarbij verschillende gebieden bemonsterd worden met een verschillende historie in winning. Veel gebied op de Zeeuwse banken heeft al een historie van exploitatie. Als referentiegebieden zouden de vrijwaringszones langs de leidingen op beide Zeeuwse banken en de trog kunnen dienen. Eventueel kan ook een gebied worden uitgezocht dat >8 jaar niet meer geëxploiteerd is geweest. Daar is nog nooit gewonnen en het is nog ongestoord voor wat betreft het fenomeen zandwinningen. Deze benadering genereert inzicht in de rekolonisatie in meerdere fases van ontwikkeling (bijvoorbeeld kort, tot 2 jaar, en lang, (> 4jaar, 6 tot 8 jaar).

Daarnaast wordt door RWS en HBR rekolonisatieonderzoek gedaan tot de evenwichtssituatie is bereikt (lange termijn > 4jaar). Gezamenlijk geven al deze onderzoeken een afdoende antwoord een uitputtend beeld. De resultaten van de rekolonisatie van de diepe winputten van HBR zullen de onzekerheid over diepe winningen wegnemen.

Op de voorgestelde manier worden meerdere doelen gediend, staan meerdere onderzoeken in elkaars verlengde en blijven de kosten beperkt. Vooruitlopend op de resultaten, zijn de verwachtingen dat de resultaten wel leiden tot een verbeterde effectvoorspelling maar waarschijnlijk geen aanleiding geven de uitvoering van zandwinning te veranderen.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Jaarlijks wordt langs de kust van de Noordzee zand toegevoegd. Daarmee wordt de bestaande kustlijn en het bestaande kustfundament behouden als onderdeel van de bescherming tegen overstromingen vanuit de zee. Dit zand wordt gewonnen van de bodem van de Noordzee. Daarvoor is een vergunning ingevolge de Ontgrondingenwet nodig van de Minister van Verkeer en Waterstaat.

In mei 2005 zijn twee ontgrondingsvergunningen voor zandwinning door de Raad van State vernietigd omdat er een locatiespecifiek MER ontbrak. Hoewel deze twee vergunningen niet betrekking hadden op winning van zand voor kustsuppleties, is uit de vernietiging van deze vergunningen wel de conclusie getrokken dat ook voor de ontgroning van zand voor suppleties de vergunningaanvragen moeten zijn voorzien van een locatiespecifiek MER als de ontgroning de daartoe gestelde grenzen in het Besluit m.e.r. overschrijdt.

De genoemde uitspraken van de Raad van State zijn daarom aanleiding geweest om al voor de zandwinning voor de kustsuppleties in 2007 een m.e.r.-procedure te starten. Het MER winning suppletiezand 2007 is met de vergunningaanvragen in oktober 2006 ingediend. Daarna is voor de jaren 2008 t/m 2012 een m.e.r.-procedure ingezet. Per jaar zal naar verwachting ~12 mil m³ voor reguliere suppleties gewonnen worden en ongeveer een zelfde hoeveelheid voor de Zwakke Schakels. Omdat de commerciële winners van ophoogzand (18-25 mil m³ per jaar) een zelfde procedure moesten doorlopen is een samenwerkingsverband gevormd resulterend in twee zuster-MERren (van Duin e.a., 2007, 2008) en een gezamenlijk Evaluatieprogramma (EP, Ellerbroek e.a. 2007). In dit EP dient aandacht besteed te worden aan verschillende aspecten van slib, draagkracht, benthosgemeenschappen, schepenbanken en verstoring.

Bij zandwinning voor suppletiezand verdwijnt de toplaag met al het dierlijk leven. Onder andere door de Commissie MER (Commissie MER, 2008a,b) en bij de inspraak bij de MERren Zandwinning is zorg uitgesproken voor wat betreft de rekolonisatie van deze ontgonnen gebieden.

1.1.1 *Onderwerp van deze review*

Het bevoegd gezag heeft in de ontgrondingenwet-beschikkingen gevraagd om een review over rekolonisatie. In dit review dient de bestaande onderzoeksliteratuur te geïnventariseerd te worden wat bekend is over rekolonisatie na zandwinning op basis van het overzicht een definitie van en welke kennisleemten. Vanuit deze kennisleemten kan een onderzoeksprogramma gedefinieerd worden wat kan resulteren in verbeterde effectschattingen. Daarnaast zouden de resultaten van het review en onderzoek ook kunnen leiden tot een verbeterde uitvoering in winning zodat de effecten eventueel worden gemitigeerd.

1.2 Aanvullende context

1.2.1 *Kustveiligheid: Beleid, Basiskustlijn, kustfundament en zwakke schakels*

In het kader van de veiligheid tegen overstromen wordt de Nederlandse kust onderhouden door middel van zandsuppleties op en langs de kust. Hiertoe wordt zand gewonnen buitengaats (op ongeveer –20 meter diepte) dat vervolgens getransporteerd wordt naar de kust om aldaar gestort te worden op en/of tussen de buitenste brekerbanken van de vooroever of op het strand. De langs de gehele kust terugkerende suppleties beogen de basiskustlijn (BKL) en het kustfundament (van 1990) op peil te houden. Dit programma wordt jaarlijks vastgesteld op basis van de monitoring van de kusterosie. Vanaf 2001 wordt de BKL in een breder perspectief beschouwd: het kustfundament. In 2003 werd vastgesteld dat een aantal kustvakken op korte termijn versterking nodig heeft met het oog op de veiligheid van het achterland: de zogenaamde zwakke schakels.

1.2.2 *De basiskustlijn en kustfundament*

Sinds 1971 wordt de zandige kust onderhouden via suppleties. Deze suppleties dienen onder andere als onderhoud van duinen die dienen als waterkering. Het instrumentarium Basiskustlijn (BKL) is ontwikkeld om te bepalen waar gesuppleerd dient te worden. De Basis-kustlijn is bepaald uit de trend in kustlijnliggingen tussen 1980 en 1989. Met het handhaven van de Basiskustlijn wordt er, eenvoudig gezegd, voor gezorgd dat Nederland niet kleiner wordt. Sinds 1994 worden er naast strandsuppleties ook onderwatersuppleties uitgevoerd. Daarnaast is in 2001 het beleid Dynamisch Handhaven uitgebreid naar het gehele kustfundament, dat doorloopt tot de doorgaande N.A.P.-20m dieptelijn. Het doel hiervan is om de zandvoorraden van het gehele kustfundament op peil te houden, zodat ook op de langere termijn de Basiskustlijn op een efficiënte wijze gehandhaafd kan worden. Hiervoor is het suppletieprogramma sinds 2001 uitgebreid tot 12 miljoen m³ zand per jaar. Na overleg met alle partijen is de ligging van de Basiskustlijn in 1992 bestuurlijk vastgesteld en in 2001 herzien. Dit betekent dat de vastgestelde Basiskustlijn niet meer op dezelfde plek ligt als waar de kustlijn in 1990 lag. Voor de periode van 2008 tot en met 2012 worden suppleties voorzien voor nagenoeg de gehele kustlijn van Zeeuws Vlaanderen tot en met Ameland. Doordat de kusterosie beperkt voorspelbaar is, kan de verdeling van de hoeveelheden suppletiezand langs de kust in deze periode slechts met een grote marge worden aangegeven. De schattingen voor totale jaarlijkse volumes komen nu uit op 12 tot 16 miljoen m³ per jaar, verspreid langs vrijwel de gehele kust.

1.2.3

Zwakke schakels

In 2003 is gebleken dat er in de primaire waterkeringen van de Nederlandse kust zwakke schakels voorkomen waar het vereiste veiligheidsniveau tussen nu en 2020 niet is gewaarborgd. Voor de aanpak van de zwakke schakels in de kustzone is op 31 januari 2003 in het Bestuurlijk Overleg Kust het Procesplan Zwakke schakels vastgesteld. Onder regie van de provincies worden voor de zwakke schakels planstudies uitgevoerd, rekening houdend met doelstellingen voor veiligheid en ruimtelijke kwaliteit. In het MER Winning Suppletiezand 2008-2013 (van Duin e.a. 2007) wordt een overzicht gegeven van de zwakke schakels die extra zand zullen ontvangen.

1.3

Andere zandwin-initiatieven

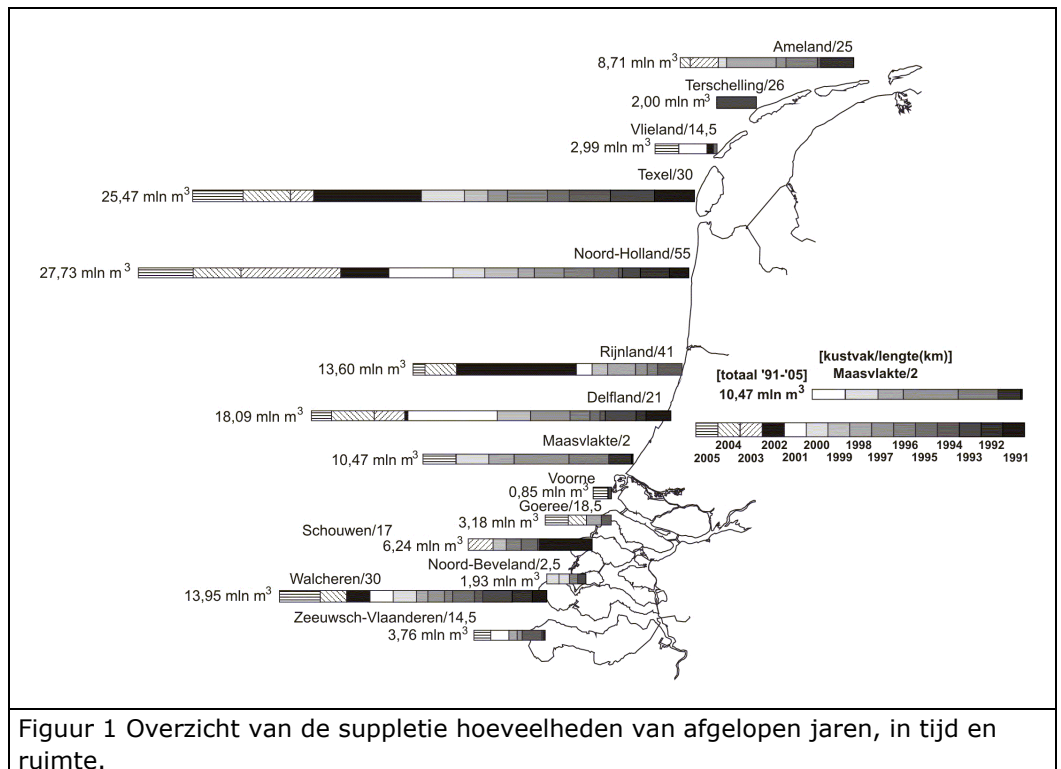
Andere zandwin initiatieven zijn

- Maasvlakte 2 (MV2): 290 mil m³ 2008-2012. De tweede maasvlakte wordt in 5 jaar aangelegd (ongeveer 60 – 80 mil m³ per jaar).
- Zandmotor: 20 mil m³ in 2010 voor de Delflandse kust
- WCT: 20 mil m³ in naar verwachting 2010 voor de Zeeuwse Kust ten behoeve van de uitbreidingsplannen van de Haven van Vlissingen.

1.4

Leeswijzer

Als eerste zal het natuurlijk systeem beschreven worden met abiotiek en biotiek. Vervolgens de nationale en internationale resultaten van rekoloniatie monitoring voor zanderige bodems. Daarna volgt een overzicht van de resultaten met een evaluatie van mogelijke onderzoeksscenario's in relatie tot de maatschappelijke omgeving en te verwachte opbrengst voor mitigatie in uitvoering en effect-schatting.



Figuur 1 Overzicht van de suppletie hoeveelheden van afgelopen jaren, in tijd en ruimte.

2 Het natuurlijk systeem

Hier volgt een kort beschrijving van de zone van zandwinning en de nabije kustzone.

2.1 Water

Zandwinning vindt plaats in de zone tussen de doorgaande -20 m lijn en de 12 mijlsgrens. Het zoutgehalte wordt hier beïnvloed door de menging van het instromende zoute Atlantische water en het zoete water afkomstig van de rivieren. Vlak langs de Nederlandse kust is het zoutgehalte circa 28 tot 30 g/l, circa 25 km uit de kust ligt het zoutgehalte rond de 32 g/l. De zone is daarmee duidelijk onder invloed van de rivieren en daarmee nog onderdeel van de zogenaamde kustrivier. 's Winters is de temperatuur 7°C (Rees e.a., 2007).

"Het Nederlandse kustsysteem wordt in drie deelsystemen onderscheiden: de Waddenkust, de gesloten Hollandse kust en de Zeeuwse en Zuid-Hollandse Delta. De bodemligging en waterbeweging in het Nederlandse kustgebied veranderen continue, zowel door natuurlijke processen als door invloeden van de mens. Deze veranderingen vinden plaats op verschillende tijdschalen. Op middellange termijn (10-100 jaar) zijn stroming, golven en wind de belangrijkste krachten voor de natuurlijke processen. In de zone langs de Nederlandse kust waar de wingebieden zijn gepland (buiten de doorgaande NAP -20 dieptelijn) worden de waterstanden en stroomsnelheden gedomineerd door getij, wind en golven. De belangrijkste component van de (gemiddelde) waterbeweging in de wingebieden is de getijbeweging (periode circa 12 uur en 25 minuten) die twee maal per dag optreedt. Het getij is een lange golf van enkele honderden kilometers lengte die langs de Nederlandse kust van het zuiden naar het noorden loopt. Het getij kent een horizontale component (stroomsnelheid) en een verticale component (waterstand).

2.1.1 Waterstanden

De waterstanden worden dagelijks gemeten in diverse meetstations langs de Nederlandse kust. Langs de Nederlandse kust varieert de getijslag, dat wil zeggen het verschil tussen Gemiddeld Hoog Water (GHW) en Gemiddeld Laag Water (GLW). Bij Vlissingen bedragen het GHW en het GLW respectievelijk NAP +2,05 m en -1,81 m, bij IJmuiden zijn dit NAP + 0,97 m en -0,73 m, terwijl ze bij Delfzijl NAP +1,35 m en -1,64 m bedragen. De gemiddelde getijslag verloopt daarmee van 3,86 m bij Vlissingen naar 1,70 m bij IJmuiden tot weer 2,99 m bij Delfzijl. Deze gegevens zijn afkomstig uit de Getijtafels voor Nederland.

Bovengenoemde waarden zijn gemiddelde waarden. De maximale en minimale waterstanden variëren namelijk over een periode van 14 dagen, de doortij-springtijcyclus. Bij doortij is de getijslag kleiner dan gemiddeld en bij springtij juist groter dan gemiddeld. Binnen een getijperiode verloopt de waterstand dan niet geheel symmetrisch: het stijgen van de waterstand tijdens vloed verloopt iets sneller dan het dalen van de waterstand tijdens eb.

2.1.2 Stromingspatroon

De (dieptegemiddelde) getijstroomsnelheden zijn overwegend langs de kust gericht, bij vloed in noordoostelijke richting en bij eb in zuidwestelijke richting. In de richting

dwars op de kust (NW-ZO) zijn de stroomsnelheden gering. De gemiddelde getjstroomsnelheden tijdens eb en vloed zijn circa 0,8 m/s, waarbij de vloedsnelheid eveneens iets groter is dan de ebsnelheid. Tijdens springtij zijn de snelheden groter en bij doodtij kleiner. Binnen één getijperiode beweegt een waterdeeltje zich heen en weer over een afstand van circa 10 tot 20 km. Ongeveer een uur na hoogwater is in de bovenste waterlaag een maximale getijstroom in noordelijke richting. Na laagwater stroomt het water in tegenovergestelde richting, maar deze fase duurt langer en het water bereikt daarbij een wat lagere snelheid. Ook nabij de bodem is sprake van deze asymmetrie in stromingssnelheid. Hierdoor en door de overheersende zuidwestelijke wind loopt er een reststroom van ongeveer 0,05-0,1 m/s langs de kust in noordoostelijke richting. Dit betekent een getijgemiddelde restverplaatsing in noordoostelijke richting van 2 tot 4,5 km. In deze kustlangse reststroom stroomt rivierwater (en slib) vanuit het Haringvliet en de Nieuwe Waterweg over een breedte variërend van 15-40 km.

Gedetailleerde ADCP-metingen, verricht in 1992 op 20 m diep water 12 kilometer uit de kust bij Noordwijk, wijzen op noordwaarts (kustlangs) gerichte reststromingen die nabij de bodem zeer klein zijn ($< 0,01$ m/s tussen NAP -19 en NAP -11 meter) en toenemen tot $> 0,05$ m/s tussen NAP -11 en NAP -4 m. Factoren die leiden tot sterkere en minder uniforme reststromen zijn hoge afvoer van de Rijn en een noordwaarts gerichte wind. Zuidwaarts gerichte wind kan leiden tot een reststroom die zich tijdelijk in zuidelijke richting beweegt. De wind varieert in richting en snelheid, maar kent een jaargemiddelde resultante uit zuidwestelijke richting. De wind oefent een schuifkracht uit op het wateroppervlak. De bovenste waterlagen gaan daardoor (onder een kleine hoek) met de wind meebewegen, maar het effect dempt sterk uit met toenemende waterdiepte. De hierdoor veroorzaakte stroomsnelheden zijn in de orde van 1 à 2,5% van de windsnelheid. Bij wind loodrecht op de kust treedt een compenserende bodemstroom in tegengestelde richting op. Wind evenwijdig aan de kust kan de noordoostelijke stroomsnelheid versterken of verzwakken. Jaargemiddeld zorgt de windschuifspanning voor een resulterend noord(oost) gerichte stroming in de bovenlaag van de waterkolom van 0,07 tot 0,11 m/s.

Door de Rijn en Maas wordt rivierwater via de Maasmond en via het Haringvliet naar zee afgevoerd. Het zoete water uit de rivieren mengt zich in de Rijn-Maasmond met het zoute zeewater dat langs de bodem naar binnen dringt. Het relatief zoete water stroomt de zee op en omdat zoet water lichter is dan zout water ontstaan er verschillen in dichtheid. Deze dichtheidsverschillen drijven een stroming aan, waarbij relatief zoet water nabij het oppervlak in zeewaartse richting stroomt, terwijl relatief zout water nabij de bodem in landwaartse richting stroomt. De dichtheidsgradiënt zorgt ervoor dat er een netto kustwaarts gerichte stroming heerst. Uit metingen is een jaargemiddeld kustwaartse stroomsnelheid nabij de bodem afgeleid van circa 0,03 m/s. De zeewaarts gerichte component aan het oppervlak is zwak. Als gevolg hiervan worden aangevoerde nutriënten en zwevende stoffen hoofdzakelijk in de kustzone getransporteerd. Er wordt ook wel gesproken van de "kustrivier" met een hogere troebelheid dan daarbuiten. Omdat de dichtheidsgedreven stroming afhankelijk is van de aanvoer van zoet water, zal het effect seizoensafhankelijk zijn. In de winter/voorjaar wanneer de rivierafvoer het grootst is zal een grotere dichtheidsgradiënt ervoor zorgen dat de kustrivier smaller is dan in de zomer, wanneer de rivierafvoer een stuk kleiner is. Voor andere delen

van de kust, verder verwijderd van de Rijn-Maasmond, zijn deze verschijnselen van minder groot belang voor de waterbeweging.

In de nabije kustzone is de invloed van golven belangrijk. Door de geringe diepte vindt breking van inkomende golven plaats, waardoor een stroming langs de kust wordt aangedreven. Daarnaast wordt een circulatie dwars op de kust opgewekt, waarbij een kustwaartse stroming in de bovenlaag van de waterkolom optreedt en een zeewaartse stroming in de onderlaag.

2.1.3 *Zoutgehalte*

Het zoutgehalte in de Noordzee wordt beïnvloed door de menging van het instromende zoute Atlantische water en het zoete water afkomstig van de rivieren. Vlak langs de Nederlandse kust is het zoutgehalte circa 28 tot 30 g/l, circa 25 km uit de kust ligt het zoutgehalte rond de 32 g/l. Midden in de Noordzee is het zoutgehalte circa 35 g/l.

2.1.4 *Autonome ontwikkeling*

De gemiddelde waterstand zal de komende decennia langzaam toenemen als gevolg van de zeespiegelstijging. Zeespiegelstijging en mogelijke veranderingen in het windklimaat veroorzaken veranderingen in stromingspatronen en beïnvloeden daarmee de sedimentatie- en erosieprocessen langs de kust. Beleidsmatig wordt hier rekening mee gehouden (zie kustveiligheid) door het uitvoeren van suppletiewerkzaamheden." (grotendeels uit van Duin e.a., 2007)

2.2 **Morfologie**

2.2.1 *Zandtransport*

"Het transport van sediment langs de Nederlandse kust wordt bepaald door de waterbeweging en sedimentbeschikbaarheid, welke afhangen van getij, wind/golven en rivierafvoer. Uitwisseling tussen water en bodem is daarbij van groot belang. Bij sediment wordt onderscheid gemaakt in slib (tot 63 μm) en zand (tussen 63 μm en 2.000 μm). Zand heeft een minerale oorsprong en is niet-cohesief (niet bindend). Slib bestaat uit een mengsel van kleideeltjes (< 20 μm), silt (2 tot 63 μm) en organisch materiaal. De kleideeltjes zijn cohesief (bindend) en zorgen voor binding met de fijne siltdeeltjes. In het sedimenttransport wordt verder onderscheid gemaakt tussen transport nabij de bodem en transport van sediment hoger in de waterkolom. Golven spelen een belangrijke rol in de opwoeling van de deeltjes, terwijl het horizontale transport (op dieper water) hoofdzakelijk plaats vindt door stroming (aangedreven door het getij, de wind of door dichtheidsverschillen).

Het zand in het zoekgebied voor de wingebieden (het gebied tussen de doorgaande NAP -20 m dieptelijn en de 12-mijlsgrens) heeft een D50 waarde die globaal varieert van 200 tot 500 μm , met enkele uitschieters naar boven en beneden. In de zone tot de NAP -10 m dieptelijn is het zand continue in beweging als gevolg van getijstroming en golven. Zeewaarts van de NAP -10 m dieptelijn is er relatief weinig zandtransport en zeewaarts van de NAP -20 m dieptelijn is er nauwelijks zandtransport. Alleen gedurende storm is er zeewaarts van de NAP -20 m dieptelijn zand in beweging.

De grootte van het zandtransport wordt in ondiep water dicht bij de kust in grote mate bepaald door de opwoelende werking van golven. Hierdoor neemt de grootte

van zandtransporten nabij de kust toe. In de kustzone is de zandconcentratie nabij de bodem tientallen g/l bij een maximale vloed- of ebstroming. Dit kan bij stormcondities oplopen tot honderden g/l. In dieper water neemt de relatieve invloed van golven af en overheersen de getijstromen. In verband met de dominante vloedstroom, overheerst in dieper water het resulterende zandtransport van zuid naar noord. Dit verschil is mede afhankelijk van de asymmetrie in het verloop van de stroomsnelheid. De kritieke stroomsnelheid aan de bodem, waarbij het aanwezige zand in beweging kan komen, is circa 0,25 à 0,3 m/s. De afstand die zandkorrels door bodemtransport kunnen afleggen wordt geschat op 0,3 à 1 km per vloed- of ebperiode.

In suspensie kan een grotere afstand worden afgelegd (circa 10 km). Schattingen van het resulterende noord(oost)waartse transport, op grond van waarnemingen aan zandgolven, geulen en de kust zowel als modelberekeningen, leiden tot 15 (Scheveningen) à 45 m³/m jaar (Callantsoog) in 20 m waterdiepte. Belangrijke oorzaak voor de toename in transporten tussen Scheveningen en Callantsoog is de noordwaarts toenemende getij-asymmetrie. In de kustzone (rond de 10 m waterdiepte) bedraagt het transport 50 (Scheveningen) à 100 m³/m jaar (Callantsoog). In de brandingszone tot circa 8 m waterdiepte, waar golfopwoeling de transportgrootte domineert, is dit hoger. In dwarsrichting zijn de jaargemiddelde transporten op 20 m waterdiepte nog kleiner, tot maximaal 10 m³/m/jaar, kustwaarts gericht. Vanwege gebrek aan veldgegevens zijn de transportwaarden met grote onzekerheidsmarges omgeven. Aangezien de jaargemiddelde transporten gering zijn, vinden bodemveranderingen op diep water veel langzamer plaats dan in de ondiepe kustzone. Aanpassing van de bodemligging na (grootschalige) zandwinning zal dan ook minimaal vele tientallen jaren in beslag nemen." (Van Duin e.a. 2007)

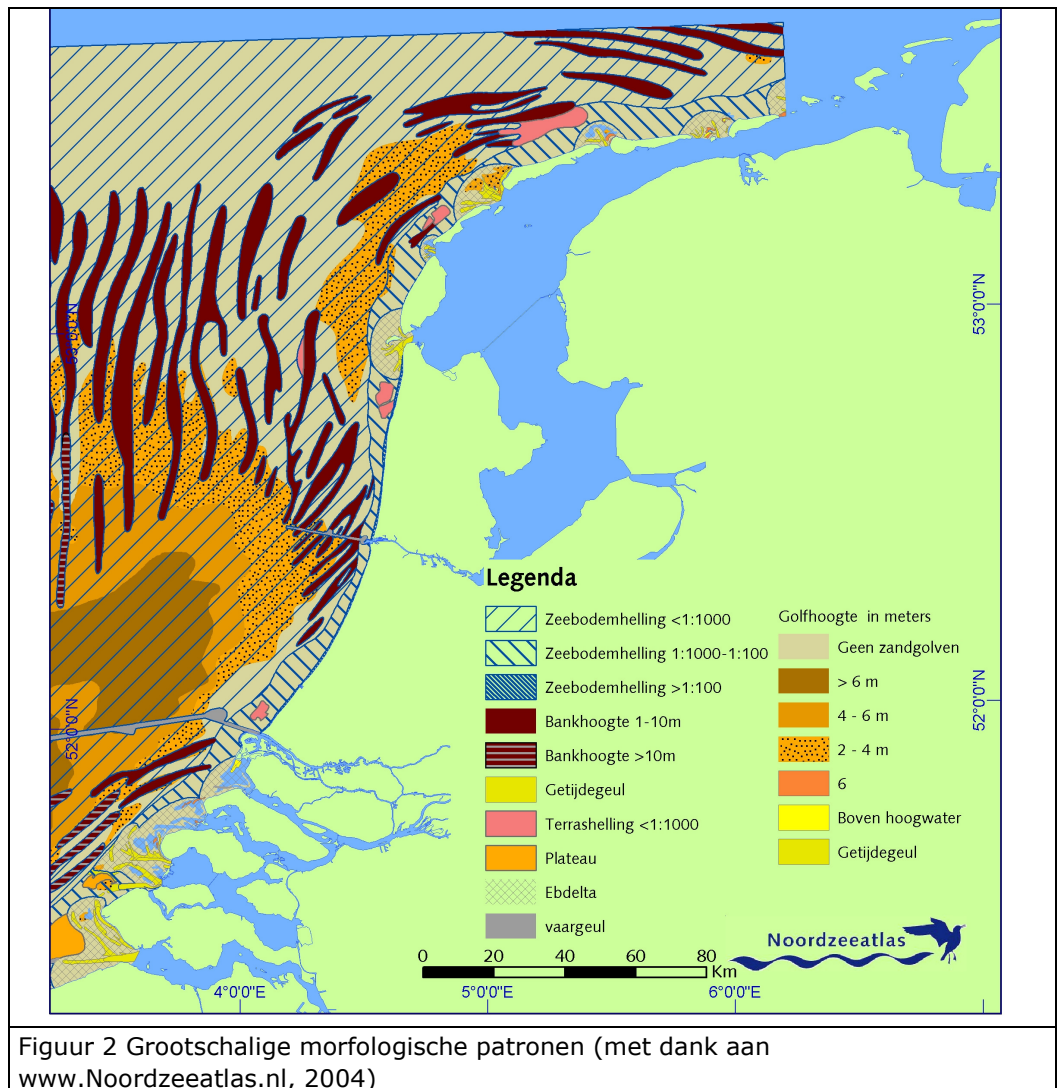
2.2.2 *Kleinschalig*

Het zand in het gebied tussen de doorgaande NAP -20 m dieptelijn en de 12-mijlsgrens, heeft een D50 waarde die globaal varieert van 200 tot 500 µm, met enkele uitschieters naar boven en beneden. Kijkend tussen de oogharen door is het gebied bij Zeeland/Voordelta grover (~300-450 µm), de Hollandse Kustboog wat fijner, (~200-400µm).; het gebied bij Texel van morene aard met zand van ~400-650µm) Daarna loopt het naar het noordoosten geleidelijk af naar de fijnere zanden boven Ameland en Schiermonnikoog (~200-250 µm)

Onder rustige omstandigheden is het zand hier stabiel. Alleen in de zone tot de NAP -10 m dieptelijn is het zand continue in beweging als gevolg van getijstroming en golven. Zeewaarts van de NAP -10 m dieptelijn is er relatief weinig zandtransport en zeewaarts van de NAP -20 m dieptelijn is er nauwelijks zandtransport. Alleen gedurende storm is er zeewaarts van de NAP -20 m dieptelijn zand in beweging.

2.2.3 *Grootschalige patronen*

Figuur 1 laat de grootschalige morfologische patronen zien: in het zuiden de grote Zeeuwse Banken, rivierwallen en relictten uit de IJstijden. In de Hollandse Kustboog relictief vlak met kleinere zandgolven. In het Noorden morene relictten en vlakker gebied.



Figuur 2 Grootschalige morfologische patronen (met dank aan www.Noordzeeatlas.nl, 2004)

2.2.4

Bodemvormen

"De zeebodem is aan verandering onderhevig. Deze verandering, welke valt binnen het dynamische evenwicht, wordt veroorzaakt door het optreden van gradiënten in het zandtransport op verschillende tijd- en ruimteschalen. Het gebied kan worden opgedeeld in:

- de eigenlijke zeebodem of shelf (de vlakke zone zeewaarts vanaf ongeveer NAP -15 meter);
- de vooroever (de hellende zone tussen NAP -15 m en NAP -8 m);
- de actieve zone (de zone tussen NAP -8 m tot NAP +3 m);
- de toegangsheuvel tot de havens van Rotterdam, Scheveningen en IJmuiden.

Het reliëf van de Noordzeebodem in/langs de kustzone is met name gevormd door mariene processen en sedimentafzettingen vanuit de rivieren. De menselijke invloed speelt op de Noordzee qua ruimtebeslag een zeer beperkte rol: het uitvoeren van baggerwerkzaamheden (om vaargeulen op diepte te houden), zandwinning, aanleg van de Maasvlakte (en binnenkort de uitbreiding) en aanleg van de Deltawerken. De

wingebieden liggen op de vlakke zeebodem (shelf) tussen de doorgaande NAP -20 m dieptelijn en de 12-mijlsgrens (zie kaart 1 in bijlage 1). In vergelijking met de vooroever en de actieve zone is de zeebodem tamelijk stabiel en vrijwel vlak (met een helling kleiner dan 1:1.000). De zeebodem gaat kustwaarts over in de sterker hellende vooroever. De overgang tussen zeebodem en vooroever ligt op circa NAP -20 m, nabij het centrale deel van de Nederlandse kust ligt de overgang op circa NAP -15 m. Afhankelijk van de locatie van het wingebied komen er flauw hellende zandbanken en/of steilere zandgolven voor (Figuur 2).

Zandgolven zijn kleinschaliger maar tevens mobieler dan de kilometers brede en tientallen kilometers lange zandbanken. Zandgolven bevinden zich op dieper water vanaf circa NAP -20 m en hebben een karakteristieke hoogte van 5-10 meter. De langwerpige toppen van zandgolven liggen gemiddeld op 200-350 m afstand, met variaties tussen de 100 en 500 m. De gemiddelde lange termijn verplaatsingssnelheid van zandgolven nabij de Nederlandse kust bedraagt 0 tot >10 m per jaar in noordwaartse richting. Lokaal zijn verplaatsingen van 10 m in 3 maanden gemeten. Zandgolven komen met name voor in het zuidelijk deel van de Nederlandse kust. De hoogte van de zandgolven neemt af van meer dan 6 m in het zuiden tot 2 m ter hoogte van Den Helder. Verder noordwaarts komen vrijwel geen zandgolven voor, met uitzondering van een gebied ter hoogte van Texel en Vlieland.

Zandbanken komen langs de hele westelijke kust van het zuidelijk Noordzeebekken voor, van Frankrijk tot de Waddeneilanden (Figuur 2). De lengte van zandbanken varieert van enkele tot tientallen kilometers, de breedte bedraagt veelal enkele kilometers. De zandbanken in het zuidelijk complex (de Zeeland Banken: Steenbanken, Middelbank en Schouwenbank (zie figuur 7.6)) liggen in dieper water (NAP -20 tot -30 m) dan die in het noordelijke complex (NAP -14 tot -20 m). De zandbanken in het zuidelijk complex hebben een hoogte van 4 tot 20 meter, de zandbanken in het noordelijk complex zijn 3 tot 6 m hoog. In beide complexen bevinden zich banken die met de onderwateroever zijn verbonden: de kustaangehechte banken. Dit is goed te zien bij het centrale deel van de Nederlandse kust. De oriëntatie van de zandbanken langs de kust is veelal zuidwest-noordoost, verder op zee is de oriëntatie noord-zuid (Figuur 2).

Van de grootschalige zandbanken kan niet met zekerheid vastgesteld worden of ze stabiel zijn of niet en of ze verplaatsen op een tijdschaal van decennia tot eeuwen. Op korte termijn (jaren) mogen de banken als stabiel verondersteld worden. Onderzoek heeft aangetoond dat de meeste van de Zeeuwse en Zuid-Hollandse banken al duizenden jaren stabiel zijn. De kustaangehechte banken verplaatsen zich tussen 0,5 en 1 m in de richting van de dominante vloedstroom noordwaarts.

Lokaal bevinden zich ook megaribbels. Deze bodemvormen met een golflengte van 5-15 m en een amplitude van circa 0,5-1,5 meter, zijn dynamischer dan zandgolven en veranderen tijdens stormen vaak van vorm. De migratie van megaribbels bedraagt soms tientallen meters per jaar. De meest kleinschalige bodemvormen (ribbels) reageren het meest direct op sturende hydrodynamische processen, maar worden daarnaast sterk beïnvloed door de boomkorvisserij. De vooroever en de actieve zone vertonen in vergelijking met de shelf een grote dynamiek. Dit is voornamelijk toe te schrijven aan een combinatie van golven en stroming. Binnen de actieve zone treedt het grootste sedimenttransport op en zijn de golfgedreven transporten het belangrijkste. Langs het grootste gedeelte van de Nederlandse kust

komen brandingsruggen (of brekerbanken) voor. Deze brandingsruggen zijn voortdurend in beweging, waarbij met name tijdens stormperiodes grote verplaatsingen optreden. " (kleine aanpassingen op van Duin e.a. 2007)

2.3

Slib

Gesuspendeerd slib in de waterkolom kent een hoge natuurlijke dynamiek in tijd en in ruimte. Onder rustige omstandigheden is meer dan 90% van het slib in de zandbodem geïncorporeerd. De bodem is normaliter het hoofdcompartiment. Windgolven, deining en getijstroming brengen de bovenste 5-30 cm van de bodem regelmatig in beweging. Het slib wervelt op en komt weer neer bij afnemende golfwerking. Vooral door golven met een significante hoogte boven 2,5 m wordt de bodem gemobiliseerd (met name 's winters). Bij rustig weer in het biologisch actieve seizoen wordt veel slib door biologische activiteit weer in de zandbodem vastgelegd (biofixatie) (Suijlen & Duin, 2001, Groenewold & Dankers, 2002, de Kok, pers. comm.).

Het slib in deze zone volgt een seizoensfluctuatie: 's Winters bevindt 1,5 tot 3 keer meer slib in de kustzone dan 's zomers. 's Winters zijn de concentraties gemiddeld 3 tot 10 mg/l off-shore. 's Zomers zijn deze gehalten 2-5 mg/l. Golven en getijstroming brengen het slib uit de bodem in suspensie, De belangrijkste oorzaak van dit seizoensverschil is opwerveling van bodemslib door de hogere en krachtigere golven in de winter. De zoet-zout gradiënt dwars op de kust (en het hiermee samenhangende dichtheidsverschil) veroorzaakt een bodemstroming die slib naar de kust transporteert. Ook speelt de hogere kinematische viscositeit door lagere watertemperatuur in de winter een rol. Dit beïnvloedt de settlement van het slib ($=T_{1/2}$), hoe stroperiger het water des te trager de settlement (Suijlen & Duin, 2001, de Kok, pers. comm.).

Het seizoensverschil in rivierwaterafvoer veroorzaakt ook seizoensverschillen in slib. 's Winters is dit effect van de kustrivier en kustdwarstransport sterker omdat er meer zoetwater is en de zoet : zout gradiënt daardoor een groter oppervlak beslaat.

2.3.1

Wat is slib

Slib is een verzamelnaam voor kleine deeltjes. In principe gaat het hierbij om alle deeltje van organische en anorganische aard $< 63\mu\text{m}$. Slib komt naar de Nederlands kustzone vanuit het kanaal van Dover, de Atlantische Oceaan, de Engelse kusten, de Belgische kust, de Nederlandse rivier armen en ook van al het fytoplankton (algen) die in de Zuidelijke bocht van de Noordzee geproduceerd worden (Groenewold & Dankers, 2002)

2.3.2

Gedrag bodem en slib op de bodem

De kustzone is een zeer dynamische omgeving. In de ondiepe kustzone wordt de bodem bijna continu beroerd door de getijstroming en golfactie (Laane e.a., 1999, Suijlen & Duin, 2001, Van Duin e.a., 2007, 2008). Het gevolg is dat slib regelmatig vanaf de bodem omhoog komt en er ook weer op neer daalt. Het slib krijgt geen kans om de bodem permanent te bedekken. Ook langdurige verhoogde sliblasten van een puntbron leiden niet tot de vorming van blijvende sliblagen op de bodem. Het slib wordt in deze dynamische zone dan wel in de bodem gecoöperend dan wel verder getransporteerd (Laane et al., 1999, Stutterheim, 2002, Van Duin e.a. 2007, 2008).

Bij rustig weer in de zomer wordt veel slib door biologische activiteit met de bovenste 30 cm van de zandbodem vermengd (bioturbatie) en vastgelegd (biofixatie) om er tijdens het stormseizoen weer uit te verdwijnen. Over de gemiddelde verblijftijd van slib in de zeebodem bestaat nog onzekerheid, maar genomen over grotere oppervlakken kan deze wel meerdere jaren bedragen.

2.3.3

Slib-dynamiek in de waterkolom

Gesuspendeerd slib in de waterkolom kent een hoge variabiliteit en dynamiek in tijd en in ruimte. De grotere slibdeeltjes en vlokken ($> 8 \mu$) hebben een zodanige valsnelheid dat ze zich gemiddeld dicht bij de bodem bevinden. Daar worden ze door een zoet-zout gedreven bodemstroming in de richting van de kust getransporteerd. Hierdoor zijn de slibconcentraties langs de kust altijd hoger en bestaat er dwars op de kust altijd een geprononceerde concentratiegradiënt. NB: dit fenomeen geldt vooral tot 10 km uit de kust. In de zone van zandwinning is deze kusttrivier wel merkbaar maar niet heel groot.

(a) Korte termijn fluctuatie

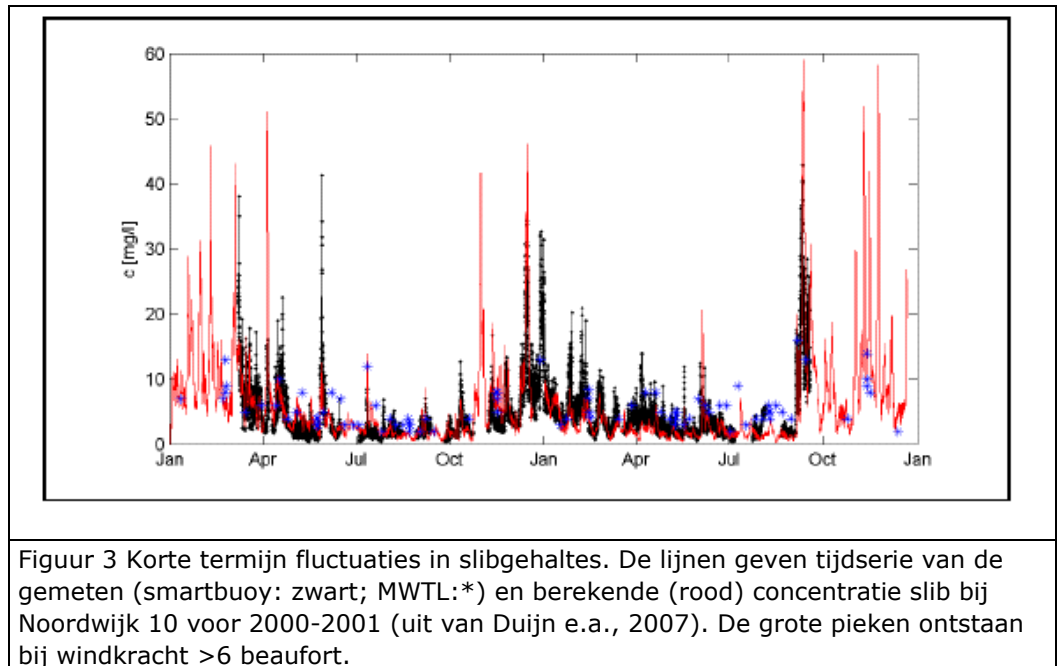
Slibconcentraties in het water variëren op diverse tijdschalen. Ten eerste is er de korte termijn fluctuatie door verandering in getijstroom en golven (bijvoorbeeld storm of springtij geïnduceerd). Door stormen kunnen ook 's zomers de concentraties oplopen tot >40 mg/l. Zo'n piek is na enige dagen weer verdwenen (Figuur 3, Suijlen & Duin, 2001). 's Winters kunnen door storm geïnduceerde pieken oplopen tot boven 500 mg/l aan het oppervlak en 10.000 mg/l vlak bij de bodem (de Kok, 2000, 2004).

(b) Lange termijn fluctuatie

Een lange termijn fluctuatie is de seizoensfluctuatie: 's Winters bevindt 1,5 tot 3 keer meer slib in de kustzone dan 's zomers. 's Winters zijn de concentraties gemiddeld tussen de 10 tot 30 mg/l slib in de kustzone en 3 tot 5 mg/l off-shore. 's Zomers zijn deze gehalten respectievelijk 10 om 2 mg/l (Figuur 4, Suijlen & Duin, 2001). De belangrijkste oorzaak is opwerveling van bodemslib door golven in de winter. In stormachtige winters is er meestal meer slib in suspensie dan in rustige winters, wat gezien wordt als de belangrijkste interannuele variatie.

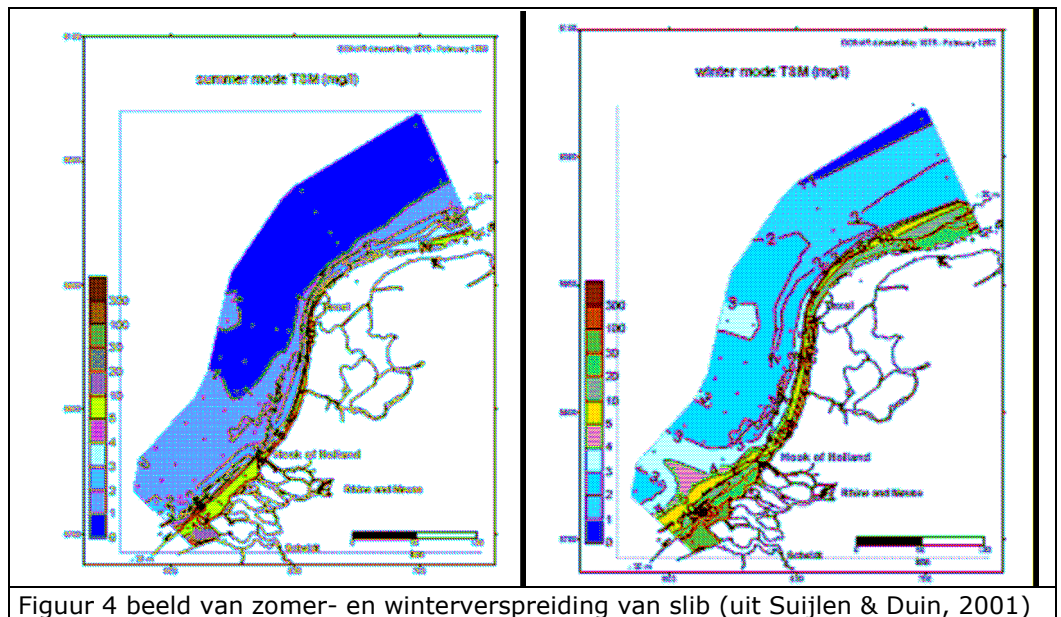
(c) Grootschalige dynamiek in ruimte

Zoals vermeld in de vorige sectie is er een kustdwarse gradiënt in slibgehalten die veroorzaakt wordt door de het samenklonteren van slib in de kustnabije zone van de kusttrivier.



(d) Kleinschalige dynamiek

Op lokaal niveau kunnen slibconcentraties beïnvloed worden door biofixatie (vastlegging in de bodem), maar ook door bioturbatie. Bioturbatie kan gevolgd worden door biofixatie, maar ook door resuspensie, afhankelijk van het betrokken organisme. Gravende amphipoden *Pontocrates*, *Bathyporeia*, *Haustorius*, de isopode *Eurydice pulchra* en de polychaeten (*Arenicola marina*, *Nephtys cirrosa*) verstoren het sediment. Ook de gravende activiteiten van crustacea, zoals garnalen en krabben, evenals de bodemberoering door (juvenile) platvissen hebben een destabiliserend effect. Duikende zeevogels (Zwarte Zee-eend) die in de bodem op zoek gaan naar voedsel, zoals *S. subtruncata*, woelen de bodem om." (Peletier & Jansen, 2004). Bioturbatie kan lokaal orde grootte 50 mg/l extra sediment in suspensie brengen of juist in het sediment brengen.



Figuur 4 beeld van zomer- en winterspreiding van slib (uit Suijlen & Duin, 2001)

2.4 Benthos

2.4.1 *Gradiënt kustdwars*

Voor benthos valt een eerste classificatie te maken in dwars op de kust en langs de kust. Het zandwin-beleid stelt dat kustdwars geen zand gewonnen mag worden binnen de doorgaande -20m NAP lijn. Langs de Hollandse kustboog behoort de zandwinzone tot de armste zones van de Noordzee (Daan & Mulder, 2006, Tempelman e.a. 2009). Tabel 1 laat zien dat de nabije Kustzone een zeer hoge biomassa kent en dat de zones meer zeewaarts beduidend armer zijn. De Zandwinzone is vanaf 10 km zeewaarts. De gemiddelde biomassa is ~20% van die van de kustzone. Nog verder zeewaarts (> 20 km) is de biomassa ~12% van de kustzone.

2.4.2 *Gradiënt kustlangs*

Ook kustlangs is een gradiënt waarneembaar. In het zuiden zijn de gemeenschappen arm in soorten, diversiteit en biomassa. De Waddenboog is rijker in dichtheid en diversiteit met name boven Ameland en Schiermonnikoog (Figuur 5, Craeymeersch e.a. 2008). Deze gradiënt komt overeen met de veranderingen in korrelgrootte.

Tabel 1 Kustdwars gradiënt van macrobenthos en enkele abiotische gegevens voor de Hollandse kust (van Scheppingen en Groenewold, 1990).

Afstand tot de kust	Kustgemeenschap		Offshore-gemeenschap			
	Vanaf ~-6 m tot 5 km		Overgangszone		Offshore-west	
	5 – circa 20 km		> circa 20 km			
	Dichtheid ²	Biomassa ¹	Dichtheid	Biomassa	Dichtheid	Biomassa
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	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%		1,4%		1,0%	

¹ biomassa in gram AVDG/m²

² dichtheid in n/m², exclusief juvenielen

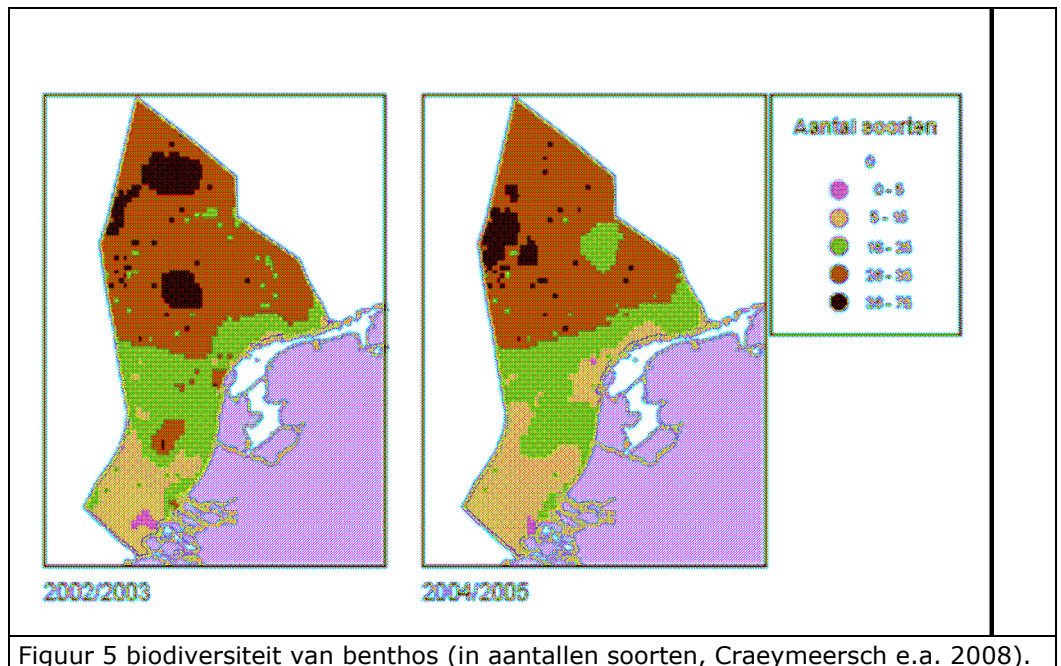
2.4.3

Gemeenschappen

Ondanks deze gradiënten in biomassa en diversiteit worden over het algemeen maar twee typen gemeenschappen onderscheiden: een kustgemeenschap en een Off-shore gemeenschap (Tabel 2, Figuur 6A, Holtmann e.a., 1996, Daan & Mulder, 2005, 2006, Lindeboom e.a. 2008, Tempelman e.a. 2009). De abiotische factor die deze twee gemeenschappen onderscheidt, is bodemschuifspanning als maat voor de impact van stroming en golven (Figuur 6B). De Kustgemeenschap ondervindt meer impact van de waterbeweging. Daarnaast is het ook duidelijk (Tabel 1) dat korrelgrootte, slibgehalte en algen (zie primaire productie in de MER Zandwinning 2008-2012) ook een belangrijke rol moeten spelen.

Op soortsniveau is de nabije kustzone rijk aan schelpdieren. In de zeevaartse zandwinzone is dat beduidend minder. In de nabije kustzone is een niche voor schelpbanken (Dankers, 2001). In de jaren 90 was dat de halfgeknotte strandschelp (*Spisula subtruncata*, Leopold e.a. 1993, Goudswaard e.a., 2008). Tegenwoordig wordt die niche ingenomen door de Amerikaanse Zwaardschede (*Ensis directus*, Goudswaard e.a., 2008).

De zone van zandwinning is vooral de Offshore gemeenschap zoals die vrijwel in de gehele zuidelijk bocht gevonden wordt (Holtmann e.a. 1996). Indien wat meer in detail naar deze zone kunnen wel subgemeenschappen worden aangewezen gekoppeld aan lokale kwaliteit; korrelgrootte, morfologie etc. Door de grotere diversiteit aan korrelgroottes van het sediment, stroming en beschutting tegen golfwerking, toppen en dalen van de banken is er eigenlijk een grotere diversiteit aan niches. Dit uit zich in ecologisch opzicht dat de bodemdiergemeenschappen op en nabij bijvoorbeeld de Voordelta steeds onderverdelen in de meer geaggregeerde Zuidelijke Bocht gemeenschap en Kustgemeenschap. Het morfologisch patroon van

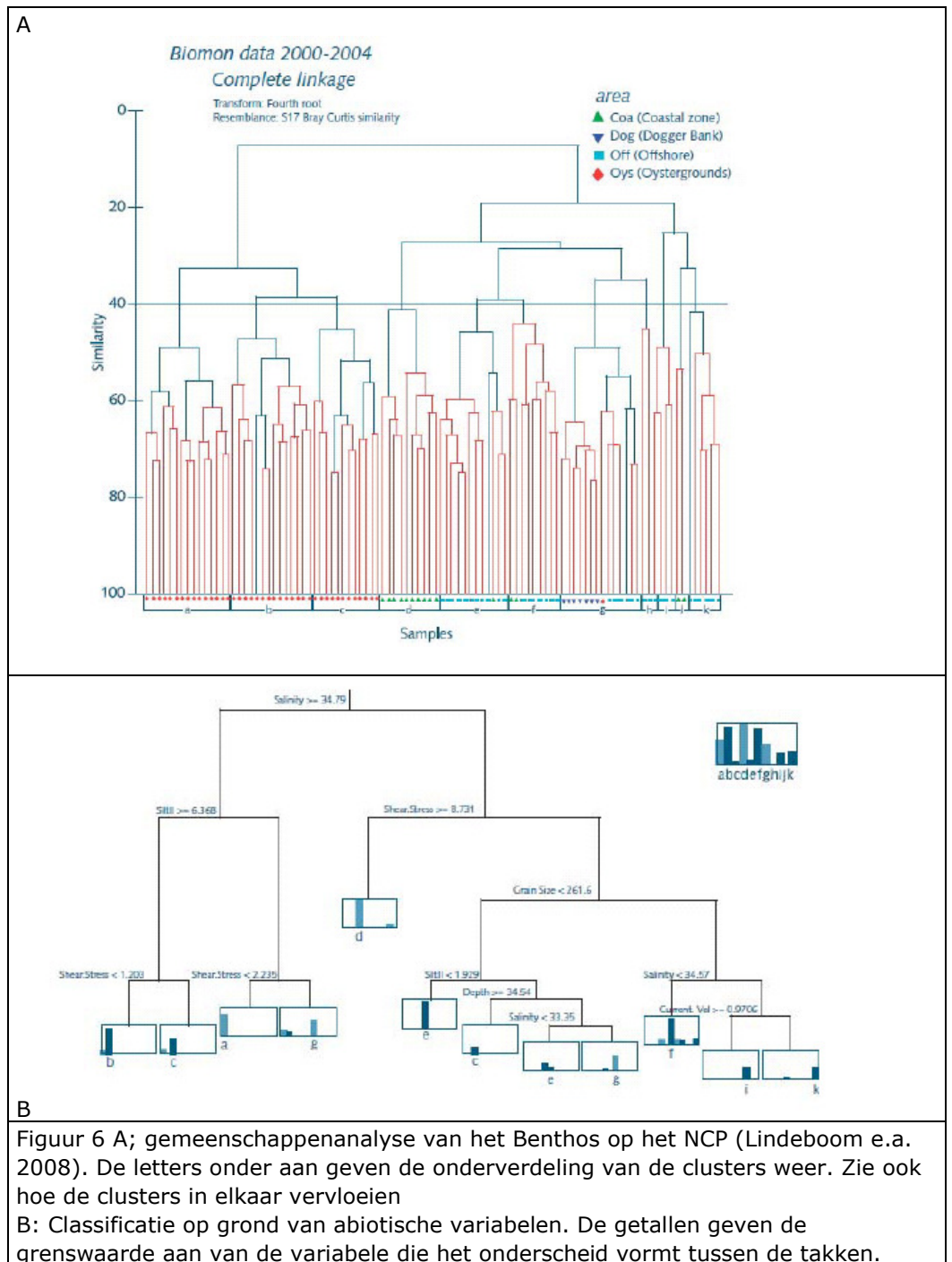


stroomgeulen, banken, toppen, dalen en afstand tot de kust wordt weerspiegeld in de gemeenschapspatronen. Het is wel belangrijk te realiseren dat al deze gemeenschappen in elkaar vervloeien en dat ze subvarianten (dochters) zijn van de geaggregeerde Zuidelijke Bocht gemeenschap en Kustgemeenschap. Soorten komen in meerdere gemeenschappen voor en rekolonisatie kan ook makkelijk vanuit andere gemeenschappen plaatsvinden (Tabel 2). Het is eerder de verschillende verhoudingen tussen soorten die verschillende gemeenschappen maakt dan dat het specifieke, unieke soorten zijn. Ecologisch gezien lijkt het complex niet wezenlijk anders dan de rest van de Zuidelijke bocht en de Kustzone (Craeymeersch e.a. 2006, Baptist e.a. 2006).

2.4.4

Gemeenschappelijkheid in gemeenschappen.

Wat zegt dat nu eigenlijk, gemeenschappen? Op verschillende stations en locaties wordt bemonsterd en wordt een op basis van het voorkomen van soorten (in aantallen, biomassa, al dan niet na transformaties) de mate van similariteit bepaald tussen stations. Via clustermethodes worden stations dan gegroepeerd in assemblages: gemeenschappen (zie bijvoorbeeld Figuur 6). Per gemeenschap wordt dan bepaald wat de belangrijkste soorten zijn (in aantal of biomassa) en wat specifieke, karakteriserende soorten zijn voor die gemeenschap (kensooten of indicatorsoorten). Afhankelijk van de auteur wordt de gemeenschap bepaald op ~40% gelijk (Lindeboom e.a., 2008), ~20% gelijk (Rees e.a. 2007) of juist hogere mate van similariteit (o.a Craeymeersch e.a. 2006). Gemeenschappen zijn 20 tot 40% gelijk, delen zeer veel soorten. Tabel 2 laat duidelijk zien dat eigenlijk alle belangrijke soorten in alle gemeenschappen voorkomen in een grote kwantitatieve spreiding getuigen de standaard deviatie van ~100%. Ze delen zelfs indicatorsoorten (van Hoey e.a., 2004,) vloeien zo in elkaar over (Figuur 8). Het gebeurt ook dat kensooten zelfs op sommige momenten niet voorkomen (Rachor & Nehmer, 2003)



Alle soorten hebben enorme verspreidingsgebieden op schaal van de Noordzee zelf (Holtzmann e.a., 1996, Degraer e.a. 2006, Rees e.a., 2007, Lindeboom e.a., 2008), gekoppeld met enorme potentiële verspreiding door de larvale fase in de voortplanting (~100 km per cyclus, Armonies, 2001, Newell e.a. 1998, 2004, 2006, Levin 2006, sectie 2.4.7). Tabel 3 laat zien dat bijna alle soorten lange planktonische fases kennen die zorgen voor een enorm verspreidingspotentieel.

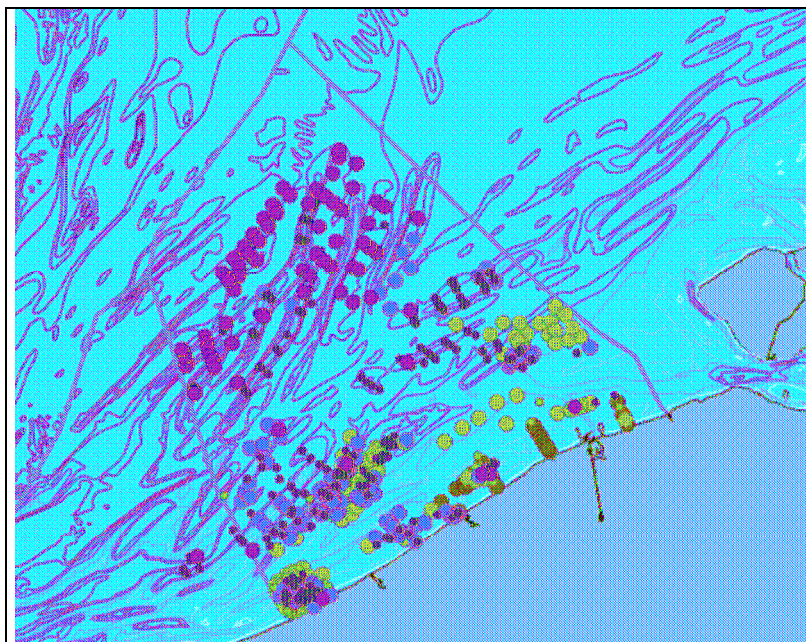
Eigenlijk zou je kunnen stellen dat door de overlap in soorten, enorme verspreidingsgebieden en grootschalig verspreiding bij voortplanting het niveau van gemeenschap eigenlijk niet zo relevant is voor wat betreft rekoloniatie. Het lijkt beter in regio's te denken al dan niet en ingedeeld naar zeestromingsregio's. De similariteitsniveaus van Rees e.a. (2007) lijken daarmee niet eens zo gek. Deze plaatjes laten een grootschalig verdeling zien meer op basis van de macrostructuur van de Noordzee (Figuur 9). Binnen deze grootschalig verdeling zou je kunnen stellen dat per regio de gemeenschappen allemaal hetzelfde zijn op lokale verschillen na, veroorzaakt door lokale verschillen in korrelgrootte (Armonies, 2001). Alles komt overal en de lokale omstandigheden in samenwerking met de toevallige lokale dynamiek in abiotisch (lokale en regionale) extreme gebeurtenissen bepalen wat met er overleefd.

2.4.5

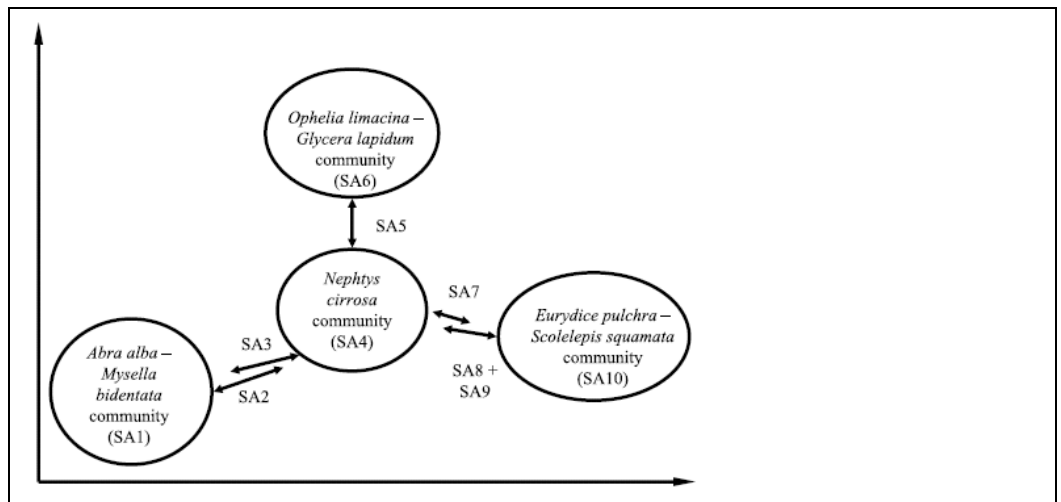
Vlaamse banken model voor Zeeuwse Banken?

Voor de Zeeuwse banken zijn weinig bestandopnames gemaakt. De gepostuleerde gemeenschappen zijn vooral extrapolatie van omringende MWTL monsters. Een onlangs uitgevoerde bemonstering liet zien dat daar waar Steenbanken en Middelbank samenkomen een zeer arme gemeenschap aanwezig is (Goudswaard & Perdon, 2009).

Op het naburige Belgisch gedeelte is meer onderzoek gedaan. De daar aangetroffen



Figuur 7 "Vier macrobenthische gemeenschappen worden algemeen in het Belgisch deel van de Noordzee waargenomen. Ze vertonen elk een specifiek verspreidingspatroon en gaan geleidelijk in elkaar over via overgangsassociaties. Grote stippen: Paars, *Ophelia limacina* – *Glycera lapidum* gemeenschap; Licht blauw, *Nephtys cirrosa* gemeenschap; Geel, *Abra alba* – *Mysella bidentata* gemeenschap; Rood, *Macoma balthica* gemeenschap. Kleine stippen: Groen, overgangsassociatie *A. alba* – *M. bidentata* gemeenschap naar *N. cirrosa* gemeenschap; Donker blauw, overgangsassociatie *N. cirrosa* gemeenschap naar *O. limacina* – *G. lapidum* gemeenschap" (van Hoey e.a., 2004, Degraer e.a., 2006).



Figuur 8 Schematisch overzicht hoe gemeenschappen in elkaar vervloeien via overgangsgemeenschappen (van Hoey e.a., 2004).

gemeenschappen kunnen geordend worden langs een gradiënt van grof naar fijn sediment en worden elk in een typische zone van het BNZ gevonden (Figuur 7). De meest vergelijkbare zone lijkt zo ~10-25 km uit de kust te zijn. In grofzandige sedimenten, wordt de *Ophelia limacina - Glycera lapidum* gemeenschap gevonden. Deze gemeenschap wordt gekenmerkt door een zeer lage soortenrijkdom en dichtheid. Een tweede relevante gemeenschap lijkt *Nephtys cirrosa* gemeenschap te zijn. Deze komt voor in iets fijnzanderige sedimenten en heeft een gelijkaardige soortenrijkdom en dichtheid. Daarnaast zijn er ook wel plekken met de zogenaamde overgangsgemeenschap tussen de *Ophelia* en *Nephtys* gemeenschap. (Degraer e.a. 2006).

Maar hoe representatief is het Belgisch gedeelte? Rees e.a. (2007, bijlages) laten bijvoorbeeld zien dat de Belgische Kust een andere soorten samenstelling heeft dan de Nederlandse Kustzone: bijvoorbeeld veel meer Witte Dunschaal (*Abra alba*) schelpkokerworm (*Laniche conchilega*), de polychaeten *Ophelia borealis* en *Glycera lapidum*, Dwergzee-egel (*Echinoyamus pusillus*) terwijl de slibgehalten in de beide kustzones ongeveer gelijk zijn. Qua Benthos lijkt het echt anders. Het kan duiden op een wezenlijk andere omgeving voor de Belgische kust. Het ligt natuurlijk ook dicht bij het Kanaal en raakt daarmee een andere klimaatzone. Daarnaast kan de Schelde ook als een soort barrière werken. Er ligt daar vaak een langdurig Neer van zoetwater (J. de Kok, pers. comm.), die kan heel bepalend zijn. Opvallend genoeg komen Witte Dunschaal (*Abra alba*) en schelpkokerworm (*Laniche conchilega*) ook veel voor onder Maasvlakte 1, bij de monding van het Haringvliet (Rees e.a., 2007) waar je ook een neer zou verwachten. Het is onduidelijk of de Vlaamse Banken en Zeeuwse Banken hetzelfde zijn

2.4.6

Rekolonisatie

Rekolonisatie van de benthische fauna kan gebeuren langs vier wegen (van Dalfts en Essink, 2001, Essink, 2005, Speybroeck e.a. 2006, 2008):

1. overleven van de suppletie/winning van voordien aanwezige organismen: in het geval van winnen weinig waarschijnlijk. Voor suppleren wordt deze vorm van rekolonisatie vooral gestuurd door de dikte van de laag in relatie tot graafvermogens van de bedolven dieren. Eigenlijk zijn de suppletie lagen

dermate dik dat het weinig voor kan stellen (zie bv ook de resultaten van Mulder, 2004). Bijkerk (1998) laat zien dat de overlevingsmogelijkheden van bodemdieren beperkt zijn. Een laag van meer dan 50-60 cm wordt waarschijnlijk niet overleefd.

2. migratie: organismen koloniseren (adulten): dit geldt vooral voor wormachtigen en crustacea. Eén-jarige kleine *Donax* schelpdieren migreerden al bijna niet meer (van Dalftsen & Essink, 2001, Essink, 2001, Speybroeck e.a., 2006). Groot kan deze bijdrage niet zijn. Leeftijdsstructuur en populatie opbouw getuigen over het algemeen van recruitment en niet van migratie (Essink, 1997, Van Dalftsen e.a. 1999, 2000). Al met al lijkt dit een bijdrage te kunnen leveren maar niet van doorslaggevend betekenis te zijn. Strokenwinning lijkt in dit opzicht daarom niet zinvol.
3. import van dieren meegevoerd met het nieuwe materiaal. Ook hier speelt het graafvermogen in relatie tot de dikte van de laag een belangrijke rol. Ook hier kan gesteld worden dat het niet veel voorkomt maar bv in een Nederlandse proef (Heemskerk) wel duidelijk aanwijsbaar was (van Dalftsen e.a., 1999).
4. rekrutering: influx van jonge stadia uit naburige populaties door middel van dispersie (Levin, 2006, McQuaid e.a., 2000). Hier hoort ook resettlement bij van kleine schelpdieren (jaarklasse-0) die migreren naar betere lokaties (Armonies, 1996). Volgens Boyd & Rees (2003) is rekrutering de voornaamste vorm van rekolonisatie. Sectie 2.4.7 zal meer toelichting geven op deze vorm.

2.4.7 *Rekrutering door voortplanting en dispersie van macrobenthos*

In de kustgebieden planten wormen en schelpdieren zich vaak voort door in het water hun gameten los te laten (Tabel 3). Buiten in het water vindt de bevruchting plaats. De eieren ontwikkelen zich dan via verschillende stadia tot een juveniel die zich neerzet. In het begin, als er nog geen zwemorganen zijn, is dat passief en worden ze al zwevend door de stroming meegevoerd. Op een gegeven moment ontstaan deze organen wel en kunnen ze zich met name verticaal in de waterkolom gaan bewegen. Hierbij kan dag:nacht ritmiek een belangrijke rol spelen om predatoren te ontlopen maar ook getij of andere waterbeweging om een specifieke stroming op te zoek (Rozemeijer, 1999, Bos, 2005, Levin, 2006). Door bijvoorbeeld mee te gaan met een specifiek getij kan per gereisde getijslag 10 km gewonnen worden. De uiteindelijk gevormde larven zwerven enkele dagen tot maanden rond voordat ze zich vestigen en aan hun volwassen leven beginnen. Gedurende deze pelagische fase sterven zeer veel larven door dichtheidsafhankelijke en -onafhankelijke processen (predatie, voedselbeschikbaarheid, natuurlijke sterfte).

De afstand die ze dan hebben afgelegd is variabel. Voor *Ensis directus* gelden afstanden van 125 met de vloed mee en zelfs 75 km met de ebstroom (Armonies, 2001). Voor andere soorten gelden dergelijke afstanden ook. Er is vooral een sterke relatie tussen de duur van de pelagische fase en de afgelegde afstanden (Figuur 10, McQuaid & Phillips, 2002, Levin, 2006).

Als ze voldoende ver ontwikkeld zijn, settelen de larven op de bodem. Vaak is dat in enorme hoeveelheden zodat de gemiddelde winterpopulatie verdrie- of zelfs verviervoudigd (Reisse & Kröncke, 2005). Ook daar vindt weer een selectieproces

plaats dat zowel dichtheidsafhankelijk als –onafhankelijk is. In de winter is de gemeenschap dan ook weer op een gemiddeld winterbestand.

2.4.8

Mechanisme van voortplanting als kwetsbaarheidsindex

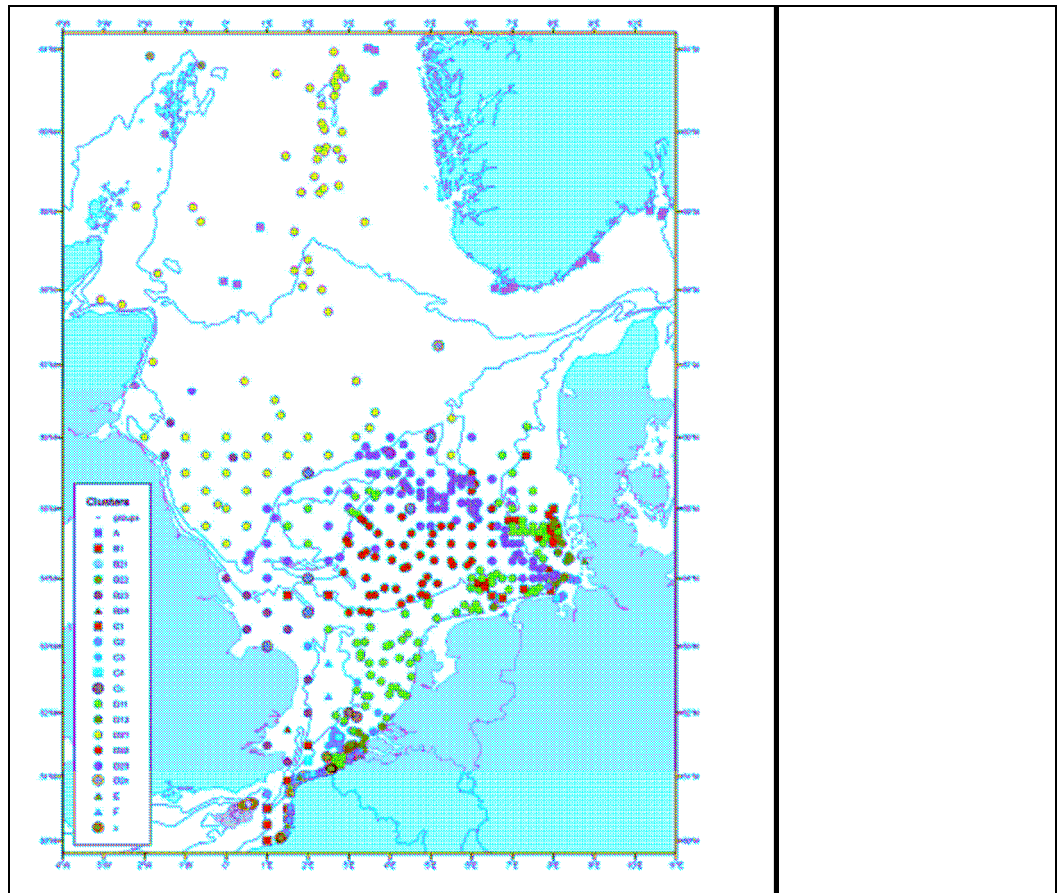
Newell e.a. (2006) hebben een afwegingskader (kwetsbaarheidsindex) ontwikkeld om soorten (en daarmee indirect ook gemeenschappen in te schalen op rekolonisatie potentie. Figuur 11 geeft een overzicht van de 6 factoren die betrokken zijn in deze indexering:

- Grootte
- Vruchtbaarheid
- Levensduur
- Leeftijd van geslachtsrijpheid
- Larvale modus
- Mobiliteit van de adulten

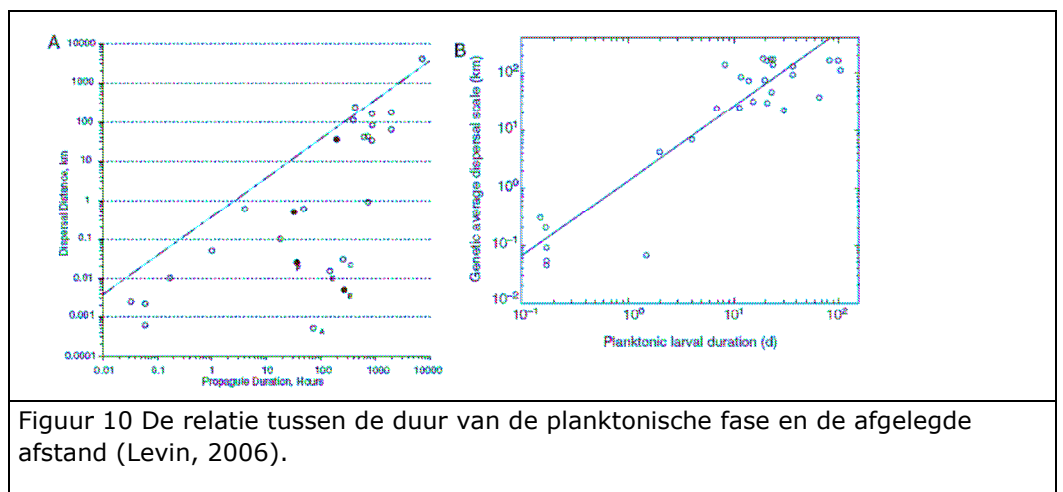
Volgens dit schema is bijvoorbeeld de Gammaride *Leptocheirus spp* enigszins kwetsbaar omdat deze soort geen pelagische larvale fase heeft en ook weinig broedt. Je kunt je afvragen of de mobiliteit juist ligt in de adulte fase. De gammariden zijn klein en kunnen makkelijk meegenomen worden in de stroming. Booyd & Rees (2003) en Gilkinson e.a. (2005) zagen bijvoorbeeld Amphipoda (een Gammaride soort) als de eerste rekolonisatoren. De heremietkreeft is daarentegen weer veel minder kwetsbaar omdat er veel larven zijn met een pelagische fase (Newell e.a., 2006).

Het lijkt een toepasbaar frame wat met de juiste nuancering en afweging gebruikt moet worden. Kwetsbaarheid lijkt enigszins overschat als mobiliteit van het adulte dier niet meegenomen wordt.

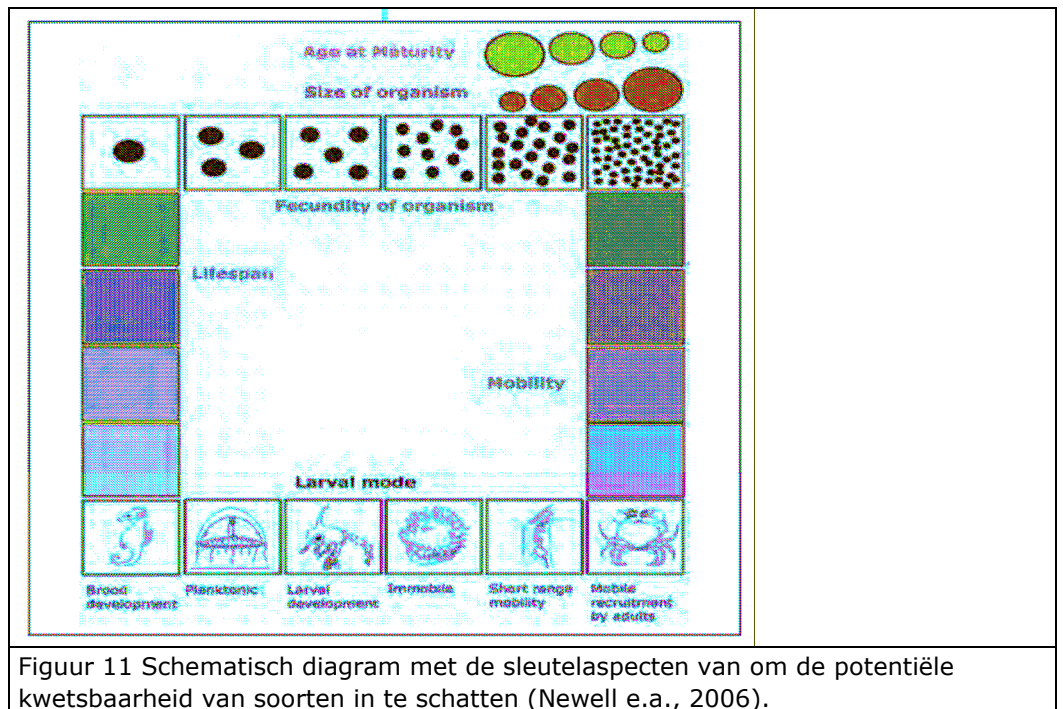
Een dergelijke kwetsbaarindex kan ook voor gemeenschappen aangemaakt worden door bijvoorbeeld de indicatorsoorten en de kwantitatief belangrijke soorten op die manier te karakteriseren. De soorten in Tabel 2 behoren niet tot de potentieel kwetsbare soorten. Het zijn bijna allemaal soorten met een lange pelagische larvale fase (Tabel 3). Aanvoer van larven kan altijd en overal vandaan gebeuren. De gemeenschappen in de kustzone en op het NCP lijken robuust voor zandwinning op de huidige schaal (voor suppleties, ophoogzand en grote initiatieven, zie ook hoofdstuk 5 en Tabel 5).



Figuur 9 Distributie van gemeenschappen in de Noordzee in 2000 volgens de group-average cluster analyse (uit Rees e.a., 2007).



Figuur 10 De relatie tussen de duur van de planktonische fase en de afgelegde afstand (Levin, 2006).



Figuur 11 Schematisch diagram met de sleutelaspecten van om de potentiële kwetsbaarheid van soorten in te schatten (Newell e.a., 2006).

Tabel 2 Karakterisering van de macrobenthos gemeenschappen (volgens Holtmann e.a. 1996).														
	Oyster Ground		Frisian Front		Oyster ground Southern Dogger Bank				Southern Bight Dogger Bank		Coast		Voordelta	
Assemblage	1		2		3		4		5		6		7	
Macrobenthos species (ind/m ²)	mean	std.	mean	std.	mean	std.	mean	std.	mean	std.	mean	std.	mean	std.
<i>Amphiura filiformis</i>	483	445	1048	750	922	490	560	738	11	9	-	-		
<i>Bathyporeia guilliamsoniana</i>					7	11		5	52	71	24	19		
<i>Callianassa subterranea</i>	88	47	156	77	42	32	42	31	9	21				
<i>Chaetopterus variopedatus</i>	71	81	42	42	6	9	8	10	7	6				
<i>Corophium volutator</i>									15			-	191	324
<i>Eudorellopsis deformis</i>	3		59		51	52	5	7	9	5				
<i>Glycera rouxii</i>	312	295	35	28	8	6	3	-	3					
<i>Harpinia antennaria</i>	39	24	62	45	65	39	22	24	1	1				
<i>Lumbrineris latreilli</i>	42	46	124	83	17	-	31	60	4	4	1	0		
<i>Macoma balthica</i>									59	95	225	375	74	
<i>Magelona papillicornis</i>	6	7	19	6	86	33	256	377	399	1128	530	1653		
<i>Mysella bidentata</i>	83	80	574	514	536	329	482	565	29	31	100	130		
<i>Nephtys cirrosa</i>	15	-	32	13	8	10	37	8	86	62	61	41		
<i>Nephtys hombergii</i>	24	9	27	21	31	16	72	27	28	30	78	62	29	
<i>Pholoe minuta</i>	21	7	87	93	117	73	99	96	10	13	19	18		
<i>Scoloplos armiger</i>	5		54	33	52	43	10	13	65	118	82	110	15	
<i>Spiophanes bombyx</i>	37	11	184	702	52	48	984	1134	721	2360	428	1984		
<i>Spisula subtruncata</i>					3	1	2		454	1205	768	1239		
<i>Tellina fabula</i>	4		59	44	9	12	96	153	79	113	145	171		
<i>Urothoe poseidonis</i>			15		27		13	24	231	359	391	530		

Tabel 3 Overzicht van de manier van voorplanten van de belangrijkste macrobenthos soorten uit Tabel 2 (Holtmann e.a., 1996).					
soort	periode	piek	Duur pelagische fase	area	ref
<i>Amphiura filiformis</i>	Juli--oktober				H
<i>Bathyporeia guilliamsoniana</i>	Voorjaar-augustus	Voorjaar			H
<i>Callianassa subterranea</i>	Lente-zomer		4 weken en bentisch		M
<i>Chaetopterus variopedatus</i>			Plantonisch kort	Friese Front	M H
<i>Corophium volutator</i>	Maart-mei Juni-september	mei	bentisch	kust	M
<i>Eudorellopsis deformis</i>	?				
<i>Glycera rouxii</i>	Herfts				H
<i>Harpinia antennaria</i>					
<i>Lumbrineris latreilli</i>			Niet pelagisch	Friese Front	H
<i>Macoma balthica</i>	februari-mei + herfst	Februari mei	8 weken		H
<i>Magelona papillicornis</i>	April-oktober	April-augustus			H
<i>Mysella bidentata</i>	Juni-november		4 weken		H
<i>Nephtys cirrosa</i>	Maart + augustus				H
<i>Nephtys hombergii</i>	April-juni				H
<i>Pholoe minuta</i>	Lente-zomer				H
<i>Scoloplos armiger</i>	lente		Kort / bentisch	Kust en Zuidelijke Bocht	H
<i>Spiophanes bombyx</i>	April-december	Mei-juni Augustus-september			H
<i>Spisula subtruncata</i>	Winter-lente		lang		H
<i>Tellina fabula</i>	Maart-september				H
<i>Urothoe poseidonis</i>					

H: Holtmann e.a. 1996

M: <http://www.marlin.ac.uk/BIOTIC/>

3 Overzicht bestaand onderzoek

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de onderzoeken die zijn uitgevoerd beginnende bij de Nederlandse situatie en vervolgens gelijkwaardige situaties in het buitenland. Bij de Nederlandse situatie worden ook onderzoeken naar gelijkwaardige processen als loswallen en suppleties betrokken. Naar aanleiding van de literatuur is het gewenst een tal fases in rekolonisatie te definiëren die staan voor een bepaalde mate van herstel. Dit zijn:

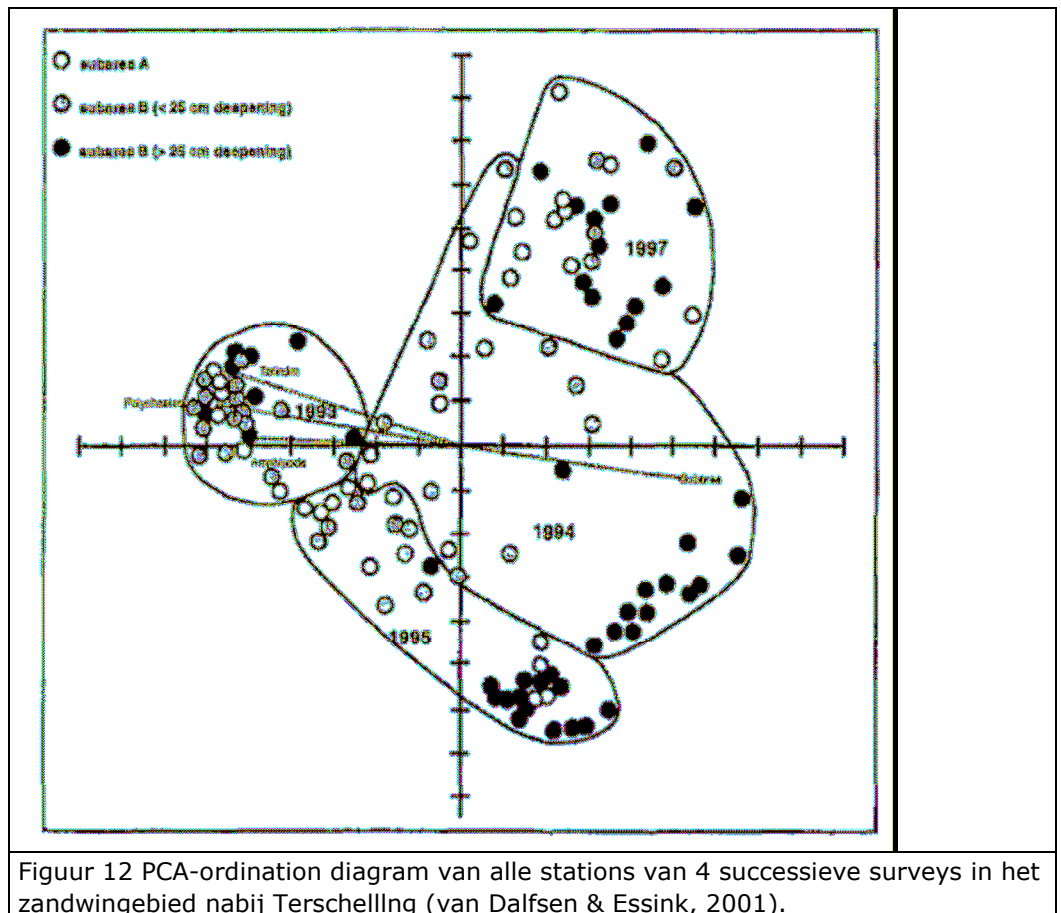
- Overleving originele soorten
- Kolonisatie door r-strategen zoals wormen
- Herstel abundantie
- Herstel diversiteit
- Herstel biomassa
- Herstel leeftijd opbouw
- Herstel gemeenschap

Per locatie zal de rekolonisatie volgens dit schema besproken worden.

3.1 Terschelling: winning

In 1993 werd een onderzoek bij Terschelling gestart in kader van het Europese project RIACON (van Dalen & Essink, 1997, Essink & van Dalen, 1997). Uit de winlocatie werd 2,5 Mil³ gewonnen. Op basis van de verandering in diepteprofiel werd in het wingebed een referentie stuk aangewezen waar waarschijnlijk niets gewonnen was en een gebied waar duidelijk gewonnen was. Ook de site van suppletie werd onderzocht waarbij de referentie naast de suppletie plek lag.

De korrelgrootte veranderde enigszins naar een grotere korrel. De rekolonisatie door r-strategen (polychaeten en Crustacea) verliep snel in aantallen maar wat trager in biomassa. Ook de diversiteit herstelde zich snel al was de onderlinge verdeling van de soorten verschillend tussen het referentie-gebied en het herstellende gebied. In het laatste jaar (1997) was het onduidelijk of de leeftijd opbouw zich hersteld had. In beide gebieden kon onvoldoende aan leeftijdopbouw gemeten worden om daarover uitspraken te doen .



Opvallend was vooral de ontwikkeling op gemeenschapsniveau. Het referentie gebied bleek zeer dynamisch in zowel aantallen, biomassa en ook gemeenschapstructuur (zie Figuur 12). In gemeenschapsanalyses door de jaren heen bleken referentiegebieden en rekoloniatiegebieden ook vaak samen te clusteren. Uiteindelijk zijn de gemeenschappen in het vierde jaar gelijkwaardig. Deze patronen en ontwikkelingen waren echter volgens van Dalftsen & Essink, (1997) gelijkwaardig met wat men aan ontwikkelingen ziet in de kustgemeenschap en de off-shore gemeenschap op dat moment en in het algemeen (zie ook de vervolg secties).

Als kennisleemte bestaat nog de herstel van leeftijdopbouw. De waarnemingen waren te laag in aantal om iets te kunnen zeggen. Daarnaast had een 5^e jaar een welkome aanvulling op de gemeenschapsanalyse gegeven.

3.2 Terschelling: vooroeversuppletie

Tussen april en november 1993 is 2.3 milM³ zand gestort op de vooroever van Terschelling (Van Dalftsen & Oosterbaan, 1995). Bij deze suppletie werd een trog gevuld tussen de buitenste brekerbank en de middelste. Gedurende 18 maanden werd de rekolonisatie gevolgd. Het nieuwe profiel bleef gedurende die periode in stand. Er werd een T0 opname gedaan (vlak voor de start), een T1 direct na beëindiging van de suppletie en een T3 (anderhalf jaar later).

Na anderhalf jaar was in de referentiegebieden de biomassa sterk gestegen door toename aan mollusken. In de suppletiegebieden was de biomassa en wormen gelijk aan de referentiewaarden en liepen de mollusken iets achter op de referentie. De biomassawaarden van de T3 waren wel hoger dan de T0 in de suppletiegebieden. De verschillen van de T3 suppletie en referentie waren niet groot meer.

Op gemeenschapsniveau was opvallend dat er in de referentie geen duidelijke trog-gemeenschap en buitenste brekerbankgemeenschap was. De vier aangetroffen gemeenschappen zijn evenwichtig verspreid over de beide zones. In het rekolonisatie gebied valt wel een soort zonering te vinden in een en buitenste brekerbank, een gevulde trog-zone en een middenbank zone. Echter deze grenzen zijn niet hard en er is duidelijke overlap aanwijsbaar. Van Dalen & Oosterbaan, (1995) concluderen dan ook dat het herstel na rekolonisatie nagenoeg volledig is.

Al met al zijn de gemeenschappen dynamisch in ruimte en tijd. De rekolonisatie is vlot en na anderhalf jaar is het herstel nagenoeg volledig. Er had een extra monsterpunt in de tijd kunnen zijn bv nazomer jaar daarop om het volledig te maken.

3.3 Punaise proef Heemskerk (suppleren)

Ter hoogte van Heemskerk is een alternatieve suppletie methode uitgetoetst met tijdelijke overslagput in de ondiepe vooroever waarin een stationair zuig/perssysteem werd geplaatst (van Dalen e.a. 1999). Tijdens de suppletiewerkzaamheden werd zand door hopperzuigers aangevoerd en gestort in de put die dan als overslagput/depot functioneert. Na beëindiging van de werkzaamheden werd de put afgevuld. In principe is deze proef een soort herstelproef na suppleren maar dan op iets dieper water (-7.5 m NAP).

In mei 1996 werden T0 metingen gedaan in het gebied van overslag en een referentie meting. Vervolgens is in januari 1997 (T1, na afvullen put), mei 1997 (T2) en april 1998 (T3) bemonsterd.

Direct na de stort bleek dat veel *Spisula subtruncata* en andere dieren uit het wingebed werden aangetroffen in het rekolonisatiegebied. Deze hadden de winning en storting overleefd. Naderhand werd het gebied snel gerekoloniseerd door wormen en schelpdieren. Crustacea bleven merkwaardig genoeg achter in ontwikkeling. Na anderhalf jaar waren biomassa's, en aantallen nagenoeg gelijkwaardig en soms zelfs beter dan de referentieplek. De leeftijdopbouw geeft een vertekend beeld door de import van grote hoeveelheden *Spisula* met het vullen van de put. Qua gemeenschappen valt op dat de referentieplek zijn eigen dynamiek heeft en dat er een glijdende ontwikkeling is te zien van T0, T1, T2 en dan een grote sprong naar een zeer verschillende T3. De T3 van de rekolonisatie plek is toch al dichtbij de T3 van de referentieplek. Opvallend is weer dat de gemeenschapsontwikkelingen gelijk op gaan met ontwikkelingen verder in de kustzone.

Als vervolg onderzoek werd aanvullende meetpunten in de tijd voorgesteld (wat gezien de kort duur 1.5 jaar ten opzichte van de eerder genoemde vier jaar van Terschelling niet raar is).

Bij het storten werden ook veel *Spisula* verplaatst naar het gebied: in feite inzaaien en actief rekoloniseren/herstel. Het geeft wel een aantal bedenkingen. Uiteindelijk is een gemeenschap ter plekke een resultaat van kleine lokale, mogelijk bepalende, gradiënten en dominante, grootschalige processen. Inzaaiing levert wel meteen een gemeenschap met een leeftijdopbouw maar zorgt ook dat de gemeenschap anders is dan het omringende gebied. Na (slechts!) anderhalf jaar en natuurlijke settlement en recruitment door andere soorten trekken alle gemeenschappen weer naar elkaar toe. Dit suggereert dat het inzaaien niet effectief is en dat het de voorkeur verdient de natuur in zijn eigen dynamiek te laten.

3.4 Loswallen nabij Rotterdam

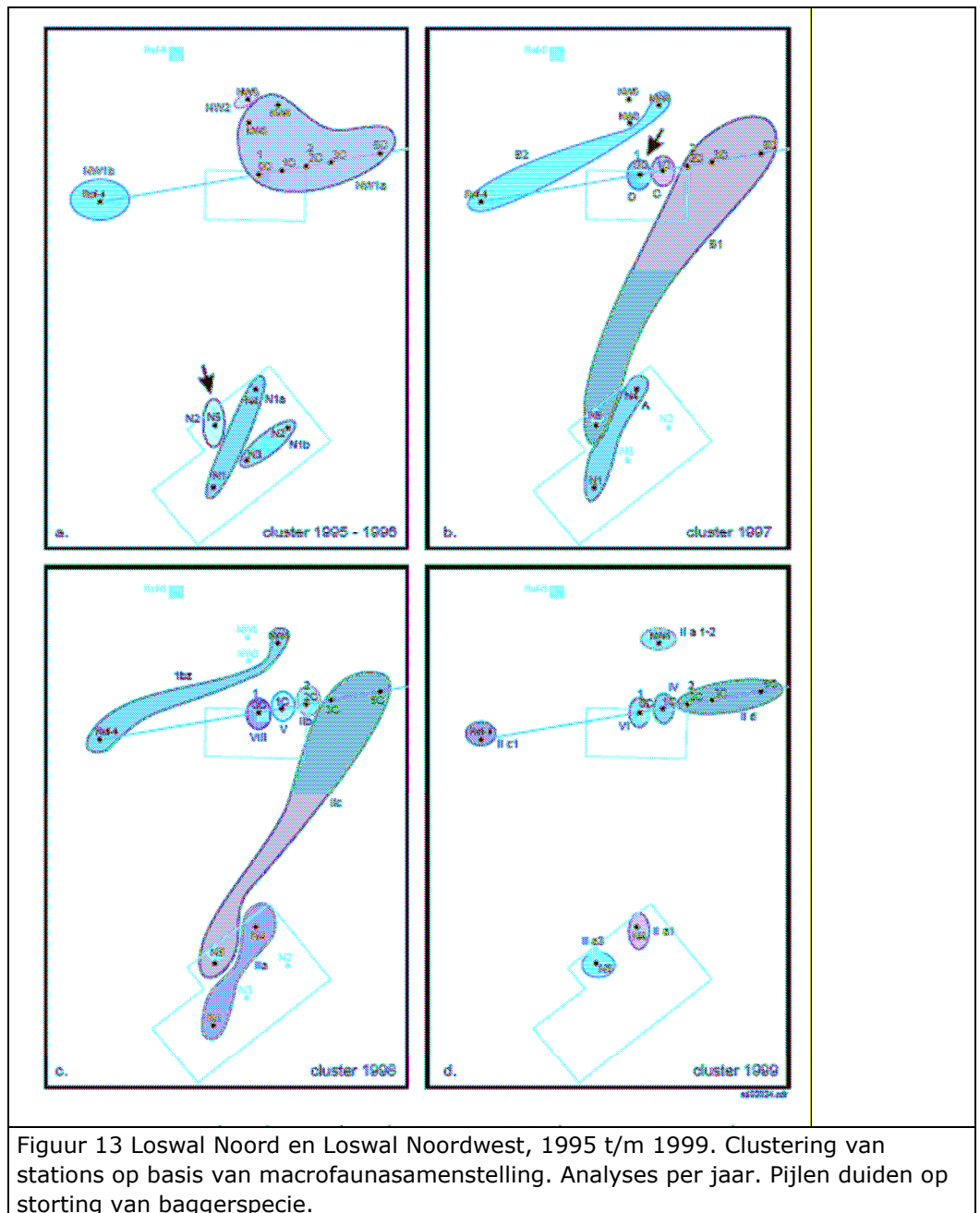
Bij een haven hoort baggeren, zo ook de haven van Rotterdam. Sinds 1961 zijn grote hoeveelheden van baggerspecie in de Noordzee gestort op een loswal ten noorden van de monding van de Nieuwe Waterweg, de oude Loswal Noord, ter hoogte van Ter Heijde. De stortingen op deze loswal zijn per 1 juli 1996 beëindigd omdat toen de oude loswal nagenoeg vol was en om de 'retourstroom' (zie volgende alinea) te beperken. Vanaf die datum is ten noorden van de oude Loswal Noord een nieuw stortgebied in gebruik genomen, de nieuwe Loswal Noordwest, die 9 km meer naar het noorden is gelegen. Daarnaast wordt vanaf zomer 2000 gebruik gemaakt van een Verdiepte Loswal (Stutterheim, 2002).

Op zowel de loswal Noord als de Loswal NoordWest zijn metingen gedaan met een groot aantal referentie punten erbij (Figuur 13). Op punt N5 Loswal Noord is in 1995 en 1996 gestort en daarna is het hele vak gesloten verklaard. Op punt 0C is in 1997 gestort en 1C in 1998 en 1999 (Loswal Noord-West, Figuur 13).

Loswal Noord laat qua aantallen, biomassa, diversiteit opvallend snelle recovery zien. Het jaar na stoppen is dit punt al weer gelijkwaardig aan de referentiepunten. Zelfs in de gemeenschappen komt punt N5 snel weer overeen met de overige punten.

Loswal Noord-West is wat dat betreft veel trager in herstel. 0C laat nauwelijks herstel zien. Opvallend is in de gemeenschapsanalyse dat de referentiepunten en N5 samen clusteren met gemeenschappen die staan voor weinig slib (tot 7% slib) waar de bestorte en nog volop herstellend plekken vooral hoge slibgehalten tonen (18-45%) Tabel 12-7 en 12.-8 uit Stutterheim (2002) zijn wat dat betreft zeer illustratief. In 1999 werd de proef afgesloten en is verder niet onderzocht. Andere naburige stortvakken van Loswal NoordWest waren toen nog volop in gebruik. Uit metingen van de bodemsamenstelling rond de Loswal blijkt dat het gestorte slib zich makkelijk over een tiental km verplaatst en de meetlocatie beïnvloedt.

Concluderend: Op zich is snel herstel mogelijk, alleen lijkt het erop dat hoge gehalten aan slib een versturende werking kunnen hebben. Ook hier kan de proef langer kunnen duren om de rekolonisatie te blijven volgen op de Loswal Noordwest (die nog steeds in gebruik is).



3.5

Suppletie bij Texel

Bij Texel is in 2002 en 2003 een suppletie onderzocht op rekoloniatie (Leopold, 2002a,b, 2003, Mulder, 2004). Een jaar na suppleren waren er al weer soorten aanwezig maar diversiteit, aantallen en biomassa's liepen nog ver achter op de referentiegebieden. Vooral polychaeten rekoloniseerden relatief beter. Qua epifauna (vissen en crustacea) was de algemene trend dat het 30-50% van de referentie was.

Concluderend, de rekolonisatie was een jaar na suppleren begonnen maar nog lang niet af. Meer metingen in de tijd is wenselijk.

3.6 Klaverbank

Op de Klaverbank is in 1989 grind gewonnen. In 2002 is bestudeerd of de gemeenschappen zich hadden hersteld. Inderdaad waren 13 jaar na dato geen verschillen in diversiteit. Ook iets kwetsbaars als de leeftijdopbouw van langlevende schelpen was hersteld (Van Moorsel, 2002). Na 2 jaar waren dichtheden en diversiteit wel weer gelijk met de kanttekening dat langlevende schelpdiersoorten en sessiele dieren niet na 2 jaar hersteld zijn. Juist deze soorten zijn kenmerkend voor de Klaverbank. Herstel op diversiteit werd vooral door kortlevende bivalven bereikt. Dat herstel op gemeenschapsniveau was er wel na 13 jaar (Van Moorsel, 1994, 2002).

3.7 Zandwinning in de Waddenzee

Het herstel van de bodemfauna na winning in de Waddenzee bleek samen te hangen met de opvulsnelheid van de zandwinputten en het daarin afgezette sediment (Van der Veer e.a., 1985). Herstel was het snelst op winlocaties met grote water- en sediment dynamiek, zoals in geulen. De zandwinputten werden daarbij opgevuld met ongeveer hetzelfde type sediment. Herstel van de bodemfauna besloeg hier 1 tot 3 jaar. In zandwinputten op minder dynamische droogvallende platen, was het herstel zelfs na 16 jaar niet, voornamelijk doordat de zandwinput langere tijd uitsluitend met zeer fijnkorrelig sediment (slib) opvulde, waarin bodemfauna zich niet goed kan vestigen. Ook op het minder dynamische wantij was rekolonisatie voor wat betreft Biomassa na 4 jaar slecht 1/3.

Concluderend, net als bij de loswallen blijken hoge concentraties slib een belemmering te kunnen zijn voor rekolonisatie.

3.8 RIACON: België, Duitsland, Denemarken

In het zelfde RIACON project als de winning en suppletie bij Terschelling zijn ook andere vergelijkbare lokaties (stranden en bodems met vergelijkbare korrel, water en stroming) onderzocht: De Haan (België), Torsminde Tange (Denemarken), Norderney (Duitsland) (Essink, 1997, van Dalen e.a. 2000). Het Spaanse project is buiten beschouwing gelaten omdat het (eco)systeem te verschillend is van de Nederlandse situaties (Noordzeestrand).

3.8.1 *Suppleties in het algemeen*

Direct na de suppletie werd een verlies geconstateerd aan biomassa en een verarming van de gemeenschappen gepaard gaande met een eerste rekoloniatiegolf van r-strategen (bv *Scolelepis squamata*). Op de meer lange termijn waren na twee jaar dichtheden, biomassa diversiteit en gemeenschappen redelijk in overeenstemming met de referentiesites en de waardes van voor de ingreep. De leeftijdsopbouw en populatiestructuur waren echter nog niet gelijkwaardig.

3.8.2 *Suppletie Torsminde Tange (Denemarken)*

In mei 1993 werd een suppletie van 0.25 mil³ uitgevoerd langs de Deense Kust. Vanaf mei 1994 tot november 1995 werden monsters genomen in het gesuppleerde vlak en een naburig referentie vak. Omdat er geen echte T0 was genomen, werd In

deze studie (Birklund e.a., 1997, Tabel 4) aangenomen dat het referentie gebied voldoende gelijk was met gesuppleerde plek (qua de korrelgrootte, biologie etc.).

Het gebied werd grover door de suppletie (van 275-300 μ naar 375-400 μ). Er was dan ook grover zand aangevoerd. De sedimentsamenstelling werd langzaam kleiner door de aanvoer van fijner sediment. De polychaeten en Crustacea hadden zich na één jaar hersteld. De bivalven en echinodermata kwamen pas na 1.3 jaar. Vanzelfsprekend tonen ze ook de natuurlijke dynamiek aan. Na dat meetpunt van 1.3 jaar verdwijnen zowel in het referentiegebied als het gesuppleerde gebied de bivalven weer gedurende de winter om in het voorjaar weer terug te komen. De echinodermata zijn nog niet terug na 2.3 jaar. Op gemeenschapsniveau is te merken dat de ruggengraatsoorten er na 1.3 jaar (2 broedval periodes) er allemaal wel zijn en dat het daarna vooral gaat om biomassa en onderlinge verhoudingen.

Een factoranalyse liet zien dat 33% van de variabiliteit in gemeenschappen en soorten verklaard kan worden uit korrelgrootte en broedval. En dat 67% van de variabiliteit toe te wijzen is aan toeval. Korrelgrootte stuurt slechts in beperkte mate.

3.8.3 *Winning Torsminde Tange (Denemarken)*

Bij Torsminde Tange (Denemarken) werd zand gewonnen in mei 1993 (0.25 mil³, op een diepte van 16-18 meter). Vanaf mei 1994 tot november 1995 werden monsters genomen in het geëxploiteerde vlak en een naburig referentie vak. Omdat er geen echte T0 was genomen, werd in deze studie (Birklund e.a., 1997, Tabel 4) aangenomen dat het referentie gebied voldoende gelijk was met het geëxploiteerde plek (qua de korrelgrootte, biologie etc.).

Het geëxploiteerde vak had een korrel van 500-600 μ waar het referentiegebied een korrel 300-375 μ had. In de loop van de monitoring werd de korrel in het geëxploiteerde vak fijner, dichter naar de referentie (door uitwisseling). Na het weghalen van een toplaag van slechts 0.5 meter trad een eerste recruitment op van r-strategen. Polychaeten en crustacea waren al na 1 jaar gelijkwaardig en zelfs meer. Echinodermata na 1.3 jaar. Bivalven waren nog niet op gelijkwaardige niveaus na 2.3 jaar. Algemene grootheden als dichtheden, diversiteit en biomassa waren op orde na 1 à 1.3 jaar (Birklund e.a., 1997). Op gemeenschapsniveau delen beide gebieden wel een aantal van de ruggengraatsoorten maar de verschillen lijken groter dan de overeenkomsten, ook na 2.3 jaar. De factor analyse liet zien dat korrelgrootte ongeveer 13% variantie kan verklaren en dat 25% verklaard werd uit broedval. De overige 62% is toeval.

Dit onderzoek toont de beginfasen van rekolonisatie aan. Het had langer door kunnen lopen.

3.8.4 *Eiland van Norderney, Duitsland*

Bij Norderney is ook een strandsuppletie uitgevoerd in 1994 in het kader van RIACON (Grotjahn, M. & G. Liebezeit, 1997). Voor en na de suppletie werd gemeten op Norderney en op het referentie eiland Spiekerroog. De suppletie had een grootte van 320.000 m³ en een kleinere experimentele van 33.000 m³ tussen de +1 en -4 meter.

Vooroever

Er werd gemeten 3 maanden na de suppletie en na 11 en 16 maanden (strand en onderwater). De korrelgrootte veranderde van 300-600 µ naar 150-200 µ. Na drie maanden waren aantallen soorten, abundantie en biomassa gelijk tussen de sites. Ook de metingen daarna waren gelijk. Op taxonomische groepen niveau was de eerste monsterring dominant in polychaeten voor zowel gesuppleerde plek als referentie: natuurlijke dynamiek leek belangrijker. Op gemeenschapsniveau blijkt de eerste meting vrij direct na de suppletie op Norderney anders te zijn. Daarna trekken de stations naar elkaar toe.

Strand

Het gesuppleerde strand kende kort na de suppletie meer diversiteit, met name crustacea. Later was het gelijk waardig met het referentiegebied. Dichtheden en biomassa waren gelijk tussen beide gebieden. *Vooraf Scolelepis squamata* (Gemshoornworm) domineerde wat resulteerde in arme gemeenschappen. Op gemeenschapsniveau blijken de strandgemeenschappen op de gesuppleerde plek dynamischer minder constant dan de referentielokatie. De Gemsworm lijkt iedere keer toch een belangrijke indicator voor verstoring en als een echte r-strateeg niches te vullen zodra ze zich aan doen.

3.9 **Zuid-Engeland en Frankrijk**

CEFAS heeft een grote analyse uitgevoerd van verschillende gebieden voor de Zuidkust van Engeland. De onderzochte gebieden waren voor de monding van de Thames en bij Hastings en Humber (Boyd e.a., 2004, Cooper e.a. 2004).

3.9.1 *Thames (area 222)*

In dit gebied is een vak gedefinieerd waarin twee subgebieden werden gedefinieerd: een intensief geëxploiteerd gebied en een extensief geëxploiteerd gebied. Er werden twee referentie gebieden gedefinieerd. In alle vier de gebieden werden de ontwikkelingen gevolgd gedurende vier jaar. De laatste grote winning was in 1995 met een klein staartje in 1996. De monitoring startte in 2000: vier jaar na het stoppen van de winningen.

Alle gebieden kennen in vergelijking tot de Nederlandse situatie een zeer grove korrel (Tabel 4). Het is ook vooral grind waarbij opvalt dat het gebied dat hoog intensief bevestigd is duidelijk lagere grind gehaltenes (~35% in plaats van ~45%) kent en zanderiger is dan de overige gebieden en ook minder slib (<2.5% in plaats van >> 10%).

Na 6 jaar (2002) was het extensief gebruikte gebied nagenoeg gelijk aan de referentie situatie. Het intensief geëxploiteerde gebied was zelfs na 7 jaar (2003) duidelijk minder in diversiteit, biomassa en aantallen. Het achtste jaar lijken

biomassa en aantal soorten in dit gebied wel duidelijk toe te nemen (Cooper e.a. 2004). Dit intensief geëxploiteerde gebied lijkt nogal een buitenbeentje. De monsters hebben onderling beduidend minder samenhang. Verder lijkt het ook een ander gebied te zijn dan het extensief geëxploiteerde gebied en de referentie gebieden (gezien de sediment karakteristieken) zodat een andere gemeenschap en ander gedrag te verwachten is. Newell e.a (2004) laten ook duidelijk zien dat grind, in principe, meer macrofaunasoorten kent dan steenslag en dat weer meer dan zanderige bodems.

3.9.2 *Hastings (area X en Y)*

In Hastings is een complex aanvormen van exploitatie. Area X was slechts éénmalig geëxploiteerd (1996) met ook weer een intensief en extensief geëxploiteerde subgebied. Het intensief geëxploiteerde subgebied werd in 2002 en 2003 ook weer geëxploiteerd. Area Y is zeer frequent geëxploiteerd van 1993 tot en met 2004 met daarin ook een intensief en extensief geëxploiteerde subgebied. Er zijn ook weer twee referentiegebieden aangewezen.

Area X

Voor Area X geldt dat alle drie de subgebieden (ex-, intensief en referentie) qua sediment ongeveer gelijk zijn. In het een intensief geëxploiteerde subgebied is nog wel een duidelijke steile kuil te zien. Beide gebieden zijn na 5 jaar niet onderscheidbaar in biomassa, diversiteit en aantallen dieren. Opmerkelijk is ook dat intensief geëxploiteerde subgebied na 2 jaar exploitatie in 2002 en 2003, in 2004 weer biomassa, diversiteit en aantallen dieren weer op orde is al gaat het dan wel om andere soorten. De rekolonisatie door een representant voor dynamische omgevingen (*Sabellaria spinulosa*) is groot

Area Y

Voor Area Y geldt dat alle drie de subgebieden (ex-, intensief en referentie) qua sediment ongeveer gelijk zijn. In het intensief geëxploiteerde subgebied is nog wel een duidelijk hakkelig profiel te zien. Het referentie gebied is ten opzichte van deze continu geëxploiteerde in biomassa, diversiteit en aantallen dieren. Toch zijn de geëxploiteerde gebieden niet arm in dieren maar wel in soortensamenstelling duidelijk anders dan het referentie gebied. De subgebieden lijken in 2003 en 2004 steeds meer op elkaar, nadat de exploitatie druk ongeveer gelijk is geworden in beide subgebieden (Cooper e.a., 2004).

Concluderend, in deze grindgebieden is de rekolonisatie in ieder geval na 5 jaar volledig. Herstel van deze gebieden gebeurt ook in eerste instantie door r-strategen.

3.9.3 *Humber area (area 408)*

In dit gebied is een vak gedefinieerd waarin twee subgebieden werden gedefinieerd: een intensief geëxploiteerd gebied en een extensief geëxploiteerd gebied. Er werden twee referentie gebieden gedefinieerd. In alle vier de gebieden werden de ontwikkelingen gevolgd gedurende vier jaar. De laatste grote winning was in 1998 met een klein staartje in 1999. De monitoring startte in 2001 tot en met 2004: twee jaar na het stoppen van de winningen. Qua sediment heeft het referentiegebied meer gravel (~45%) en slib (~3%) dan de twee geëxploiteerde gebieden (~30% grind en ~0.75 % slib)

Gedurende de gemonitorde 4 jaar zijn de beide geëxploiteerde gebieden gelijk in biomassa, diversiteit en aantallen dieren. In soortensamenstelling zijn ze verschillend. De referentiegebieden zijn duidelijk hoger in biomassa, diversiteit en aantallen dieren en hebben ook andere soorten. Gemeenschapsverschillen ontstaan vooral door sessiele dieren als zakpijpen en zeeanemonen die staan voor langdurig stabiele omstandigheden en voor grover substraat. Zowel Cooper e.a. (2004), Boyd e.a. (2004) als Robinson e.a. (2005) hechten veel belang aan de verschillen in sedimentkarakteristieken als verklaring voor de verschillen tussen referentie gebieden en exploitatie gebieden.

Kijkend naar alle gebieden ziet het er naar uit dat rekolonisatie snel gebeurt, eerst door r-strategen met snelle voortplanting. Bij deze grindrijke gebieden is het echter wel van belang dat sedimentkarakteristieken constant blijven. Zodra het geëxploiteerde gebied meer zand kreeg dan grind veranderde ook de gemeenschap van aard (Boyd e.a. 2003, Boyd e.a. 2005). De verhouding grind:zand:slib lijkt sturend te zijn. In de overgang van zanderig grind naar grinderig zand verarmt de gemeenschap: er is minder plek voor sessiele dieren.

Robinson e.a. (2005) onderzochten het totale vak 408 in 2000. Zij namen monsters in subsecties in verschillende toestand: vakken onder exploitatie, verschillende fases van herstel (≥ 2 jaar), direct of indirect beïnvloeding door winningen (zandstromen) en controle gebieden. Merkwaardig genoeg zagen zij weinig verschillen op gemeenschapsniveau. Alles clusterde redelijk bij elkaar. De gemeenschappen werden voor $\sim 50\%$ opgebouwd uit r-strategen : polychaeten, Nematoda, Nemertea en kleine crustacea.. Het dient wel genoemd te worden dat de monsternamen 1 Hammond-grab was per locatie (0.2 m^2) maar dat is gelijkwaardig met 3 standaard Boxcores van 0.07 m^2 ieder.

3.9.4

Bembridge

Een onderzoek wat in intentie meer een transect-onderzoek was dan een rekolonisatie onderzoek was oost van Bembridge, Isle of Wight, in de "Central English Channel". De studiegebieden waren gecodeerd als Areas 122/3 and 351. Vanuit het hart naar buiten werden op geregelde afstanden monsters genomen. Naar mate meer naar buiten nam de (historische) baggerintensiteit af. De bodem was van grind tot zand. De monsters werden in 2000 genomen. De winning was toen in Area 122/3 minimaal (0.25 uur in 4 van de twaalf sites). In het gebied zijn dan ook sites aan te wijzen met een herstel historie van 1 jaar en 3 jaar (Boyd & Rees, 2003, Newell e.a. 2004).

Het baggeren in Area 351 leidt tot duidelijk minder slib in het geëxploiteerde gebied. Wat opvalt voor Area 351, is dat de ongestoorde gebieden een hogere diversiteit (en aantal soorten) hebben en dat de geëxploiteerde plekken een hoger aantal dieren hebben (vooral zeepokken en amphipoda *Leptocheirus hirsutimanus*). Met afnemende exploitatie neemt het aantal k-strategen toe.

Voor Area 122/3 geldt dat diversiteit en aantal niet eens zoveel verschillen. Het gaat vooral om de soortensamenstelling (Boyd & Rees, 2003). Het intensief geëxploiteerde gebied heeft andere soorten, bv *Abra alba*). Opvallend is ook dat er een soort tussenzone is te vinden tussen referentie- en exploitatiegebied waarin hoge gehalten aan filterfeeders te vinden zijn (*Crepidula fornicata*, *Balanus crenatus*, *Pomatoceros lamarcki*, *Dendrodoa grossularia*). Mogelijk wijst dit op een verrijking van de

omgeving door organische componenten die vrijkomen bij winning (Boyd & Rees, 2003, Newell e.a, 2004).

Newell e.a (2004) zagen in dit gebied al na dagen tot enkele weken rekolonisatie door benthos. Zij geven echter geen soorten dus het is moeilijk te bepalen of dit nu overlevers, migraten of settlement is.

3.9.5

Cross Sands

Cross Sands ligt aan de oostkust van Engeland ter hoogte van Great Yarmouth en Lowesoft. Tussen 1969 en 2005 zijn verschillende delen van het gebied intensief geëxploiteerd, andere delen weer minder (Barrio Froján e.a. 2008). Gedurende 8 jaar zijn monsters genomen in gebieden onder exploitatie en in referentiegebieden. Feitelijk is dit niet een rekolonisatie studie: de exploitatie is immers nog wel gaande. Het scheidt wel een beeld van de korte respons op winnen van zand en grind. Per jaar worden slechts enkele uren gewonnen.

De resultaten laten zien dat ondanks de regelmatige jaarlijkse verstoring er toch rekolonisatie is maar dat aantallen en diversiteit achterlopen bij de referentie gebieden. Ook de gemeenschappen zijn duidelijk anders. Dit kan enerzijds liggen aan de fase van rekolonisatie (beginnend). Dan wel aan de substraat veranderingen in de verhoudingen grind, zand, slib.

3.9.6

Dieppe: Kanaal

Aan de Franse kant van het Kanaal is de rekolonisatie gevolgd van een winning die van 1980 tot en met 1994 geduurd heeft (Desprez, 2000). Het gebied is grind met zand. Gedurende de extractie werden monsters genomen, tot 24 maanden na de extractie en ook nabijgelegen gebieden om de effecten van overvloed en zand-depositie te monitoren.

Gedurende exploitatie was al rekolonisatie gaande met vooral worm-achtigen maar ook schelpdieren, crustacea en zee-egels. Na 1.5 jaar was de diversiteit hersteld maar liepen aantallen dieren en biomassa nog achter (ook na 28 maanden). Opvallend is hier waarschijnlijk ook een gemeenschapsshift gaande door de verandering van substraat. Dat in ogenschouw nemend zou je kunnen stellen dat 28 maanden voldoende is om tot een evenwichtig gemeenschap te komen

Voor al deze studies geldt dat de bemonsterde oppervlaktes klein zijn in relatie tot de gemeenschap. Er worden meestal 1 tot 3 bodem monsters genomen die bij elkaar een oppervlak van 0.2 tot 0.7 m² beslaan. Newell e.a (2004) laat zien dat soorten : oppervlak curves zien waarbij 100% pas vanaf 2.5 tot 9 m² bereikt wordt. Het is wijs om bij dit soort bemonstering ook een bodemschaaf te gebruiken. Een typische schaaftrek beslaat 8 tot 15 m² (Goudswaard & Perdon, 2009).

Tabel 4 overzichtstabel van de verschillende rekolonisatie experimenten. n.a.: Niet geanalyseerd; n.b. herstel nog niet bereikt; bijna: bijna herstel bereikt; o.w. onder winning. N.v.: niet vermeld. De getallen staan voor in welk jaar een bepaalde norm wordt voldaan. N.b: diversiteit is in een abstract getal (bv aantallen soorten) en wil niet zeggen dat de gemeenschappen gelijk zijn

		korrelgrootte voor	korrelgrootte na	gemeten periode (jaar)	Overleving originele soorten	rekolonisatie r-strategen	rekolonisatie wormen	rekolonisatie crustacea	rekolonisatie schelpdieren	Herstel dichtheden	Herstel diversiteit	Herstel biomassa	Herstel leeftijd opbouw	Herstel gemeen- schap
Terschelling	winnen	183-213	221	4	0	0-1				1	2	4	4?	4
Terschelling	suppleren (vooroever)	165-178	180-215	1.5		n.a.	1,5	n.a.	n.a.	1,5	1,5	bijna		
Heemskerk	suppleren (diep)	162	310->175	1,5	0		1,5		bijna	1,5	bijna	bijna	n.a.	bijna
Loswal Noord	suppleren (diep)			3	0					1	1	1		
Loswal Noord-West	suppleren (diep)			2	0						2			
Texel	suppleren (vooroever)	195	322	1										
Klaverbanken	winnen			10						1	2	2	13	13
Wadden	Geulen	130-154	118-142	3	n.a.	n.a.	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3		1-3
	Platen	125	90	16	n.a.	n.a.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	4
	Wantij	110	90	4	n.a.	n.a.	4	4	4		4	n.b.	n.b.	n.b.
De Haan	winnen			2										
De Haan	suppleren (vooroever)	180	200	2							2	2		2
Norderney (Duitsland)	winnen	150-200												
Norderney (Duitsland)	Suppleren vooroever strand	300-600	150-200	1.5		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	n.a.	1.5

Tabel 4 overzichtstabel van de verschillende rekolonisatie experimenten. n.a.: Niet geanalyseerd; n.b. herstel nog niet bereikt; bijna: bijna herstel bereikt; o.w. onder winning. N.v.: niet vermeld. De getallen staan voor in welk jaar een bepaalde norm wordt voldaan. N.b: diversiteit is in een abstract getal (bv aantallen soorten) en wil niet zeggen dat de gemeenschappen gelijk zijn

		korrelgrootte voor	korrelgrootte na	gemeten periode (jaar)	Overleving originele soorten	rekolonisatie r-strategen	rekolonisatie wormen	rekolonisatie crustacea	rekolonisatie schelpdieren	Herstel dichtheden	Herstel diversiteit	Herstel biomassa	Herstel leeftijd opbouw	Herstel gemeen- schap
	Strand	300-600	150-200	1-5		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	n.a.	n.b.
Torsminde Tange (Denemarken)	winnen	500-600	500-600	1-2,3		1	1	1		1,3	1-1.3	1		
	suppleren (vooroever)	275-300	375-400				1	1	1.3	1	1	n.b.	n.b.	n.b.
Thames (area 222) laag	winning	1780-2530	690-2530	5-8			5	5	5	6	6	6		6
Thames (area 222) hoog	winning			5-8			5	5	5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Hastings (area X)	Winning	1310-3250	1230-5930	5-8			5	5	5	5	5	5	n.a.	
Hastings (area Y)	Winning	790-2220	740-3300	5-8		1	o.w.	o.w.	o.w.	o.w.	o.w.	o.w.	o.w.	o.w.
Humber (area 408)	Winning Extensief	820-2060	820-1410	3-5		2	2	2	2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	Winning intensief	820-2060	1600-1950	3-5		2	2	2	2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	Winning	n.v.	n.v.	0-2		1-2	1-2	1-2	n.v.	n.v.	1-2	n.v.	n.v.	1-2
Bembridge, Isle of Wight Area 122/3	winning	n.v.	n.v.	0-1		0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	n.b.			n.b.
Bembridge, Isle of Wight Area 351		n.v.	n.v.	0-1		0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1			n.b.

Tabel 4 overzichtstabel van de verschillende rekolonisatie experimenten. n.a.: Niet geanalyseerd; n.b. herstel nog niet bereikt; bijna: bijna herstel bereikt; o.w. onder winning. N.v.: niet vermeld. De getallen staan voor in welk jaar een bepaalde norm wordt voldaan. N.b: diversiteit is in een abstract getal (bv aantallen soorten) en wil niet zeggen dat de gemeenschappen gelijk zijn

		korrelgrootte voor	korrelgrootte na	gemeten periode (jaar)	Overleving originele soorten	rekolonisatie r-strategen	rekolonisatie wormen	rekolonisatie crustacea	rekolonisatie schelpdieren	Herstel dichtheden	Herstel diversiteit	Herstel biomassa	Herstel leeftijd opbouw	Herstel gemeen- schap
Crossands	winning	n.v.	n.v.	0-8		0-1 o.w.	0-1 o.w.	0-1 o.w.	0-1 o.w.					
Dieppe (Frankrijk)	Winning			-14-2.2		0	0	0	0	n.b.	1.5	n.b.		

4 Overview wetenschappelijke resultaten met discussie en eerste conclusies

Dit hoofdstuk geeft een samenvatting met discussie van alle resultaten die in hoofdstuk 3 opgeschreven zijn: een kijk door de oogharen heen met een verbredende discussie.

4.1 Overall patroon

Op zich is de rekolonisatie onder verschillende omstandigheden onderzocht: diepere zanderige bodems en stranden van de oostelijke Noordzee kust en zanderige grindbodems op de Klaverbank en de Engelse en Franse kust.

Overall komen er ieder keer dezelfde patronen uit. Over het algemeen is het een patroon van eerste settlement van typisch r-strategen als wormen, daarna volgen binnen een jaar veel soorten nodig voor een complete gemeenschap. De jaren daarop is er wel dynamiek in soorten bestand die gekoppeld lijkt aan een normale natuurlijke dynamiek in soorten bestand en diversiteit. Het herstel in de jaren daarop is vooral in aantallen en biomassa (Newell e.a. 1998, 2004, Essink & van Dalftsen, 1998, Baptist e.a. 2008, Figuur 14).

De rekolonisatie gaat over het algemeen direct van start door de settlement van recruitment van polychaeten als *Laniche conchilega Spio* en *Sabbellaria* maar ook schelpdieren als *Spisula subtruncata* en *Ensis directus* kunnen snel hun plek innemen. Al met al is een geëxploiteerd gebied snel functioneel ook als voedselbron. Polychaeten en *Ensis* zijn belangrijke componenten in het voedsel van vissen (Tulp e.a. 2007).

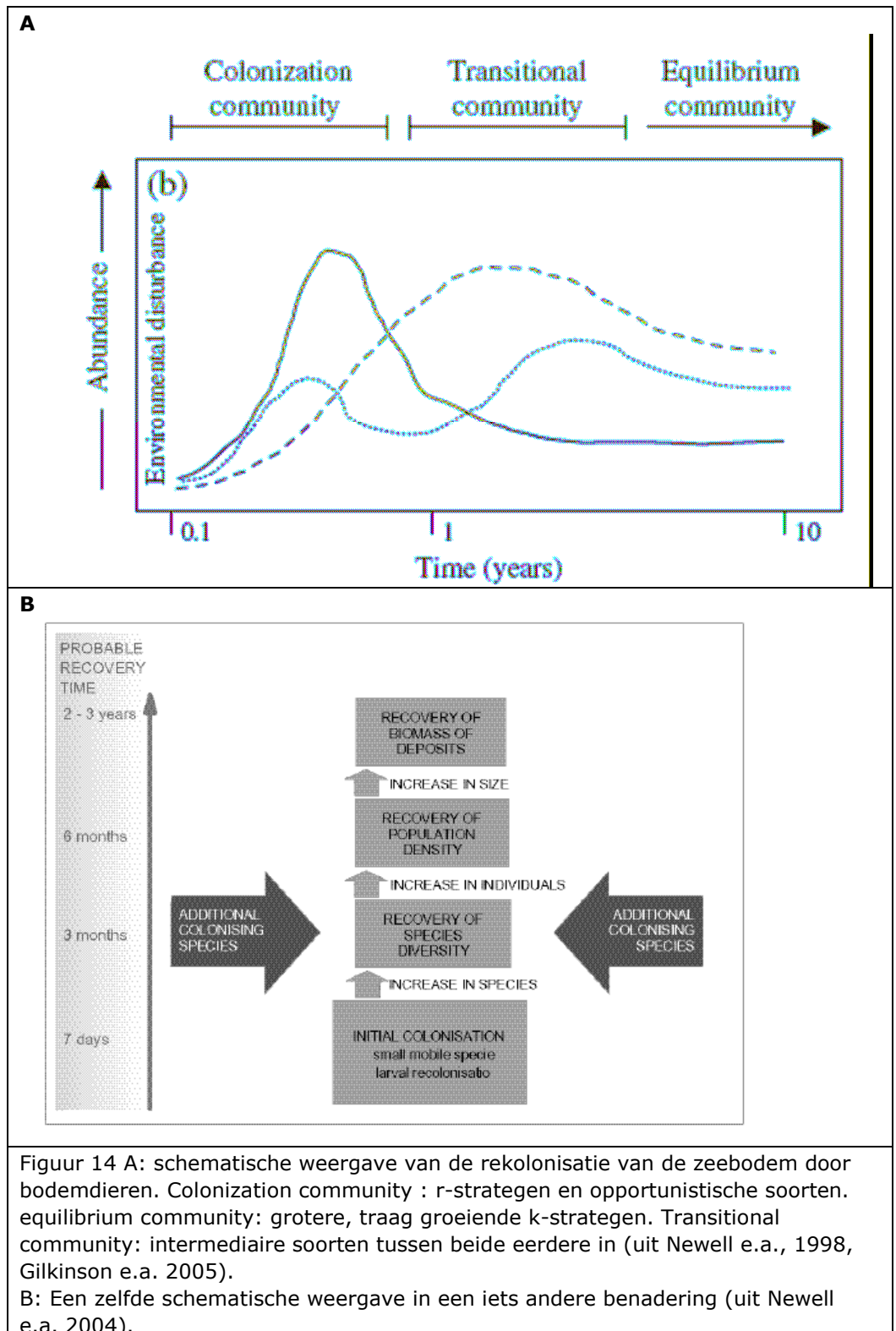
Volledig herstel lijkt vanaf 4 jaar (Terschelling) tot 6 jaar bereikt te kunnen worden (verschillende locaties in Engeland).

4.2 Kanttekeningen

Er zijn een aantal kanttekeningen te maken

4.2.1 *Duur van de monitoring*

Er zijn veel studies gedaan. De eerste fase van rekolonisatie is erg goed in beeld (tot 2 jaar na exploitatie). Er zijn minder studies die de rekolonisatie over een langere tijdspanne bestuderen (Terschelling en plaatsen in Engeland). Aan de ene kant loont het de moeite nog wat historische winningen en suppleties een vervolgmonitoring te geven dan wel een soort historische analyse te maken van gebieden in verschillende stadia (fases) van rekolonisatie. Aan de andere kant zijn de patronen én consistent én naar verwachting hoe de processen in de Noordzee worden geacht te werken.



Figuur 14 A: schematische weergave van de rekolonisatie van de zeebodem door bodemdieren. Colonization community : r-strategen en opportunistische soorten. equilibrium community: grotere, traag groeiende k-strategen. Transitional community: intermediaire soorten tussen beide eerdere in (uit Newell e.a., 1998, Gilkinson e.a. 2005).

B: Een zelfde schematische weergave in een iets andere benadering (uit Newell e.a. 2004).

4.2.2 *Natuurlijke dynamiek van de referentie situatie*

Een goed voorbeeld van de natuurlijke processen is dat de bodemgemeenschap in de Zuidelijke Noordzee zeer dynamisch is. Alle studies laten zien dat de gemeenschappen van de referentie plekken zich dynamisch gedragen. Er is zomers bijvoorbeeld veel settlement waarvan slechts een deel overleefd (Reisse & Kröncke, 2005). Benthos in de directe kustzone is ook kortlevend (~5 jaar). Daarnaast is ook de impact van visserij groot.

4.2.3 *Sediment- en bodemkwaliteit: slib*

Uit het overzicht blijkt wel dat er aandacht besteed moet worden aan sediment- en bodemkwaliteit. Als eerste valt op uit de resultaten van de loswallen en de Waddenzee dat hoge percentages slib een negatieve invloed kunnen hebben op gemeenschapsontwikkeling. Waar ligt dan een omslagpunt? De resultaten van Stutterheim (2002) suggereren dat in ieder geval in de range 18.2% - 45.5% de gemeenschap zich anders ontwikkelt en duidelijk armer blijft en dat tussen de 0.2 en 24.8% een normale ontwikkeling mogelijk blijft. Kanttekening bij de laatste range aan slib gehalten is dat twee stations van lage slibgehalten opeens een zeer hoog slibgehalte hadden (dit is vermoedelijk het gevolg van het tijdelijk neerslaan van een hoeveelheid baggerslib) en wel een gemeenschap hadden die vooral voorkwam bij lage slibgehalten. Afgaande de normale reeks lijkt het er op dat ergens tussen 6.7 en 18.2% een kantelpunt ligt. Al dient wel een nuancering gemaakt te worden dat de meeste soorten toch een brede tolerantie grens hebben als volwassen dieren (Steenbergen e.a. 2006). Bij winningen dient dus opgelet te worden of er kans is dat slib in verhoogde mate achterblijft. Gezien de lage achtergrondwaardes, de ontwerpeisen aan zandwinputten die gericht zijn op doorstroming, de heen- en weergaande beweging van het getij en de normale dynamiek van de bodem is het echter niet waarschijnlijk dat er hoge concentraties slib achterblijven in zandwinkuilen voorbij de -20m NAP lijn (Boers, 2005).

4.2.4 *Sediment- en bodemkwaliteit: grind*

Een tweede factor speelt bij zanderige grindgronden zoals die worden aangetroffen op de Klaverbank en Zuid-Engeland. De sortering van grind en de verhoudingen zand:grind lijken belangrijk voor het type gemeenschap wat terug komt. Op verschillende plekken is gesignaleerd dat kuilen meer (mobiel) zand invangen wat daarna een andere (armere) gemeenschap oplevert waarin sessiele dieren als Bryozoa en anemonen minder rol spelen. Vooralsnog lijkt dit ze toe te spitsen op grindgronden. De zanderige bodems geven geen aanleiding te vermoeden dat dit hier ook kan gebeuren (Essink, 1997).

4.3 **Openstaande vragen.**

In afnemende mate van belangrijkheid

- Lokatiespecifiek: Kustlans is al redelijk veel gebeurd. Echter de Zeeuwse banken zijn ook in de reguliere monitoring een achtergebleven gebied. Onlangs is in het kader van het Evaluatieprogramma Zandwinning een bestandsopname gemaakt. Hierbij blijkt de onderzochte locatie zeer arm, slechts enkele wormen, wat zeeklitten en krabben (Goudswaard & Perdon, 2009). Op de onderzochte plek zijn geen schelpenbanken. Hier is dringend aanvullende informatie gewenst om zekerheid over aanwezige soorten te krijgen. Dit gebied staat ook onder nadrukkelijke aandacht van de natuurorganisaties.

- Herstelduur: De monitoring in Nederland is iedere keer na anderhalf, twee jaar gestopt. Slechts één studie bestrijkt 4 jaar. Alhoewel de processen duidelijk lijken en volgens theorie, op een bepaalde manier knaagt nog een soort wens voor aanvullend zekerheid dat herstel 4 tot 6 jaar duurt. Een aantal observaties verder in de tijd, kan deze onzekerheid wegnemen. Dit kan bijvoorbeeld door in één expeditie gebieden met een verschillende herstelperiode of bijvoorbeeld ook te kijken naar eerder gemeten locaties als de Texel suppletie en de loswallen.
- Functioneel herstel: naast volledig ecologisch herstel is er de maat van functioneel herstel. Wanneer is een gebied weer actief als voedsel bron voor predatoren als vissen. Waarschijnlijk is dit veel eerder: wormen (eerste kolonistoren) zijn namelijk een belangrijk bestanddeel van het dieet.
- Herstel bij diepe winningen: er wordt een nieuw beleid ingezet om dieper te gaan winnen. De slibberekeningen hebben aangetoond dat slib in de bodem niet toe neemt in die mate dat andere gemeenschappen vallen te verwachten. Wellicht wel met hele diepe winningen. De vraag rijst wel of rekolonisatie dan nog wel gelijk is
- Processen van rekolonisatie: in het algemeen geldt dat rekolonisatie vooral gebeurt door grootschalige larventransporten op schalen van tientallen kms; vele malen groter dan de schaal van een winning (in hectares) sectie 2.4.6, Figuur 14). Toch wordt dit argument weinig erkend en blijft de roep om lokatie specifieke afweging. Het zou goed zijn een relatie te leggen tussen larven bestanden in de waterkolom en de dynamiek in een rekoloniserend vak.

5 De bredere maatschappelijk context

Naast wetenschappelijke overwegingen zijn er ook nog allerlei meer maatschappelijke overwegingen die een rol kunnen spelen met de keuze van een onderzoeksrichting en –plan. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van deze maatschappelijke context en of dit wel van niet sturend is.

5.1 Lokatie specifiek: aanleiding voor de m.e.r.

In 2005 heeft de Raad van State uitspraak gedaan inzake 2, door de Stichting de Noordzee ingestelde, beroepen betreffende 2 in 2004 verleende vergunningen voor zandwinningen op de Zeeuwse Banken. Het argument was dat het toenmalige beschikbare MER werd gezien als Plan MER en derhalve onvoldoende locatie specifiek was. Achterliggend element is ook dat de Zeeuwse Banken een speciaal interesse gebied zijn voor StNZ en dat ze graag zien dat dit gebied van "potentieel kwalificerend Gebied van Bijzondere Ecologisch Waarden" (GBEW), een echt GBEW wordt.

De Raad van State heeft daarop gesteld dat ieder ontgronding van 100 ha of groter een m.e.r. procedure zou moeten starten waar een locatie specifieke afweging werd gemaakt (naderhand weer teruggebracht tot 500 ha).

Concluderend:

- de Zeeuwse Banken staan in de interesse
- In een MER dient het aspect van locatiespecifiek ook voor rekolonisatie geadresseerd te worden
- Maar wat is locatie specifiek in deze, in gedachte nemend dat de schaal van rekolonisatie in kilometers gaat en de schaal van winningen in ? Deze studie suggereert dat alleen als er sprake is van kans op verhoogde slibgehalten dan wel grindgronden die van karakter veranderen door extractie.
- Dat behoud van een bepaald karakter wat verder trekkend zou je kunnen denken aan de eerder gesignaleerde regio's in zandgronden en gemeenschappen (Figuur 3, Figuur 6). Dan blijven de Zeeuwse Banken over als regio

5.2 Adviezen Commissie MER

Afgelopen periodes zijn twee m.e.r.-procedures doorlopen: één voor RWS en één voor LaMER (stichting van baggeraars die zich verenigd hebben om gezamenlijk een MER te laten schrijven). Beide initiatiefnemers hebben in samenwerking twee afzonderlijke MERren laten schrijven die nagenoeg identiek waren.

De adviezen van de Commissie MER (2008a,b) waren echter verschillend. RWS hoefde in het advies geen aandacht te besteden aan rekolonisatie nadat in een aanvullende notitie een overzicht was gegeven van de reeds bestaande resultaten. LaMER kreeg echter wel het advies aandacht te besteden aan rekolonisatie. Echter de opdracht was ook dit in samenhang te doen met andere initiatieven.

Concluderend: het advies van de Commissie MER biedt de ruimte overkoepelend naar de evaluatie te kijken en bepaalde onderzoeksprogramma's bij de ene

initiatiefnemer te leggen en andere initiatiefnemers weer aan een ander facet te laten werken.

5.3 Te verwachten onderzoeken aan rekolonisatie

Er zijn momenteel meerdere initiatieven die aan rekolonisatie gaan werken.

5.3.1 Havenbedrijf Rotterdam: Maasvlakte 2

Op dit moment staat Havenbedrijf Rotterdam (HBR) ook aan de lat om twee rekolonisaties te monitoren:

1. hun diepe winningsputten (verdiepingen van -10 tot -20 meter afhankelijk van de ontwikkelingen).
2. de nieuw aan te leggen dijkwand van Maasvlakte 2

Bij de diepe winputten wordt in feite al de vraag beantwoord of diepe putten leiden tot dusdanige slibgehalten dat andere gemeenschappen gaan ontstaan. Daarnaast wordt ook de betekenis van een diepe winning voor rekolonisatie bestudeerd. De monitoring wordt voortgezet totdat de evenwichtstoestand is bereikt.

Bij de aan te leggen onderwateroever van de buitencontour van MV2 zal gemonitord worden of dezelfde gemeenschap terugkeert op de onderwateroever van de buitencontour van MV2 als werd aangetroffen op de onderwateroever van MV1.

5.3.2 De Zandmotor

Op initiatief van Provincie Zuid-Holland zal een zandmotor worden aangelegd aan de Zuid-Hollandse Kust. De suppletie (20 Mil M³) zal deels onderwater liggen en deels bovenwater. Hiervoor wordt thans een MER opgesteld. Het is nog niet bekend of er voor dit project onderzoek verricht zal worden naar rekolonisatie van bodemdieren.

5.4 Suppleties Ameland

RWS zal een aantal grote suppleties doen bij Ameland. Op dit moment worden plannen gemaakt om de rekolonisatie van de gesuppleerde vakken te volgen. In 2009 wordt de T0 uitgevoerd bij Ameland zowel op de vooroever als op het natte strand. Daarnaast bestaat het idee om dit dus ook bij Bergen en Egmond uit te voeren.

5.5 Waterplan

In het Ontwerpbeleidsnota Noordzee (2008) worden nieuwe ontwikkelingen genoemd die relevant kunnen zijn:

- verdieping van de reguliere zandwinningen van 2 meter naar 6 meter onder "maaiveld". Wat betekent zo'n verdieping voor rekolonisatie? Vooralsnog is HBR al; bezig een eerste inzicht in deze materie te verkrijgen.
- Eiland in zee: uitbreidingen in zee blijven een punt van aandacht. Het geeft dan ook mogelijkheden voor allerlei ontwikkelingen die men daar kwijt zou kunnen. En eiland in zee impliceert zandwinningen in volume groter dan de 360 mil m³ van MV2. Wat betekent dit voor rekolonisatie (zie sectie 5.6)?

5.6 Volumevergrotingen in de toekomst

Naast eilanden in zee of meer kustgebonden varianten daarvan (variëaties op plannen Waterman) ligt er een recente notitie van de Ronde (2008) die stelt dat gezien alle verliesposten het kustfundament meer zand nodig heeft: 20 mil M³ per jaar, in plaats van de huidige 12 tot 15 mil M³.

Ten tweede is het te anticiperen dat extra kustuitbreidingen of eilandaanleg zullen plaatsvinden. Afgelopen periodes laten een dergelijke claim op het zand zien. Dat zal waarschijnlijk tot een extra 60-80 mil M³ per jaar leiden gedurende een periode (de aanpak van MV2 doorvertalend naar de toekomst).

Daarnaast suggereert de Commissie Veerman dat er op termijn 80 mil M³ per jaar nodig is om de zeespiegel stijging te accommoderen.

Concluderend, er gaat meer zand gewonnen worden. Maar wat betekent dat? Is dat nou erg? Eerdere secties (in sectie 2.4) hebben laten zien dat de winningen gebeuren in het armste stuk Noordzee. En dat de ecologisch relevante schalen vele 100-en tot 1000-en kms² beslaan. De bodemgemeenschap heeft bijvoorbeeld een schaal van ~60.000 km² (Figuur 9, Tabel 5). Met deze context heeft het MER Winning Suppletiezand (2008-2012) berekend dat, de som van alle winningen (RWS, LaMER, MV2) nog steeds erg klein is ten opzichte van de ecologische relevante referenties (ook met de gebieden in een fase van rekoloniatie er bij). Tabel 5 geeft nogmaals deze analyse met een gevoeligheidsanalyse voor rekoloniatie erbij. De kwantitatieve effecten van het verdwijnen en rekoloniseren van de zeebodem zijn klein: ergens tussen de 150 en 500 km² op de 60.000 km² (Figuur 9, Tabel 5).

Schaalvergroting is geen argument om onderzoek aan rekoloniatie te doen.

5.7

Verwacht rendement of verbeteringen uitvoer

Een belangrijke vraag is of de uitvoering van zandwinning veranderd of verbeterd zal worden door aanvullend onderzoek over rekoloniatie? Wat kan er überhaupt veranderen aan uitvoering. Wat zijn de draaiknoppen (niet uitputtend):

- Afstand tot de kust: nu vanaf de doorgetrokken -20m NAP lijn. Dichterbij winnen zou suppleren goedkoper maken. En eventueel zou een gerichte vorm kunnen bijdrage tot meer geulen en banken waar schelpenbanken zich op kunne concentreren. Gezien de potentiële impact op het kustfundament lijkt dit niet waarschijnlijk.
- Vorm van de ondiepe putten: lengte, breedte verhoudingen, taluds. De huidige verplichte vorm is gericht op doorspoeling zodat er geen excessieve slibsedimentatie is noch eventueel zuurstofloosheid. Dit is wel een waarborg van behoud van een gelijkwaardig lokaal milieu maar er kan aan gesleuteld worden.
- Aanleg van zandgolven voor extra biodiversiteit. Toppen en dalen kunnen anders zijn in soortensamenstelling (Baptist e.a., 2006). Gaat dat ontstaan, blijft het lang genoeg in stand? Wordt het aangelegd en zo ja wegen de kosten op tegen de opbrengsten?
- Dieper dan -2 meter winnen, dat wordt het komende beleid. Grote winningen als MV2 gaan al tot -10 of -20 afhankelijk van de situatie. In beide MERren van RWS en LaMER werd duidelijk dat dieper winnen kan en ook wenselijk is om de vaarafstanden beperkt te houden. Ook hier lijkt doorstroming een uitgangspunt om het lokale milieu gelijkwaardig te houden.
- Grootschalige patronen aanleggen die de stroming en golfslag positief langs de kust kunnen beïnvloeden. De hoeveelheden in het kader van de Deltacommissie zouden aanleiding kunnen geven na te gaan denken of hier winst valt te halen. Het is wel iets om met de nodige voorzichtigheid te

benaderen. Kan het überhaupt, het blijven waarschijnlijk toch mini-kuiltjes in een hele grote zee. En zo ja, wil je het wel? Vallen de effecten op stroming etc. wel goed te voorspellen?

Overwegingen vanuit de kant van de winning zijn dat kostprijs voor $\geq 25\%$ bepaald wordt door de vaarafstanden. Daarnaast is er voor bijvoorbeeld strandsuppleties waarschijnlijk behoefte aan een korrel van $\leq 350\mu$. Secties 2.4 heeft laten zien dat locatie verschillen op zijn hoogst regionale verschillen zijn. Dit betekent dat per regio duidelijk dient te zijn dat rekolonisatie bekend moet zijn om een afweging te maken. Voor de Waddenboog en de Hollandse Kustboog zijn meerdere rekolonisatie experimenten gedaan. Het is duidelijk dat gebieden rekoloniseren en dat de periode te over zien is (4 tot 6 jaar).

Stel dat de rekolonisatie langer duurt. Tabel 5 geeft een gevoeligheidsanalyse voor de duur van rekolonisatie. Zelfs als er uit het onderzoek komt dat rekolonistatie op de Zeeuwse Banken 8 jaar duurt of 10 jaar (wat onwaarschijnlijk is gezien de te gemeten arme, r-strateeg georiënteerde gemeenschappen daar en in de nabije omgeving van de Vlaamse Banken en de Voordelta, Goudswaard & Perdon, 2009, Degraer e.a. 2006). Gaat de uitvoering dan veranderen?

Een aanvullend onderzoek kan dat getal nog iets preciezer zeggen maar de huidige getallen geven waarschijnlijk geen aanleiding heel veel verder te gaan varen met zowel meer ecologische schade als ook meer kosten.

De regio waar nog twijfel over is, is de Zeeuwse Banken. Daar is weinig van bekend en de metingen die er gedaan zijn (Goudswaard & Perdon, 2009), lieten een zeer arm gebied zien. Waarom is dat zo arm? Te geëxposeerd? Al te veel winningen gedaan? Aan de andere kant, stel dat rekolonisatie daar heel lang duurt, gaat er dan verder gewonnen worden? De Zeeuwse Eilanden kennen veel strandsuppleties en die korrel ($\leq 350\mu$) is alleen op de Zeeuwse Banken te vinden en anders erg veel verder, ter hoogte van de Hollandse kustboog (MER Winning Suppletiezand (2008-2012)). Gaan we dan zo ver varen? Of een minder gewenste korrel op het strand?

Al met al is het dan toch nog wel wijs te weten wat de effecten zijn: een (beperkt) inzicht in T0 en rekolonisatie van de Zeeuwse Banken is dan nog een lacune. Overige regio's zijn gedaan (Tabel 4).

5.8 Concluderend vanuit de maatschappelijke context

Er zal veel aan rekolonisatie gebeuren komende jaren. Openstaande vragen zijn gezien de beheer- en beleidsaspecten dat er meer duidelijkheid dient te komen over rekolonisatie van diepe winningen en van de regio Zeeuwse Banken. De diepe winning wordt bestudeerd door HBR. Voor het MEP van RWS en LaMER lijkt de Zeeuwse banken de openliggende vraag.

Tabel 5 Gevoeligheidsanalyse van de betekenis van het verloren oppervlak (in kms^2) door zandwinnings. In het eerste gedeelte worden de ingeschatte hoeveelheden gegeven in netto en bruto getallen ($=1.4 * \text{de netto hoeveelheden}$ (van Duin e.a., 2007, 2008)). Grootschalige initiatieven zoals MV2 worden waarschijnlijk een terugkerend fenomeen en worden tentatief in geschat op het huidige winningsregime van MV2. Er worden 3 scenario's uitgerekend:

- alles 2 meter diepe winning
- alles 6 meter diepe winning
- de grootschalige winning 10 meter diepe winning en de rest 6 meter.

De verschillende jaren laten zien hoe de verloren oppervlaktes accumuleren in de tijd waarbij uitgerekend wordt wat de betekenis is voor het bereiken van volledig herstel op verschillende jaren. Er wordt wel uitgegaan van een functioneel herstel van 25% in ieder jaar. Dat overschat wellicht het eerste rekolonisatie jaar maar onderschat de jaren daarop.

	Netto hoeveelheden (M ³)	Bruto hoeveelheden (M ³)		
RWS	20.000.000	28.000.000		
Commerciële winningen	25.000.000	35.000.000		
Grootschalige initiatieven	60.000.000	84.000.000		
windiepte	2 meter			
Duur rekolonisatie	1 jaar	4 jaar	6 jaar	8 jaar
RWS	14	46	67	88
Commerciële winningen	18	57	83	109
Grootschalige initiatieven	42	137	200	263
Sompage	74	239	349	459
Windiepte	6 meter			
Duur rekolonisatie	1 jaar	4 jaar	6 jaar	8 jaar
RWS	5	15	22	29
Commerciële winningen	6	19	28	36
Grootschalige initiatieven	14	46	67	88
Sompage	25	80	116	153
Windiepte regulier	6 meter			
Windiepte grootschalig	10 meter			
Duur rekolonisatie	1 jaar	4 jaar	6 jaar	8 jaar
RWS	5	15	22	29
Commerciële winningen	6	19	28	36
Grootschalige initiatieven	8	27	40	53
Sompage	19	61	90	118

6 Synthese

6.1 De verschillende argumenten en conclusies samenvattend

Rekolonisatie is binnen de context van de zanderige oostelijke Noordzee, de westelijke Noordzee (die veel grind kent) en het zuidelijk Kanaal goed onderzocht. Over het algemeen is het een patroon van eerste settlement van typisch r-strategen als wormen, daarna volgen binnen één á twee jaar alle soorten nodig voor een complete gemeenschap. De rekolonisatie gebeurt vooral door settlement van larven uit de waterkolom. De jaren daarop is er wel dynamiek in soorten bestand die gekoppeld lijkt aan een normale natuurlijke dynamiek in soorten bestand en diversiteit. Het herstel in de jaren daarop is vooral in aantalen en biomassa. Dit komt ook overeen met de gangbare theorieën over zee met grootschalige processen van water- en larventransport.

Elementen die versturend kunnen werken hebben te maken met zeer hoge slibgehalten) of met de kwaliteit van het grind. Een slibbge bodem kent een andere gemeenschap en de rekolonisatie duurt langer. Voor grinderige bodems leidt exploitatie vaak tot een duidelijke verandering van het karakter van de ondergrond. Er treedt dan wel herstel op maar naar een andere gemeenschap die gekoppeld is aan die specifieke bodemkwaliteit. In de Nederlandse situatie geldt dat alleen voor de Klaverbank (van Moorsel, 1994, 2002) en de Borkumse Stenen (Rozemeijer e.a. 2008)

Vanuit de maatschappelijke context dient er meer duidelijkheid te komen over rekolonisatie van diepe winningen en over rekolonisatie van de regio Zeeuwse Banken. De diepe winning wordt bestudeerd door HBR. Voor het MEP van RWS en LaMER lijkt de Zeeuwse banken de openliggende vraag.

6.2 Verschillende varianten van onderzoek

1. T0 opname van de Zeeuwse banken met literatuur review

We weten niet wat er op de Zeeuwse banken zit. Er is onvoldoende beeld van de gemeenschappen noch van de mogelijkheid dat hier zich schelpenbanken bevinden. Er is een eerste beperkte opname gemaakt van een winningsgebied dat tot -6 onder maaiveld verdiept zal gaan worden. Dat laat een zeer arme gemeenschap zien (Goudswaard & Perdon, 2009). Er is dringend behoefte om te weten wat zich op de Zeeuwse banken bevindt. Is dit nu een aparte gemeenschap waar een andere rekolonisatie valt te verwachten? Of lijkt het op de omringende gebieden (Vlaamse Banken en Voordelta).

Vervolgens zouden de aangetroffen gemeenschappen en soorten geëvalueerd kunnen worden met behulp van literatuur of de rekolonisatie gaat via de grootschalige larvale fases. Als dat inderdaad het geval is dient te worden afgewogen of er wel een rekolonisatie onderzoek nodig is. Wat draagt het immers bij aan de informatie die er al is? Ook als blijkt dat het over het gehele gebied een dergelijk arme gemeenschap doet zich de vraag voor of dit intensief gemonitord moet worden op rekolonisatie.

Indien er zeer zeldzame soorten aangetroffen worden is het weer een ander verhaal.

Beoordeling: deze T0 lijkt een verstandige investering. Het levert basisinformatie en het dient ook de vraag over schelpenbanken.

2. Functioneel herstel

Wat zit er in de magen van vissen gedurende de rekolonisatie? Is dit in enige mate gekoppeld aan de dieren aangetroffen in de bodem? Na hoeveel maanden/ jaren is dit een redelijke correlatie?

Beoordeling: Dit is moeilijk onderzoek. Vissen zijn ook mobiel in termen van kilometers. Voordelta onderzoek laat ook weinig correlatie zien tussen het benthos van een precieze locatie en de maaginhoud van aldaar gevangen vis. Toch zijn bijvoorbeeld de Voordelta resultaten wel bruikbaar in effect bespiegelingen op grotere schaal. Op Voordelta-niveau is er wel degelijk een koppeling tussen maaginhoud en het gebied.

Beoordeling: Dit is nuttig onderzoek wat bij kan dragen tot het relativeren van de impact van zandwinning. En de kracht van dergelijke data neemt wel toe door meerdere locaties (Zeeuwse Banken en Voordelta) te combineren.

3. Monitoring rekolonisatie van een -6 meter lokatie:

Er is enige onzekerheid of -6 meter ontgravingen hetzelfde rekoloniseren als -2 meter ontgravingen. De huidige winning op Zeeland kan gebruikt worden omdat fenomeen te volgen. Dit zou dan in een frequentie kunnen van T0, T4jaar, T6jaar. De grote kennislacune ligt nl bij

Beoordeling: deze proef vult een kennisleemte in van zowel het locatie specifieke element als dat van -6 winningen. Aan de andere kant in het MV2-programma wordt de rekolonistatie van een veel diepere winning gevolgd. Als de gemeenschappen hetzelfde zijn, wat draagt een Zeeuwse Banken onderzoek nog bij? Een op te lossen issue is de referentie. Daar is een gebied voor nodig dat > 8 jaar geleden gewonnen is geweest en ook gedurende deze periode niet meer gewonnen zal gaan worden. Is dat wel voor handen. Er loopt een leiding daar waar Steenbanken en Middelbank samengekomen. Deze zone dient als referentie voor de autonome ontwikkeling in het gebied, bij eventuele vervolgstudies.

4. Processen onderzoek

Het zou goed zijn eens aan te tonen dat rekolonisatie een grootschalig random proces is. Larven komen op binnen bepaalde tijdsvensters op een onvoorspelbaar precies moment in onvoorspelbare hoeveelheden in de waterkolom. Voor de meeste soorten gaat het om veel larven. De wolk gedraagt zich vervolgens als deeltje in de waterbewegingen. Na een periode is er settlement van larven op de bodem in enorme hoeveelheden. Een zomer populatie is bv 3 tot 4 keer groter dan de stabiele winterpopulatie. De recruitment (dat wat de zomer overleeft) is ook weer het resultaat van onvoorspelbare dichtheidsafhankelijke en -onafhankelijke processen. Dit alles is onvoorspelbaar. Dit proces kan gemonitord worden door bestandsopnames op geregelde tijden (4 * per jaar) te koppelen met een

(continu) monsterring van de waterfase. Een periode van twee jaar kan overtuigende resultaten leveren

Beoordeling: Dit is onderzoek verbeterd de effect voorspelling aanmerkelijk. Daarnaast levert het begrip van het systeem waar het nog niet is.

5. Bestandsopnames van historische ontgravingen

In feite zijn alle stadia van rekolonisatie aanwezig. Langs de hele kust zijn ontgravingen in verschillende fases van herstel. Bestandsopnames gekoppeld aan de historie kan duidelijkheid scheppen wat kustlangs de hersteltijden zijn

Beoordeling: Deze opzet levert informatie kustlangs en kan ook gegevens leveren over herstelperiodes langer dan 4 jaar en korrelgroottes. Men kan denken aan gegevens van de Zeeuwse banken, ergens Hollandse Kustboog en Nadeel is dat eventueel andere (storende) fenomenen waarschijnlijk niet gemonitord zijn

6.3 Suggestie voor onderzoek

Het beste lijkt een combinatie van voorstel 1 en 5 uit sectie 6.2: een Het beste onderzoek lijkt een bestandsopname van de Zeeuwse banken waarbij verschillende gebieden bemonsterd worden met een verschillende historie in winning. Veel gebied op de Zeeuwse banken heeft al een historie van exploitatie. Als referentiegebieden zouden de vrijwaringszones rond de leiding op de Zeeuwse banken kunnen dienen. Daar is nog nooit gewonnen en het is waarschijnlijk nog ongestoord voor de verstoring "zandwinning" (niet voor andere verstoring als visserij). Deze benadering genereert inzicht in de rekolonisatie in meerdere fases van ontwikkeling (kort en lang). Eventueel kan ook een gebied worden uitgezocht dat >8 jaar niet meer geëxploiteerd is geweest als referentie.

Samen met de andere komende resultaten (die vooral de lange termijn (> 4jaar) zouden moeten bestuderen zouden moeten monitoren) geeft een dergelijke benadering een uitputtend beeld. De resultaten van de rekolonisatie van de diepe winputten van HBR zullen de onzekerheid over diepe winningen wegnemen. (al is het niet te verwachten dat een diepe winning leidt tot een andere rekolonisatie: de getijstromingen zorgen voor voldoende waterbeweging).

Op de voorgestelde manier worden meerdere doelen gediend, staan de meerdere onderzoeken in elkaars verlengde en blijven de kosten beperkt. Het is namelijk niet te verwachten dat enig resultaat van welk scenario dan ook zal leiden tot een verandering in uitvoering. Door winning en rekolonisatie verdwijnt effectief ~240 km² als de jaren van rekolonisatie mee gerekend worden. Dat valt nog steeds in het niet bij het specifieke ecotoop en de schaal van de bodem gemeenschappen. De gevoeligheidsanalyse laat zien dat een langere rekoloniatietijd nog steeds zeer lage getallen aan verdwenen oppervlak zien.

7 Literatuur

- Armonies, W. 1996. Changes in distribution patterns of 0-group bivalves in the Wadden Sea: byssus-drifting releases juveniles from constraints of hydrography. *J. Sea Res.* 35: 323-334.
- Armonies W. (2001) What an introduced species can tell us about the spatial extension of benthic populations. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 209 289-294, 2001
- Baptist M.J., J. van Dalssen, A. Weber, S. Passchier, S. van Heteren (2006) The distribution of macrozoobenthos in the southern North Sea in relation to meso-scale bedforms. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 68: 538-546
- Baptist M.J. (Ed.), J.E. Tamis, B.W. Borsje, J.J. van der Werf (2008) Review of the geomorphological, benthic ecological and biogeomorphological effects of nourishments on the shoreface and surf zone of the Dutch coast. Report IMARES C113/08, Deltares Z4582.50
- Barrio Froján, C.R.S., S.E. Boyd, K.M. Cooper, Jacqueline D. Eggleton, S. Ware (2008) Long-term benthic responses to sustained disturbance by aggregate extraction in an area off the east coast of the United Kingdom *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 79: 204-212
- Ontwerpbeleidsnota Noordzee (2008) Ministerie Verkeer en Waterstaat. <http://www.inspraakpunt.nl/projecten/procedures/nationaalwaterplan2009.aspx>
- Bijkerk, R. (1988) Ontsnappen of begraven blijven. De effecten op bodemdieren van een verhoogde sedimentatie als gevolg van baggerwerkzaamheden – Literatuuronderzoek. RDD Aquatic Ecosystems, Groningen
- Birklund, J., H. Toxvig & C. Laustrup, 1996. RIACON Risk analysis of coastal nourishment techniques. Risk of shoreface nourishment and subaqueous sand extraction for the coastal marine benthic community. Evaluation of the nourishment and sand extraction off Torsminde, Denmark. Danish Coastal Authority, in cooperation with Water Quality Institute (VKI).
- Boers, M. (2005) Effects of a deep sand extraction pit; Final report of the PUTMOR measurements at the Lowered Dump Site". Rijkswaterstaat, rapport RIKZ/2005.001.
- Bos. O. (2005) Recruitment variation of *Macoma balthica* (L.): is there a role for larval food limitation? Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen ISBN 90-367-2356-6
- Boyd, S.E., D.S. Limpenny, H. L. Rees, K.C. Cooper and S. Campbell. (2003) Preliminary observations of the effects of dredging intensity on the recolonization of dredged sediments the south-east coast of England (Area 222). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 57: 209-223pp
- Boyd S.E., K.M. Cooper, D.S. Limpenny, R. Kilbride, H.L. Rees, (2004) Assessment of the re-habilitation of the seabed following marine aggregate dredging. *Sci. Ser. Tech. Rep., CEFAS Lowestoft*, 121: 154pp
- Boyd S.E., H.L. Rees. (2003). An examination of the spatial scale of impact on the marine benthos arising from marine aggregate extraction in the Central English Channel. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 57, 1-16pp
- Commissie MER (2008a) Winning suppletiezand Noordzee 2008 t/m 2012 Toetsingsadvies over het milieueffectrapport en de aanvulling rapportnummer 1852-68, 18 maart 2008.
- Commissie MER (2008b) Winning ophoogzand Noordzee. Toetsingsadvies over het milieueffectrapport en de aanvulling daarop. rapportnummer 1749-85, 18 juli 2008

- Cooper, K.M., Eggleton, J.D., Vize, S.J., Vanstaen, K., Smith, R., Boyd, S.E., Ware, S., Morris, C.D., Curtis, M., Limpenny, D.S. and Meadows, W.J., (2005). Assessment of the re-habilitation of the seabed following marine aggregate dredging - part II. Sci. Ser. Tech Rep., Cefas Lowestoft, 130: 82pp.
- Craeymeersch JA, Escaravage V, Steenbergen J, Wijsman J, Wijnhoven S, Kater B, (2006). De bodemfauna in het Nederlands deel van de Scheldemonding. In: Coosen J, et al. (Eds.) 2006. Studiedag: De Vlakte van Raan van onder het stof gehaald. Oostende, 13 oktober 2006, VLIZ Special Publication 35: pp. 85-105.
- Craeymeersch, J.A.M.; Witbaard, R.; Dijkman, E.M.; Meesters, H.W.G. (2008) Ruimtelijke en temporele patronen in de diversiteit van de macrobentische infauna op het Nederlands Continentaal Plat IMARES Rapport C070/08 p. 40.
- Daan, R., M. Mulder (2005) The macrobenthic fauna in the dutch sector of the north sea in 2004 and a comparison with previous data. NIOZ Rapport 2005-3.
- Daan, R., M. Mulder (2006) The macrobenthic fauna in the Dutch sector of the North Sea in 2005 and a comparison with previous data. NIOZ-Rapport 2006-3.
- Dankers N., (2001), Ontwerp-ecotopenstelsel kustwateren : voorstel voor classificatie en advies voor validatie, Alterra-rapport 177.
- De Kok J.M. (2000) Slibtransport rond de Maasmond Resultaten van het SILTMAN onderzoek. Rapport RIKZ/2000.027
- De Kok, J.M. (2004) Slibtransport langs de Nederlandse kust. RIKZ/OS/2004.148w
- De Ronde J.G. (2008) Toekomstige langjarige suppletiebehoefte. Deltares Rapport Z4582.24
- Degraer, S.; Wittoeck, J.; Appeltans, W.; Cooreman, K.; Deprez, T.; Hillewaert, H.; Hostens, K.; Mees, J.; Vanden Berghe, E.; Vincx, M. (2006). De macrobenthosatlas van het Belgisch deel van de Noordzee. Federaal Wetenschapsbeleid: Brussel, Belgium. ISBN 90-810081-5-3. 164, photographs, 1 cd-rom.
- Desprez, M. (2000). Physical and biological impact of marine aggregate extraction along the French coast of the Eastern English Channel: short- and long-term post-dredging restoration. ICES Journal of Marine Science, 57: 1428-1438.
- Ellerbroek, G., M.J.C. Rozemeijer, J.M. de Kok, J. de Ronde (2008) Evaluatieprogramma MER winning suppletiezand Noordzee 2008-2012,. RWS Noord-Holland 16 juli 2008
- Essink, K. (1997) Risk analysis of coastal nourishment techniques (RIACON): final evaluation report. RIKZ-97.031. Essink, K., 2005. Bodemfauna en beleid: Een overzicht van 35 jaar bodemfauna onderzoek en monitoring in Waddenzee en Noordzee. Rapport RIKZ-2005.028 ISSN 0927-3980.
- Essink K., J.A. van Dalssen (1998) The RIACON Project. WADDEN SEA NEWSLETTER 1998-1.
- Gilkinson, K. D., D. C. Gordon Jr., K. G. MacIsaac, D. L. McKeown, E. L.R. Kenchington, C. Bourbonnais, W. P. Vass (2005) Immediate impacts and recovery trajectories of macrofaunal communities following hydraulic clam dredging on Banquereau, eastern Canada ICES J. Mar. Sci., January 1, 2005; 62(5): 925 - 947.
- Goudswaard, P. C., J.J. Kesteloo, K.J. Perdon & J. M. Jansen (2008) Mesheften (Ensis directus), halfgeknotte strandschelpen (Spisula subtruncata), kokkels (Cerastoderma edule) en otterschelpen (Lutraria lutraria) in de Nederlandse kustwateren in 2008. WUR IMARES Rapport C069/08
- Goudswaard, P. C., K.J. Perdon (2009) Kwalitatieve bemonstering in het zandwingebied Zeeland in 2009 (S7W, SW) en S7X op de aanwezigheid van scheklpdierbanken. WUR IMARES Rapport C031/09

- Groenewold, S., N.M.J.A. Dankers, (2002). Ecoslib : de ecologische rol van slib. Alterra-rapport 519
- Grotjahn, M. & G. Liebezeit, 1997. Risk analysis of coastal nourishment techniques (RIACON). Risk of beach nourishment for the foreshore and shallow shoreface benthic communities on the island of Norderney, Germany. - Evaluation of the nourishment in 1994. AQUA-MARIN, Norden/TERRAMARE, Wilhelmshaven
- Laane, R.W.P.M., H.L.A. Sonneveldt, A.J. Van der Weyden, J.P.G. Loch, G. Groeneveld (1999). Trends in the spatial and temporal distribution of metals (Cd, Cu, Zn and Pb) and organic compounds (PCBs and PAHs) in Dutch coastal zone sediments from 1981 to 1996 : a model case study for Cd and PCBs. *Journal of sea research*. -Vol. 41: 1-17.
- Le Roy, D., S. Degraer, K. Mergaert, I. Dobbelaere, M. Vincx & P. Vanhaecke, 1996. 'Risk of shoreface nourishment for the coastal marine benthic community. Evaluation of the nourishment off De Haan, Belgium. ECOLAS N.V., Antwerp.
- Leopold MF (2002a) Nulmeting vogels en benthos in de Texelse vooroever (KUSTADV*NH), Alterra-Texel
- Leopold MF (2002b) T-1 meting benthos en vissen in de Texelse vooroever (KUSTADV*NH), september 2002, Alterra-Texel
- Leopold MF (2003) T-2 meting: vogels, vissen en benthos in de Texelse vooroever (KUSTADV*NH), februari 2003, Alterra-Texel
- Levin L.A. (2006) Recent progress in understanding larval dispersal: new directions and digressions *Integrative and Comparative Biology* 2006 46(3):282-297
- Lindeboom, H.J.; Dijkman, E.M.; Bos, O.G.; Meesters, E.H.; Cremer, J.S.M.; de Raad, I.; van Hal, R.; Bosma, A. (2008). *Ecologische atlas Noordzee: ten behoeve van gebiedsbescherming*. Wageningen IMARES: Den Burg, The Netherlands. ISBN 978-90-7454-12-7. 289 pp.
- McQuaid, C. D., T. E. Phillips , 2000 Limited wind-driven dispersal of intertidal mussel larvae: in situ evidence from the plankton and the spread of the invasive species *Mytilus galloprovincialis* in South Africa. *Mar Ecol Prog Ser* 201: 211-220
- Mulder, S. (2004) Ecologische effecten van een onderwateroeversuppletie. Monitoring in het kader van toetsing aan de Vogel- en Habitatrichtlijnen. Werkdocument RIKZ/OS/2004.602w
- Newell, R.C., Seiderer, L.J., & Hitchcock, D.R. (1998). The impact of dredging works in coastal waters: a review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the seabed. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, 36: 127-178.
- Newell R.C., J.E. Robinson, B. Pearce¹, L.J. Seiderer, R.M. Warwick, P.M. Somerfield, K.R. Clarke, H. Jenkins N. Beer, F. Burlinson & K. Stacey (2006) A predictive framework for assessment of recoverability of marine benthic communities following cessation of aggregate dredging. In: Newell, R.C. and Garner, D.J. 2006 (eds.). *Marine aggregate extraction: Helping to determine good practice*. Marine Aggregate Levy Sustainability Fund (ALSF). Conference proceedings: September 2006.
- Newell, R.C., Seiderer, L.J. , Simpson, N.M. & Robinson, J.E. 2004. Impacts of Marine Aggregate Dredging on Benthic Macrofauna off the South Coast of the United Kingdom. *Journal of Coastal Research*, 20(1), 115-125
- Peletier, H., G.M. Janssen (2004). De levende natuur als ecosysteemvormer in kustgebieden: de effecten van biologische activiteiten en materialen in de ecologie van de zandige kust. RIKZ/2004.005

- Rachor, E., Nehmer P., 2003. Erfassung und Bewertung ökologisch wertvoller Lebensräume in der Nordsee. FKZ 899 85 310 Bundesamt für Naturschutz mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
- Rees, H. L., Eggleton, J. D., Rachor, E., and Vanden Berghe, E. (Eds). 2007. Structure and dynamics of the North Sea benthos. ICES Cooperative Research Report No. 288. 258 pp.
- Reiss H., I. Kröncke (2005) Seasonal variability of infaunal community structures in three areas of the North Sea under different environmental conditions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 65 (2005) 253-274
- Robinson, J.E., Newell, R.C., Seiderer, L.J. & Simpson, N.M. (2005). Impacts of Aggregate Dredging on Sediment Composition and Associated Benthic Fauna at an Offshore Dredge Site in the Southern North Sea. *Marine Environmental Research* 60: 51-68
- Rozemeijer, M.J.C., J.M. de Kok, J. de Ronde, G. Ellerbroek (2008) De cumulatieve effecten van winning van ophoogzand en havenbaggeractiviteiten en vaargeulverruiming in het Eemsgebied op de Borkumse Stenen en de Borkum-Riffgrund. Antwoord op vragen Commissie m.e.r. bij MER winning ophoogzand Noordzee 2008-2017. RWS DNH 11 juli 2008
- Seiderer, L. J., Newell, R. C. 1999. Analysis of the relationship between sediment composition and biological community structure in coastal deposits: Implications for marine aggregate dredging. *ICES Journal of Marine Science*, 56: 757-765.
- Speybroeck, J., Bonte, D., W. Courtens, T. Gheskiere, P Grootaert, J-P, Maelfait, M. Mathys, S. Provoost, K. Sabbe, E. Stienen, V. Van Lancker, M. Vincx, S. Degraer (2006) Studie over de impact van zandsuppleties op het ecosysteem. Dossierrn. 202.165 eindrapport. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu En Infrastructuur, Agentschap voor Maritieme Diensverlening en Kust, Afdeling Kust
- Speybroeck, J., Bonte, D., W. Courtens, T. Gheskiere, P Grootaert, J-P, Maelfait, M. Mathys, S. Provoost, K. Sabbe, E. Stienen, V. Van Lancker, M. Vincx, S. Degraer (2008) The Belgian sandy beach ecosystem: a review *Marine Ecology Volume 29 Issue s1*, Pages 171 - 185
- Steenbergen, J. & V. Escaravage, (2006). Baseline study MEP-MV2; lot 2 bodemdieren. Eindrapportage Campagens 2004-2005, rapport C053/06.
- Stutterheim S., 2002. Van Noord tot Noordwest: een studie naar de berging van baggerspecie op loswallen. RIKZ/2002.047
- Suijlen, J.M., R.N.M. Duin, (2001) Variability of near-surface total suspended matter concentrations in the Dutch coastal zone of the North Sea : climatological study on the suspended matter concentrations in the North Sea. RIKZ/OS/2001.150X
- Tempelman D., J.T. van der Wal, G. van Moorsel, M. de Kluijver, W. Lewis, A. Storm, T. Vanagt, T. van Haaren (2008) The Macrobenthic Fauna in the Dutch Sector of the North Sea in 2007 and a comparison with previous data. Grontmij 202462-2 (draft)
- Tulp, I., C. van Damme, F. Quirijns, E. Binnendijk, L. Borges 2007 Vis in de Voordelta: nulmetingen in het kader van de aanleg van de tweede Maasvlakte. Wageningen IMARES C081/06
- Van Dalssen, J.A., K. Essink (1997) Risk analysis of coastal nourishment techniques (RIACON) : national evaluation report (The Netherlands). Report RIKZ-97.022
- van Dalssen, J.A. (1999) Long-term effects of subaqueous sand extraction north of the island of Terschelling. RIKZ Rapport 98.034
- Van Dalssen J.A (2000) Ecologische effecten van zandwinning op Zee. Koeman & Bijkerk 2000-16 RKZ-766

- van Dalftsen, J.A., O.W.M. Duijts, B. Storm (1999) Effecten op de bodemfauna van het gebruik van een tijdelijke zandwin/overslagput in de kustzone ter hoogte van Heemskerk. Punaise 2 rapportage van onderzoek. Koeman en Bijkerk, rapport 99-13.
- van Dalftsen, J.A., Essink K. (2001) Benthic community response to sand dredging and shoreface nourishment in Dutch coastal waters. *Senckenbergiana maritima*. -Vol. 31, no. 2 ; p. 329-332, 2001
- van Dalftsen, J.A., K. Essink, H. Toxvig Madsen, J. Birklund, J. Romero & M. Manzanera, 2000 - Differential response of macrozoobenthos to marine sand extraction in the North Sea and the Western Mediterranean. *ICES Journal of Marine Science* 57: 1439-1445.
- van Dalftsen, J.A., J. Oosterbaan (1995) Risk analysis of coastal nourishment techniques (RIACON) : the effects on benthic fauna of shoreface-nourishment off the island of Terschelling, the Netherlands #report 6: post-nourishment survey, Workdocument RIKZ/OS-96.605X, RIACON-NL-06
- van Duin, C.F., W. Gotjé, C.J. Jaspers, M. Kreft 2008. MER winning ophoogzand Noordzee 2008 t/m 2017. Grontmij 13/99083239/CD (http://news.eia.nl/bibliotheek_detail.aspx?id=121868)
- van Duin, C.F., W. Gotjé, C.J. Jaspers, M. Kreft 2007. MER Winning suppletiezand Noordzee 2008 t/m 2012. Grontmij 13/99080995/CD, revisie D1 (http://news.eia.nl/bibliotheek_detail.aspx?id=121868)
- van der Veer, H.W.; Bergman, M.J.N.; Beukema, J.J. (1985). Dredging activities in the Dutch Wadden Sea: effects on macrobenthic infauna. *Neth. J. Sea Res.* 19(2): 183-190.
- Van Hoey G, Degraer S, Vincx M (2004) Macrobenthic community structure of soft-bottom sediments at the Belgian Continental Shelf. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 59: 599-613.
- van Moorsel G. W.N.M. (1994) The Klaverbank (North Sea), geomorphology, macrobenthic ecology and the effect of gravel extraction. Bureau Waardenburg Report no.: 94.24.
- van Moorsel G.W.N.M. (2003) Ecologie van de Klaverbank: biotasurvey 2002. Ecosub, 28-05-2003, 02x07. RKZ 1206
- van Scheppingen, Y.; Groenewold, A. (1990). Spatial distribution of benthos in the Southern North Sea: the Dutch coastal zone, overview 1988-1989. Rijkswaterstaat Directie Noordzee Milzon-Benthos Rapport, 90-03.