

Bodemgesteldheid en mechanische kokkelvisserij in de Waddenzee

Rapport RIZA/2004.028
ISBN 9036956862

3 December 2004

Leo Zwarts

m.m.v.
Wouter Dubbeldam
Henny van den Heuvel
Elsbeth van de Laar
Ute Menke
Lodewijk Hazelhoff
Cor J. Smit

Inhoudsopgave	3
1 Inleiding	5
1.1 Vraagstelling	5
1.2 Opbouw van het rapport	6
1.3 Dankwoord	7
2 Methode	9
2.1 Oude bestanden	9
2.2 Nieuwe bestanden	11
2.3 Keuze voor het slibgehalte	13
2.4 Monsternamen	14
2.5 Slibgehalte voorspeld aan de hand van het lutumgehalte	15
2.6 Slibgehalte voorspeld aan de hand van U-cijfer	16
2.7 Omzetting Coulter-analyse naar slibgehalte	17
2.8 Omzetting Malvern-analyse naar slibgehalte	19
2.9 Omzetting van IBN-zeef-data naar slibgehalte	20
2.10 Relatie bodemgesteldheid en monsterdiepte	21
2.11 Effect windkracht en windrichting op slibgehalte	23
2.12 Seizoensvariatie in bodemgesteldheid	24
2.13 Jaar op jaar variatie in bodemgesteldheid	26
3 Variatie in slibgehalte op de monitoringsplekken	27
3.1 Inleiding	27
3.2 Seizoen	29
3.3 Waterstand	30
3.4 Erosie en sedimentatie	31
3.5 Kokkelbevissing: het Ameland experiment	31
3.6 Kokkelbevissing op de monitoringsplekken	33
4 De bodemgesteldheid in de jaren vijftig	35
4.1 Inleiding	35
4.2 Samenhang slibgehalte en abiotische variabelen	36
4.3 Voorspelling slibgehalte op basis van abiotische variabelen	39
4.4 Voorspelling slibgehalte na correctie voor cumulatief slibtransport	41
4.5 Het locale effect van stabiele mosselbanken op de bodemgesteldheid	43
4.6 De gedigitaliseerde bodemkaart	44
5 De bodemgesteldheid in de jaren negentig	47
5.1 Inleiding	47
5.2 Malvern (1989 – 1996)	48
5.3 Coulter (1996 – 2002)	50
5.4 Slibbepalingen (1981 – 2000)	51
5.5 IBN-zeef (1998 – 1999)	51
5.6 Samenvoeging recente monsters	52
5.7 Het effect van mosselbanken op de bodemgesteldheid	54
5.8 Is de Waddenzee slibrijker geworden?	55
6 Erosie en sedimentatie in de Waddenzee	57

6.1	Erosie en sedimentatie op kleine schaal	57
6.2	Erosie en sedimentatie op grote schaal	58
6.3	Verandering bodemgesteldheid door erosie en sedimentatie	60
7	Waar lagen de kokkelbanken en waar werd gevist?	63
7.1	Inleiding	63
7.2	Kokkelbanken	64
7.3	Beviste kokkelbanken	71
7.4	Lange-termijn veranderingen in de verspreiding van de kokkelbanken	76
8	Lange-termijn effect bevissing op bodemgesteldheid	83
8.1	Inleiding	83
8.2	Vergelijking beviste en onbeviste platen binnen het open gebied	84
8.3	Vergelijking open en gesloten gebied	86
8.4	Vergelijking open en gesloten gebied per deelgebied	88
8.5	Vergelijking kokkelbanken in open en gesloten gebied	90
8.6	Verandering in bodemgesteldheid op kokkelbanken die al voor 1980 werden bevist	93
9	De ecologische functie van bevist gebied	95
9.1	Inleiding	95
9.2	Bodemdieren	95
9.3	Vogels	95
9.4	De ecologische waarde van beviste gebieden	97
10	Samenvatting en conclusies	99
10.1	Meetfouten en natuurlijke variatie	99
10.2	Is de bodemgesteldheid van de Waddenzee veranderd?	100
10.3	Waar liggen de kokkelbanken en waar wordt gevist?	100
10.4	Effect van mechanische bevissing op het slibgehalte	101
10.5	Aanbevelingen voor verder onderzoek	102
11	Literatuur	105
	Appendix 1: Ingetekende en beviste kokkelbanken	109
	Appendix 2: Het oordeel van de auditcommissie	119
	Toelichting CD	125

1 Inleiding

1.1 Vraagstelling

Mechanische kokkelvisserij is gebaseerd op het principe dat kokkels (die in de bovenste 4-5 cm van het substraat leven) van het sediment worden gescheiden door een krachtige waterstraal op het bodemoppervlak te richten waardoor het zand wordt los gemaakt. Door achter het spuitstuk een kooi over de bodem door het water te trekken worden de kokkels gevangen en verdwijnt de bovenste paar cm van de bodem tussen de spijlen in het water. Er is geen discussie over het korte termijn effect van deze vorm van visserij op de bodemgesteldheid. De bovenlaag van de bodem wordt in suspensie gebracht en omdat grovere zanddeeltjes eerder bezinken dan het fijne slib, is de top laag van de bodem na bevissing ter plaatse slibarm geworden. De vraag die we in dit rapport willen beantwoorden is of mechanische kokkelvisserij ook op langere termijn leidt tot een afname van het slibgehalte van de wadbodem. Op basis van een uitvoerig monsterprogramma in de westelijke Waddenzee, concluderen Piersma & Koolhaas (1997) en Piersma *et al.* (2001) dat de mechanische kokkelvisserij in de Waddenzee effect heeft op de bodemgesteldheid en daarmee op het gehele ecosysteem. Op basis van literatuuronderzoek komen Duiker *et al.* (1998) en Nomden *et al.* (1999) tot de tegengestelde conclusie. Beide laatstgenoemde rapporten zijn daarna kritisch geëvalueerd door Jansen (2000), die op zijn beurt concludeert dat de gevolgtrekkingen van Duiker *et al.* (1998) en Nomden *et al.* (1999) niet juist zijn.

De vraag of mechanische kokkelbevissing een lange termijn effect heeft gehad op de bodemgesteldheid zou te onderzoeken zijn door grondmonsters te nemen in gebieden voordat er gevist wordt en regelmatig daarna. Ter controle, zouden dan ook steeds monsters moeten worden gestoken in gebieden die niet bevestigd worden. Het nadeel van deze methode is dat we het effect van kokkelvisserij nu willen weten en niet over een paar jaar. Het alternatief is om terug te gaan in het verleden. Er is de afgelopen halve eeuw al veel bodemkundig onderzoek gedaan in de Waddenzee. De ontwikkeling van de korrelgrootteverdeling in wel en niet bevestigde gebieden is daarom te onderzoeken door in de bodemkundige archieven te gaan zoeken naar zoveel mogelijk oude grondmonsters, nieuwe monsters te nemen en die te vergelijken. Waar sinds 1992 wordt gevist is bekend omdat sindsdien voor elke kokkelboot de visplekken continue worden geregistreerd met een GPS (Kamermans *et al.* 2003a).

Het mogelijk effect van mechanische kokkelbevissing is dus te onderzoeken, maar daarbij doen zich wel een aantal problemen voor. Ten eerste vond er vóór 1992 al zo'n 20 jaar massaal kokkelbevissing plaats, maar weten we niet waar er toen is gevist.

Ten tweede is de Waddenzee zeer dynamisch en om die reden verwachten we grote temporele en ruimtelijke verschillen in de bodemgesteldheid van de bovenlaag. Door golfwerking en stroming vindt er op de wadplaten een voortdurende sedimentatie en erosie plaats van enkele cm's waardoor het slibgehalte aan voortdurende verandering is bloot gesteld. Bovendien

verplaatsen geulen zich in de tijd. Geografisch identieke monsterlocaties kunnen dus in de loop van de tijd anders komen te liggen t.o.v. geulen. Om deze variatie uit te middelen, zal het mogelijk effect van kokkelvisserij alleen aantoonbaar kunnen worden wanneer de vergelijking kan worden gebaseerd op grote aantallen metingen.

Een derde probleem is dat de Waddenzee de afgelopen 70 jaar is veranderd door grote waterstaatkundige ingrepen, zoals de aanleg van de Afsluitdijk, en hebben zich ook buiten de Waddenzee ontwikkelingen voorgedaan (zoals de storting van baggerspecie uit de haven van Rotterdam in de Noordzee). De veranderingen in de korrelgrootteverdeling als gevolg van dit menselijk handelen, moet worden gescheiden van het mogelijk effect van de kokkelvisserij.

Een vierde probleem is dat de bodemgesteldheid op verschillende manieren is gemeten. Het is dus nodig om, met behulp van ijklijnen, de metingen uit de diverse bestanden in elkaar om te zetten.

Een vijfde probleem is dat oude en recente metingen zelden op dezelfde plek zijn genomen, en de gegevens dus ruimtelijk geïnterpoleerd moeten worden. Deze en andere nog te benoemen problemen moeten worden opgelost om een objectieve analyse naar het effect van de kokkelvisserij op de bodemgesteldheid mogelijk te maken.

1.2 Opbouw van het rapport

Het rapport is als volgt opgebouwd. Eerst wordt in een methodisch hoofdstuk 2 de beschikbare bestanden met slibgehalten beschreven en de selectie verantwoord. Hoofdstuk 2 geeft ook de ijklijnen om alle metingen om te zetten naar slibgehalte.

Hoofdstuk 3 beschrijft de temporele variatie in het slibgehalte op een aantal plaatsen die reeds jarenlang worden gevolgd en analyseert in hoeverre deze verschillen verklaard kunnen worden door seizoenen, door windrichting, windkracht, erosie en sedimentatie. Voor een aantal van deze plekken kon het effect van kokkelvisserij op de bodemgesteldheid worden onderzocht.

Hoofdstuk 4 geeft als resultaat van een uitvoerige analyse de bodemkaart van de Waddenzee voor de jaren 50. Deze bodemkaart wordt gebruikt in hoofdstuk 5 om de monsters die de laatste 20 jaar zijn genomen te vergelijken met de uitgangssituatie toen kokkelvisserij nog niet plaats vond. In hoofdstuk 6 worden lodingskaarten met elkaar vergeleken om na te gaan waar erosie en sedimentatie in de Waddenzee heeft plaatsgevonden.

Hoofdstuk 7 laat zien waar de kokkelbanken de afgelopen 20 jaar hebben gelegen en waar de laatste 10 jaar is gevestigd. De bodem- en hoogtekaarten uit de hoofdstukken 4 en 5 worden daarna gebruikt om te beschrijven voor welke combinatie van abiotische omstandigheden kokkels de voorkeur hebben en waar door de vissers wordt gevestigd.

De gegevens uit hoofdstuk 3 t/m 6 worden in hoofdstuk 8 gebruikt om het lange termijn effect van kokkelvisserij te beschrijven. Hoofdstuk 9 beschrijft de natuurwaarden van de wadplaten met een verschillende hoogteligging en bodemgesteldheid, waardoor het mogelijk is de natuurwaarden van de bevestigde gebieden te evalueren. Hoofdstuk 10 geeft samenvattend de conclusies.

1.3 Dankwoord

De studie is gebaseerd geweest op teamwerk. Ik wil de volgende personen graag bedanken:

Herman Winkels (RIZA-IHW) en Willem Faber (RIZA-IHG) gaven me de gelegenheid menskracht van het RIZA in te zetten, waar de (beperkte) EVA-II-begroting noodzakelijk geachte analyses niet toestond. Zodoende kon het oude bodemkundige archief worden ontsloten door Henny van de Heuvel, konden de vele handgeschreven lijsten worden ingevoerd door Gebina Boersma, Mary Horn, en Jetty van Putten, alle "vissers-kaarten" worden gedigitaliseerd door Wouter Dubbeldam en Jaap Daling, en de geostatistische analyses worden uitgevoerd door Elsbeth van de Laar en Lodewijk Hazelhoff. Tijdens het verwerken van alle gegevens was Wouter Dubbeldam mijn steun en toeverlaat bij alle (te) ingewikkelde ArcView problemen.

De recente grondmonsters werden binnen het kader van het EVA-II-project grotendeels verzameld door Alterra (Norbert Dankers, Bruno Ens en Mardik Leopold), RIKZ (Hans Kleef en Peter Tydeman), RIVO (Pauline Kamermans) en RIZA (Jaap Daling en Leo Zwarts). Extra monsters werden verzameld door: Dianne Jansen en Art Groeneweg (Meetkundige Dienst) en Jan van der Kamp (Altenburg & Wymenga). De grondmonsters werden nauwgezet geanalyseerd door Anita Koolhaas (Altenburg & Wymenga) en André Meijboom (Alterra). Het NIOZ was zo vriendelijk om analyse-apparatuur en laboratorium-faciliteiten ter beschikking te stellen.

Aanvullende monstergegevens werden ter beschikking gesteld door Alterra (Cor Smit), Aquasense (Wouter Gotjé), NIOZ (Anne Dekinga, Rob Dekker, Anita Koolhaas en Theunis Piersma), Rijksuniversiteit Groningen (Simon Verhulst), en RIKZ (Karel Essink, Hans Kleef en Peter Tydeman). Bert Brinkman, Anne Dekinga, Aad Smaal, Theunis Piersma en Jaap de Vlas hielpen met het vinden van aanvullende gegevens.

Vanuit het EVA-2-project werd het werk intensief begeleid door Jaap de Vlas. Hij, evenals Bruno Ens, hebben de teksten kritisch doorgelezen. Jaap heeft me bovendien in de eindfase veel werk uit handen genomen. Ik ben voor hun kritisch commentaar ook dank verschuldigd aan Anne Dekinga, Jaap Holstein, Fred Jansen, Jaap van de Meer, Albert Oost, Theunis Piersma, Nathalie Steins en Geert-Jan Weltjer. Ook de auditcommissie (P.L. de Boer, Carlo Heip en Wim Wolff) heeft in belangrijke mate bijgedragen aan de verbetering van de tekst. Het commentaar van de auditcommissie is te vinden in appendix 2.

2 Methode

2.1 Oude bestanden

Er zijn de afgelopen decennia in de Nederlandse Waddenzee vele tienduizenden grondmonsters genomen. Niet al deze monsters zijn voor onze analyse van belang. Niet gebruikt zijn alle monsters die beneden de laagwaterlijn zijn verzameld. Daardoor blijven er bij voorbeeld van de 7023 monsters die verzameld zijn t.b.v. de Sediment Atlas Waddenzee (CD van RIKZ uit 1998) slechts 2287 monsters over. Ook alle monsters die in de kwelders en de landaanwinningswerken zijn verzameld zijn uiteindelijk buiten beschouwing gelaten. Alleen al van de Fries-Groningse landaanwinningswerken en aangrenzende kuststrook werden in de RIZA-archieven ruim 32.000 monsters teruggevonden, waarvan slechts 6% (namelijk de monsters buiten de landaanwinningszone) werden opgenomen. Daarnaast werden de monsters verwijderd die waren gestoken in de voormalige Lauwerszee en op het Groninger wad waar nu de Eemshaven ligt.

Uiteindelijk werd besloten om de uitgangssituatie – de bodemkaart van de Waddenzee voordat kokkelvisserij is begonnen – uitsluitend te baseren op de analyses die zijn verricht in de bodemkundige laboratoria van de toenmalige Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (RIJP) in Baflo en Lelystad. Door deze selectie ontstaat een homogeen bestand waar het slibgehalte altijd op dezelfde standaard manier is gemeten. Zo werden altijd alle monsters voorbehandeld met HCl en H₂O₂ om de kalk en het organisch materiaal te verwijderen; de gebruikte methode is exact beschreven door Hofstee (1980). Niet gebruikt zijn de 2254 boringen die verspreid over de gehele Waddenzee tussen 1900 en 1980 zijn verricht door o.a. Rijkswaterstaat en de Geologische Dienst en zoals die reeds waren gedigitaliseerd door het RIZA. Ook de oude NIOZ-studies (o.a. Kreger 1940, Baggerman 1953, Kristensen 1957, Postma 1961, Dapper & van der Veer 1981) zijn niet gebruikt. In de niet-gebruikte bestanden was het slibgehalte met een afwijkend methode bepaald of was niet duidelijk of de monsters wel of niet waren voorbehandeld. De geselecteerde oude monsters worden verder kortweg aangeduid als “RIJP-monsters”.

In veel monsters werd de bodemgesteldheid opgenomen tot een diepte van 0 – 25 of 0 – 30 cm beneden het maaiveld (de zogenaamde toplaag), maar vaak ook van de ondergrond (vaak tot 75 of 150 cm diep). Alleen het bovenste monster werd in onze analyse betrokken, in de oudere monsters meestal 0 – 25 of 0 – 30 cm.

Figuur 2.1

(A) Aantal verzamelde monsters verzameld per jaar. De RIJP-monsters uit de periode 1950 t/m 1980 (gebruikt om de bodemkaart te maken) zijn op twee wijzen in het laboratorium geanalyseerd: (1) graviometrisch bepaald slibgehalte of (2) bepaling van zeeffracties. (B) De monsters die later zijn genomen, zijn op 4 manieren verwerkt, namelijk (1) gezeefd, (2) graviometrisch bepaald slibgehalte in drie verschillende laboratoria, en (3) verwerkt met een "Coulter" laser particle size analyser of (4) een "Malvern" laser particle size analyser.

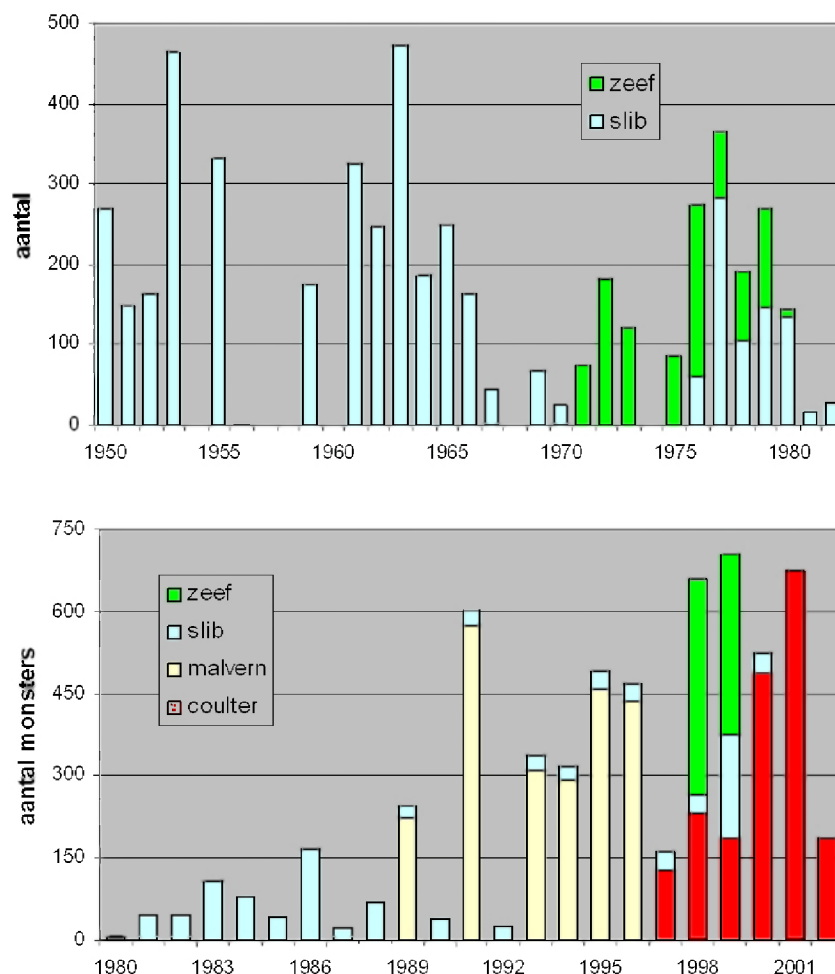


Fig. 2.1 laat zien in welke jaren de uiteindelijk geselecteerde 5078 monsters werden genomen. De RIJP-monsters werden hoofdzakelijk gestoken in het kader van vijf monsterprogramma's:

- (1) Tussen 1950 en 1955 werden verspreid over de gehele Waddenzee 2500 monsters gestoken, - de meeste 25 cm diep. Daarvan wordt verslag gedaan door o.a. Wiggers (1951), Wiggers (1953), Koning & Wiggers (1954). Al dit werk is later samengevat door de Glopper (1967). Ca 80% van de oorspronkelijke gegevens werden teruggevonden in het RIZA-archief in twee handgeschreven boeken. De plekken waren voor een klein deel aangegeven met Amersfoort-coördinaten, maar vaker nauwkeurig ingetekend op detail-kaarten.
- (2) Tussen 1956 en 1987 werd de bodem langs de Friese en Groninger kuststrook zeer intensief bemonsterd (Hoekstra *et al.* 1998). Uit deze zeer grote set gegevens, werden alleen de 2000 monsters geselecteerd die werden verzameld buiten de landaanwinningwerken. De meeste monsters werden verzameld tussen 1956 en 1960; vrijwel alle monsters werden genomen van de laag 0-25 cm. De monsterplekken waren aangeduid met afstanden en richtingen t.o.v. de genummerde landaanwinningssdammen.
- (3) Door Ente (1982) werden in 1966 176 monsters genomen op het Balgzand en onder west Ameland en 1978 nog eens 20 onder oost Terschelling. De oorspronkelijke data met kaartjes werden teruggevonden in het RIZA-archief.

-
- (4) Het vierde bestand had ook betrekking op het Fries-Groninger wad: 800 monsters (25 cm diep) die werden verzameld tussen 1976 en 1980 in onderzoeksveldjes van meestal slechts 0.1 ha. De situering van de monsterveldjes wordt gegeven door Zwarts (1988).
 - (5) Het vijfde bestand betrof al het werk dat vanaf 1972 in Baflo werd verricht voor Essink (1978 en later), aanvankelijk alleen op het Groninger wad, later ook verspreid over de Waddenzee (Ballastplaat, Piet Scheveplaat, Balgzand, Eems-Dollard). Van deze 978 monsters (die 10 cm diep werden gestoken) werden de zeeffracties bepaald en op basis daarvan het U-cijfer; het slibgehalte werd niet gemeten. Vandaar dat voor deze monsters (apart aangeduid in Fig 2.1) het slibgehalte moest worden afgeleid. Alle gegevens werden teruggevonden in het RIJP-archief en het RIKZ-archief in Haren. Van niet alle monsters kon de monsterplek precies worden bepaald; deze monsters werden buiten de analyse gelaten. Op een aantal plekken op het Groninger wad worden sinds 1972 minstens twee maal per jaar grondmonsters genomen en van een aantal plekken in de Dollard en de Piet Scheveplaat sinds 1976. Van deze lange series werden de monsters voor 1980 samen gevoegd met de overige RIJP-monsters. De latere monsters werden in andere laboratoria uitgezocht en werden samengevoegd met de andere recente monsters.

Van alle monsterpunten werd de positie overgenomen of ingemeten. Om de positie nauwkeurig te kunnen bepalen, werden de kaarten gescand en digitaal op coördinaat gezet, zodat ook de positie van de monsterpunten nauwkeurig kon worden bepaald. Van alle monsters werd niet alleen de plek, maar ook de datum genoteerd. Op basis van deze monsters werd een bodemkaart geconstrueerd (zie hoofdstuk 4). Voor het grootste deel van de Waddenzee waren alleen monsters uit 1950 t/m 1955 beschikbaar. Vandaar dat de kaart kan worden beschouwd als een bodemkaart die de situatie in de jaren vijftig beschrijft. Dat geldt ook voor de Fries-Groninger kuststrook waar weliswaar monsters tot 1980 werden gebruikt, maar ook hier de meeste monsters werden verzameld tussen 1956 en 1960.

2.2 Nieuwe bestanden

De monsters die na 1980 werden gestoken zijn allemaal met een GPS of anderszins ingemeten. Ze vielen uiteen in een aantal monsterprogramma's. In totaal gaat het om 6025 monsters die op verschillende laboratoria en met verschillende methoden werden verwerkt:

- (1) Op een aantal monitoringsplekken (Balgzand, geulen nabij Harlingen, Piet Scheveplaat, Groninger kust, Dollard) werden door RIKZ in het vroege voorjaar en in de nazomer grondmonsters (10 cm diep) genomen. Deze monsters werden geanalyseerd door het IB (Instituut voor bodemvruchtbaarheid, Haren) (1980-1986; n = 485), later door BLGG (Bedrijfslaboratorium voor grond en gewasonderzoek, Oosterbeek) (1987-2000; n = 480) en sinds 2001 door het RIKZ-laboratorium in Middelburg. Door IB en BLGG werd het slibgehalte graviometrisch op dezelfde wijze gemeten als vroeger door de RIJP, dus deze monsters konden zonder enige aanpassing worden gebruikt. Sinds 2001 worden de monitoringsmonsters uitgezocht op een Malvern laser particle sizer (RIKZ Middelburg). Laatst genoemde monsters werden niet gebruikt.
- (2) Op de klassieke, graviometrische wijze werd het slibgehalte bepaald door Tauw voor 158 monsters die in de herfst van 1999 in het kader

van het EVA II-project werden verzameld onder oost Ameland, direct voor en direct na een experimentele bevissing. De monsterdiepte was 7 cm.

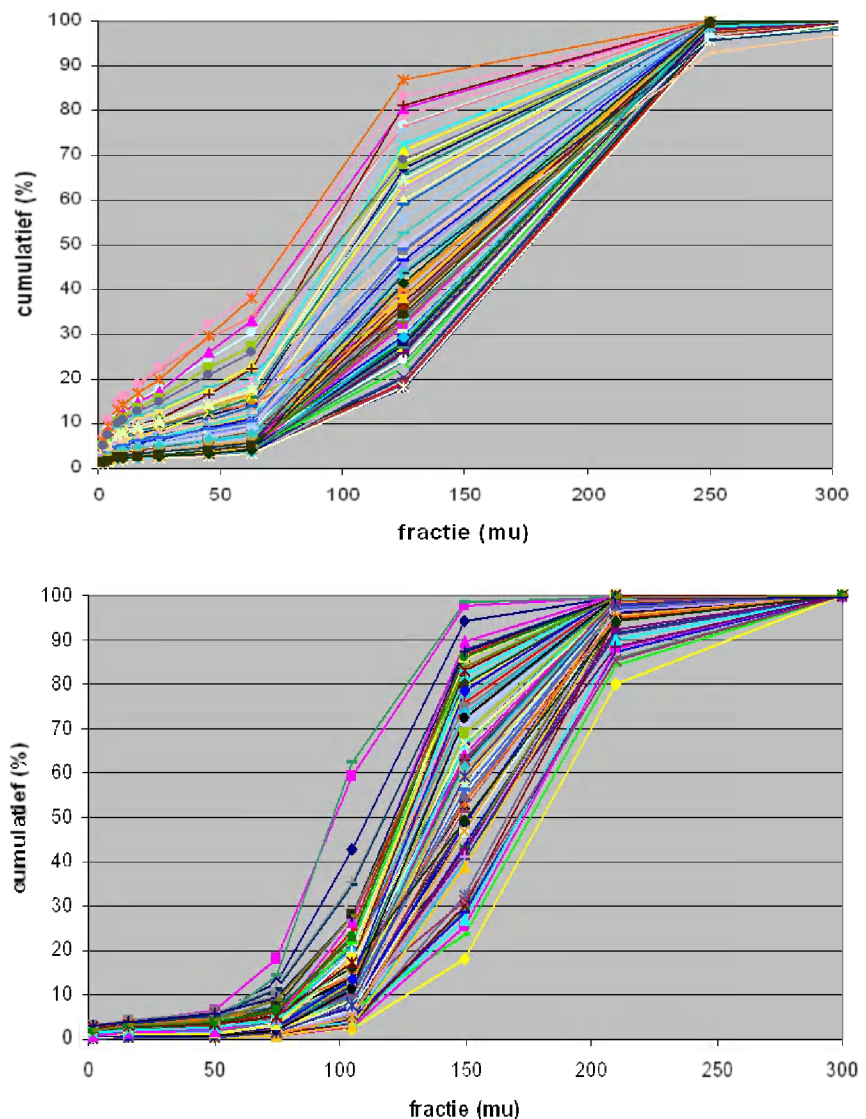
- (3) Verspreid over de gehele Waddenzee werden tussen 1989 en 1996 op de wadplaten 2287 monsters genomen van de bovenste 8 cm. De monsters werden geanalyseerd met een Malvern laser particle size analyser van GeoSea (Cambridge). De monsters werden niet voorbehandeld, d.w.z. kalk en organisch materiaal werden niet verwijderd en dat maakt veel uit (o.a. den Hartog & Sprong 1997). De data werden op een CD (Sedimentsatlas) samengevat. De ruwe gegevens werden verstrekt door RIKZ.
- (4) Het IBN heeft in 1998 in een 1x1 km grid grondmonsters genomen van de Waardgronden en het Balgzand (n = 392) en in 1999 van het westelijke deel van de Waardgronden zelfs in een 0.5x0.5 km grid (n = 325). De monsters werden, zonder voorbehandeling, gezeefd over een Wentworth zeef (met de fracties <63, <125, <250 en <500 µm).
- (5) De Coulter laser particle size analyser van het NIOZ werd gebruikt om 1898 monsters uit te zoeken. De Coulter werd gebruikt in vijf monsterprogramma's:
 - (a) bemonstering van de Grienderwaard en de oostelijke Waardgronden door het NIOZ in 1988 en jaarlijks sinds 1992 (Theunis Piersma). Niet opgenomen werden de eerste monsters die werden gezeefd. Wel alle monsters die met de Coulter ge(her)analyseerd waren (n = 937), vrijwel allemaal uit de jaren 1996 – 2001. Monsterdiepte 7 cm. Van deze monsters werden er 717 wel en 222 niet voorbehandeld.
 - (b) 141 kokkelbanken werden in 1999 en 2000 bemonsterd door Alterra in het kader van het EVA-2-project. In 1999 werden apart monsters genomen van de laag 0-5 en 5-25 cm. In 2000 werd alleen de top laag 0-5 cm bemonsterd.
 - (c) Bemonstering in 2000 binnen een 1x1 km grid van het Ameland wad (n = 160) en van het Balgzand in 2000 (n = 78) en een intensieve bemonstering van 1 monster per ha in de Mokbaai (n = 119); diepte 10 cm (Cor Smit, Alterra).
 - (d) Bemonstering van de platen ten noorden van de Afsluitdijk en Wieringen in 2001 (n = 70) (Wouter Gotjé, Aquasense). Monsterdiepte 25 cm.
 - (e) Aanvullende monsters in 2001 en 2002 verspreid over de Waddenzee, verzameld door Altenburg & Wymenga (Jan van der Kamp), Alterra (Martin de Jong), NIOZ (Rob Dekker), Meetkundige Dienst (Dianne Jansen, Art Groeneweg), RIVO (Pauline Kamermans), RIKZ (Peter Tydeman), RIZA (Jaap Daling en Leo Zwarts). Monsterdiepte 5 cm.

De recente monsters werden op vier manieren uitgezocht:

- (a) Slibgehalte (voorbehandeld om kalk en organisch materiaal te verwijderen): IB, BLGG en Tauw (n = 1124),
- (b) Zeeffracties (niet voorbehandeld): IBN (n = 717),
- (c) Malvern laser particle size analyser (niet voorbehandeld): GeoSea (n = 2287),
- (d) Coulter laser particle size analyser (voorbehandeld : NIOZ (n = 1898).

Figuur 2.2

De sommatie-curven van een aantal willekeurig gekozen grondmonsters uit de Waddenzee. De grafieken geven de cumulatieve frequentieverdeling van de bodemdeeltjes nadat de monsters zijn voorbehandeld om kalk en organische stof te verwijderen. (A) granulometrisch bepalingen (2 en 16 mm graviometrisch bepaald; grovere fracties gezeefd), (B) Coulter laser particle size analyser. De mediane korrelgrootte kan worden afgelezen waar de curve de 50%-lijn snijdt. Met de mediane korrelgrootte of de fractie kleiner dan bijvoorbeeld 2 of 16 mm kan het verloop van de gehele curve redelijk goed worden voorspeld.



2.3 Keuze voor het slibgehalte

De bodemgesteldheid kan worden beschreven door een frequentieverdeling te geven van de slib- en zandfracties, de zogenaamde sommatie-curve (Fig. 2.2). Om monsters te vergelijken is het gebruikelijk om één parameter te selecteren die de frequentieverdeling redelijk goed karakteriseert. Een veel gebruikte maat is de fractie kleiner dan 2 μm (het zgn. lutumgehalte) of kleiner dan 16 μm (het zgn. slibgehalte). Zeker wanneer het slibgehalte zeer gering is, is de mediane korrelgrootte een uitstekende methode om de bodem te beschrijven. In deze analyse is gekozen om de monsters te vergelijken aan de hand van het slibgehalte. De verwachting is immers dat als de kokkelvisserij een effect heeft op de bodemgesteldheid, deze betrekking heeft op het slib en wellicht op de kleinste zanddeeltjes. Het slibgehalte is daarvoor een directe maat en dus beter dan b.v. de mediane korrelgrootte. Gelukkig was het slibgehalte in de geselecteerde monsters de meest bepaalde parameter (Fig. 2.1) en hoefde dankzij de keuze voor het slibgehalte, relatief het minst aantal bepalingen m.b.v. ijklijnen te worden omgezet. Uiteraard is het slibgehalte slechts een van de parameters waarmee de bodemgesteldheid kan worden beschreven. Door de gemaakte keuze om alleen het slibgehalte te gebruiken wordt veel

informatie niet gebruikt. Helaas was er geen andere keus, omdat met het verzamelen en verwerken van de slibmonsters al zeer veel tijd was gemoeid.

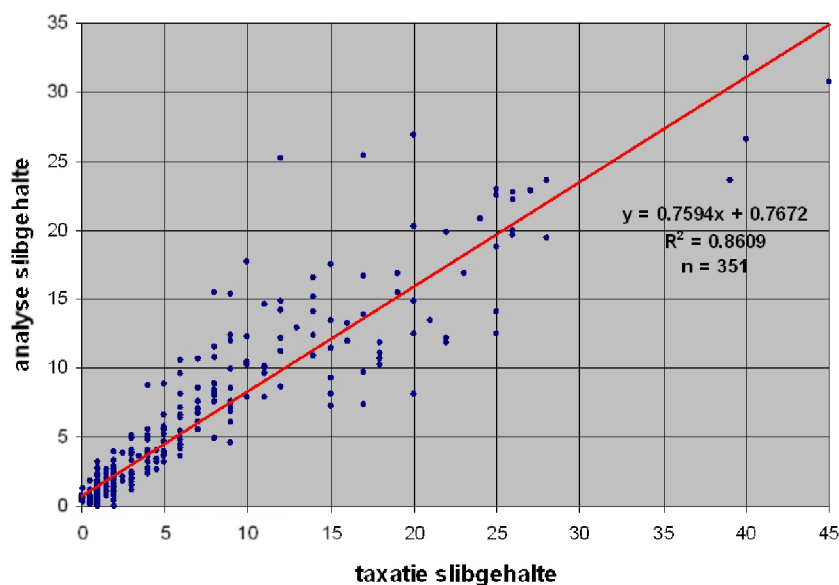
2.4 Monstername

De oude RIJP-monsters werden volgens een van te voren vastgelegd stramien gestoken, b.v. langs raaien om de 500 meter. Navraag leerde dat men vroeger, eenmaal aangekomen op de monsterplek, de monsters niet "met de ogen dicht" nam. De monsterplek moest min of meer representatief zijn voor de directe omgeving en als het nodig was om daartoe 10 of 20 m uit te wijken werd dat gedaan. Op de een maal geselecteerde monsterplek werden binnen een straal van enkele meters met een gutsboor 10 tot 20 monsters gestoken, meestal 25 tot 30 cm diep. Het monster werd ter plaatse in een metalen bak gemengd, waarna het slib of lutumgehalte en soms ook het U-cijfer door de monsternemer werd geschat.

Een op de vijf tot tien monsters werd meegenomen naar het laboratorium om daar te worden geanalyseerd. Later werden de analyseresultaten gebruikt om de taxaties zonodig te corrigeren. Het slibgehalte was in het veld redelijk goed te schatten (Fig. 2.3). In Fig. 2.3 wordt een willekeurige selectie uit het archief getoond. De spreiding rondom de berekende regressielijn suggereert een grote meetfout. De relatie tussen taxatie en analyse werd echter altijd per persoon en per dag bepaald. Die relatie verschilde per persoon en kon voor de monsternemers bovendien in de loop van de tijd variëren. Vandaar de grote spreiding in Fig. 2.3. Een groot deel van de variatie getoond in Fig. 2.3 kan worden toegeschreven aan verschillen die dus los staan van de gebruikte correcties. Wanneer een getaxeerd slibgehalte, na analyse in het laboratorium, te hoog of te laag bleek te zijn, werden de getaxeerde monsters die direct voor en na dit controle-monster waren gestoken navenant gecorrigeerd.

Figuur 2.3

RIJP-monsters. Het slibgehalte, zoals geschat in het veld, vergeleken met de bepaling in het laboratorium. Van de monsters die in het veld werden verzameld, werd 1 op de 5 à 10 meegenomen voor nadere analyse. De laboratorium-bepalingen werden gebruikt om de veldtaxaties te corrigeren voor de over- of onderschatting van de monsters die tegelijkertijd werden genomen.



De monsters die na 1980 zijn verzameld, werden genomen in het kader van verschillende programma's (zie par. 2.2), meestal in een regelmatig grid van 500 of 1000 meter. Er zijn drie redenen om aan te nemen dat de gebruikte wijze van bemonstering, in vergelijking met de oude RIJP-monsters, een grotere kans geeft op extreme waarden.

- (1) De positie van de monsterpunten werd veelal vooraf vastgesteld, waarna een GPS werd gebruikt om de plek te zoeken waar het grondmonster moest worden genomen. Zeker in gebieden waar de ruimtelijke variatie in de bodemgesteldheid heel groot is, kan dit leiden tot een extra grote variantie, vergeleken met de methode waarbij de monsternemer ter plaatse bepaald welke plek voor die omgeving min of meer representatief is.
- (2) Van de recente monsters werd slechts weinig materiaal verzameld en er werd in het veld zeker geen mengmonster gemaakt waaruit een monster werd genomen. Er werden ook geen 10 of 20 prikken gedaan, zoals in het verleden, maar meestal slechts een enkele.
- (3) De meeste RIJP-monsters werden genomen van de bovenste 25 of 30 cm. De meeste recente monsters kwamen uit de laag 0-5 tot 0-10 cm. Aangezien het slibgehalte van de bovenlaag meer varieert dan van de diepere lagen (zoals nog te bespreken in par. 2.10), zal de variatie bij de recentere monsters groter zijn.

Bovendien werden de RIJP-monsters in het laboratorium in duplo geanalyseerd, - alle recente monsters daarentegen in enkelvoud. Bij de duplo-bepalingen golden normen t.a.v. het maximaal toegestane verschil (Hofstee 1980). Als het slibgehalte minder was dan 20%, mocht de afwijking van de duplo's niet meer zijn dan 1%. Bij de interpretatie van de gegevens is het goed zich te realiseren dat de geaccepteerde meetfout voor grond met minder dan 20% slib absoluut is en niet relatief. Als in een grondmonster een slibgehalte van 1% werd gevonden, wordt bij de duplo-bepaling een marge geaccepteerd van 0 tot 2%. Bij 20% is dat 19-21%.

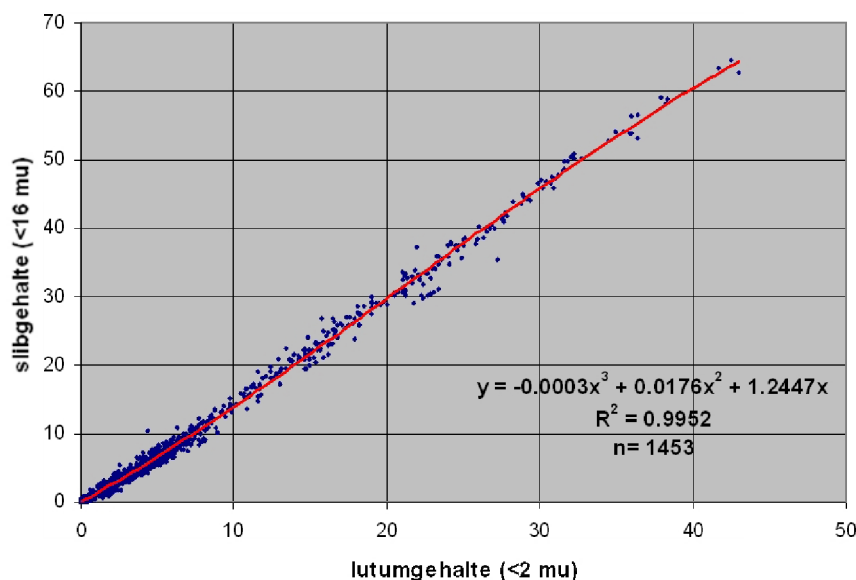
2.5 Slibgehalte voorspeld aan de hand van het lutumgehalte

Vóór 1969 werd in het laboratorium in Baflo standaard het slibgehalte bepaald, maar na 1969 werd in alle monsters het lutumgehalte gemeten. In de geselecteerde RIJP-monsters was 710 maal niet het slib- maar wel het lutumgehalte bepaald. Het slib- en lutumgehalte is respectievelijk de fractie van het sediment < 16 en $< 2 \mu\text{m}$. Beide analysemethodes lijken erg op elkaar. Er wordt gebruik gemaakt van het principe dat de bezinksnelheid een functie is van de grootte van de sedimentdeeltjes, zoals die volgens de formule van Stokes is vastgelegd (Hofstee 1980). De fractie $< 2 \mu\text{m}$ bezinkt later dan de fractie $< 16 \mu\text{m}$.

Volgens Veenstra (1969) is $\text{lutum} = 0.6563 \times \text{slib}$, oftewel $\text{slib} = \text{lutum} \times 1.5237$. Het verband is heel nauw en bepaald voor een zeer groot aantal monsters. In onze dataset werd in 211 monsters zowel het slib als lutumgehalte gemeten. De gevonden ratio (1.4323) was iets lager dan Veenstra heeft berekend voor een veel groter gegevensbestand: de fit van slibgehalte op lutumgehalte is zeer goed ($R^2 = 0.9935$, range: 0-38% lutum). Voor onze omzetting gebruikten we echter een kromlijng verband (Fig. 2.4; toelichting zie beneden).

Figuur 2.4

Het verband tussen lutum en slibgehalte, beide graviometrisch bepaald volgens een standaard procedure in het laboratoria van BLGG, IB, TAUW en de voormalige RIJP. Een lineaire regressie geforceerd door nul, geeft de vergelijking: $\text{slib} = 1.4785 \times \text{lutum}$. De relatie lijkt niet geheel lineair. Vandaar dat is gekozen voor een derdegraads polynoom.



In later jaren werd in een groot aantal monsters het slibgehalte bepaald door het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid in Haren (IB) en door BLGG in Oosterbeek. Tot 1980 wisselden het BLGG en de RIJP meerdere malen per jaar grondmonsters uit om van allerlei analyses de duplo's door het andere laboratorium te laten uitzoeken. Op die wijze kon worden gegarandeerd dat slibbepalingen in de beide laboratoria uitwisselbaar waren. Een slibbepaling is een eenvoudige bepaling en de methode is nauwkeurig omschreven (Hofstee 1980). Het is dus niet te verwachten dat de slibbepaling van IB, Tauw of BLGG zou afwijken van die van de RIJP meer dan 25 jaar geleden. Maar of dit een correcte aanname is, valt helaas niet meer na te gaan. Het is wél mogelijk om te onderzoeken of de relatie tussen slib- en lutumgehalte voor de vier laboratoria identiek is. Wanneer dat het geval is, geeft dit vertrouwen dat de analyses inderdaad vergelijkbaar waren.

De ratio slib/lutum was voor IB 1.501 en daarmee iets hoger dan die van de RIJP (regressie slib-lutum: $R^2 = 0.9935$, $n = 548$, range: 0-43% lutum). BLGG daarentegen was lager (1.3299; regressie slib-lutum: $R^2 = 0.9616$, $n = 540$, range: 0-18% lutum). De verschillen lijken samen te hangen met de range: hoe groter de range, hoe hoger de ratio. Dit suggereert dat het verband niet geheel lineair is. Inderdaad vallen de geconstateerde verschillen tussen de laboratoria geheel weg wanneer wordt geaccepteerd dat de relatie tussen slib en lutumgehalte niet lineair is: met het getoonde derdegraads polynome verband wordt 99.52% van de variantie verklaard ($n = 1543$) (Fig. 2.4). Bij een lineair verband was dat 99.27%. De gemeenschappelijke ratio is 1.4785, dus dicht bij de oorspronkelijke ratio van Veenstra. De conclusie die uit deze exercitie kan worden getrokken is dat de relatie tussen slib en lutumgehalte identiek was voor de diverse laboratoria en dat ook de bepalingen van slib- en lutumgehalte zeer waarschijnlijk niet van elkaar afweken.

2.6 Slibgehalte voorspeld aan de hand van U-cijfer

Het U-cijfer werd door de toenmalige RIJP als alternatief gebruikt voor de mediane korrelgrootte en is het verhoudingsgetal dat aangeeft hoeveel maal het oppervlak van een zekere gewichtshoeveelheid korrels groter is dan het

oppervlak van eenzelfde gewichtshoeveelheid korrels van dezelfde stof met een diameter van 1 cm. Hierbij wordt verondersteld dat de korrels bolvormig zijn.

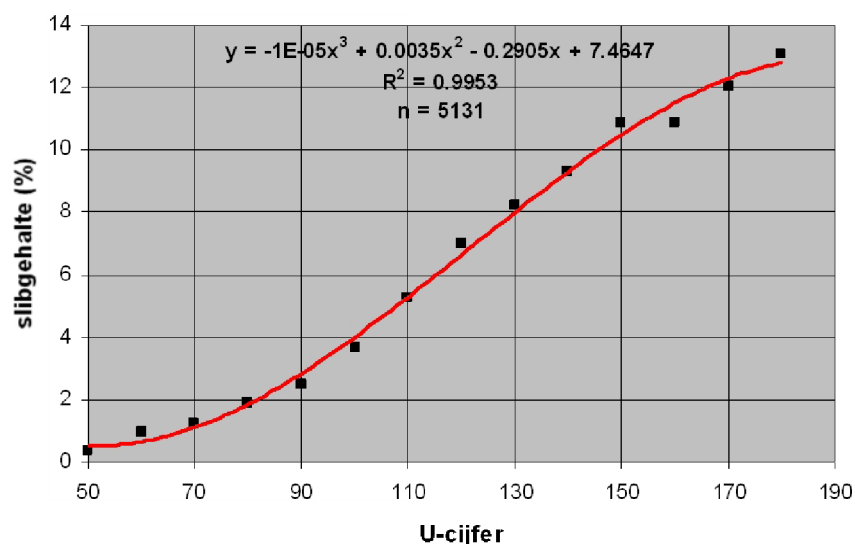
Het U-cijfer is negatief exponentieel gecorreleerd met de mediane korrelgrootte. In ons gegevensbestand is de relatie:

$$U\text{-cijfer} = 34903 M^{-1.234}$$

waarbij M staat voor mediane korrelgrootte zoals berekend voor de fractie groter dan 16 µm ($R^2 = 0.974$, $n = 373$).

In 1028 monsters werd wel het U-cijfer gegeven maar niet het slibgehalte. Omdat in 5131 monsters zowel het slibgehalte als het U-cijfer was bepaald, kon een ijklijn worden geconstrueerd. Het verband tussen U-cijfer (of mediane korrelgrootte) en slibgehalte is niet overal in de Waddenzee identiek. Aangezien vrijwel alle monsters waarbij het slibgehalte moest worden geschat aan de hand van het U-cijfer waren verzameld in één gebied (Groninger kust), kon worden volstaan met één ijklijn (Fig. 2.5).

Figuur 2.5
RIJP-monsters. De relatie tussen het U-cijfer en het gemiddelde slibgehalte. De getrokken lijn is gebaseerd op een derdegraads polynoom verband.

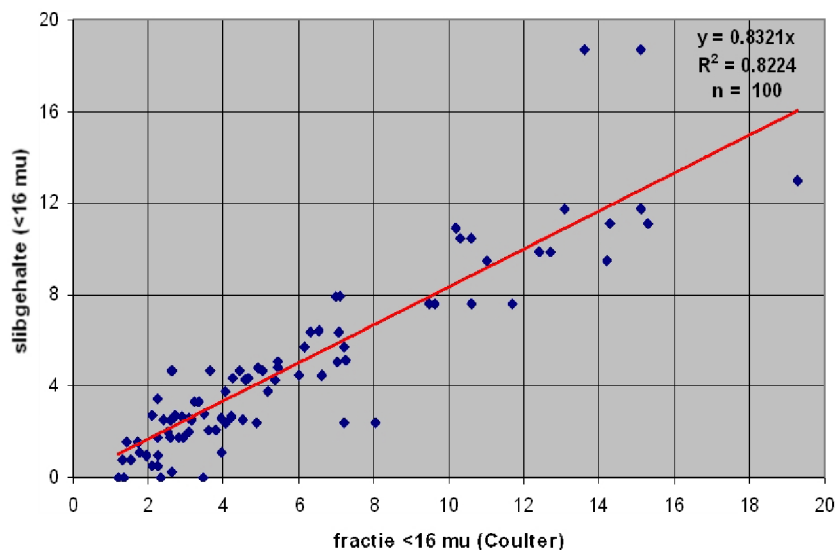


2.7 Omzetting Coulter-analyse naar slibgehalte

Het slibgehalte wordt gemeten door gronddeeltjes te laten bezinken. De methode is nauwkeurig omschreven en daardoor repliceerbaar. De laser particle size analyser meet de grootte van de korrel wanneer deze langs een laser straal wordt geleid. De metingen blijken per apparaat te verschillen. Het was dus nodig om de ijkingen die al waren gedaan (o.a. Konert & Vandenberghe 1997, Buurman *et al.* 2001), opnieuw te doen voor het laser apparaat –een Coulter– dat ons ter beschikking stonden.

Figuur 2.6

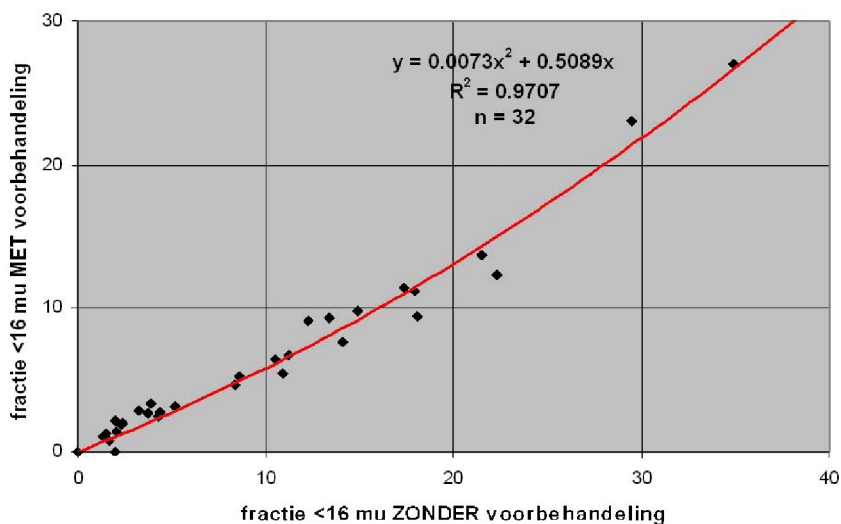
De relatie tussen de fractie < 16 µm, zoals bepaald met de Coulter en het gravimetrisch bepaalde slibgehalte. De monsters zijn in beide analyses voorbehandeld om kalk en organische stof te verwijderen.



De ijklijn was nodig om de monsters die de afgelopen 4 jaar op het NIOZ werden geanalyseerd met de Coulter laser particle size analyser (volgens de methode "grijs" en niet "glass"; eerste "glass" monsters zijn later omgerekend naar "grijs") om te zetten naar het gravimetrisch bepaalde slibgehalte. De beste ijklijn bleek de relatie te zijn tussen het slibgehalte en de fractie die volgens de Coulter kleiner is dan 16 µm (Fig. 2.6): $R^2 = .8224$. De regressie-vergelijkingen voor slibgehalte tegen de Coulter-fractie <25 of <63 µm, verklaarden iets minder variantie: $R^2 = .8055$ en $.8219$. De ratio die in de figuur 2.6 wordt gegeven is dan ook gebruikt om het slibgehalte af te leiden.

Figuur 2.7

De relatie tussen de fractie < 16 µm (bepaald met de Coulter), nadat de monsters wel en niet zijn voorbehandeld om kalk en organische stof te verwijderen.



In totaal werden 222 monsters met de Coulter geanalyseerd zonder te zijn voorbehandeld. Om die reden werden 32 monsters gesplitst om te worden geanalyseerd met en zonder voorbehandeling. Het al of niet voorbehandelen blijkt voor de fractie <16 µm redelijk wat uit te maken (Fig. 2.7). Zoals de figuur laat zien kan de fractie < 16 µm in voorbehandelde Coulter-monsters uitstekend worden voorspeld voor de monsters die niet zijn voorbehandeld. Het verband, hoewel kromlijniig, is heel nauw. De regressie-lijn in Fig. 2.7 is gebruikt om voor

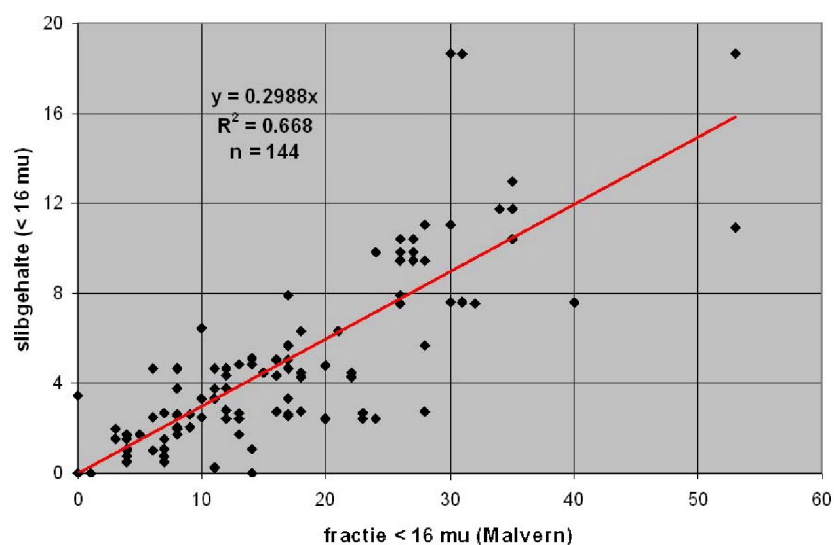
de 222 niet-voorbehandelde monsters de fractie < 16 µm om te zetten naar die van voorbehandelde monsters.

2.8 Omzetting Malvern-analyse naar slibgehalte

Er werden in de Waddenzee en aangrenzende Noordzee tussen 1989 en 1996 ruim 7000 monsters genomen die met de Malvern laser particle size analyser werden geanalyseerd. Voor onze analyse zijn alleen de monsters geselecteerd die boven de laagwaterlijn werden verzameld (n = 2287). De monsters werden niet voorbehandeld. De analyse werd uitgevoerd door GeoSea Consulting (Cambridge). T.b.v. de ijklijn werden 148 monsters geanalyseerd met de klassieke afslibmethode, met de Coulter op het NIOZ en met de Malvern van RIKZ (Middelburg). De Coulter-monsters werden wél, maar de Malvern-monsters niet voorbehandeld.

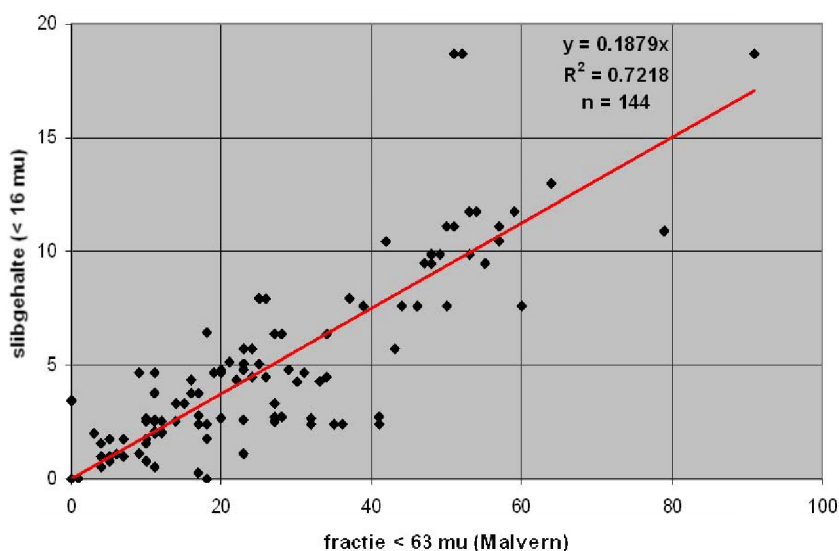
Figuur 2.8

De relatie tussen de fractie < 16 µm (bepaald met de Malvern) en het graviometrisch bepaalde slibgehalte. De Malvern monsters zijn niet voorbehandeld, de slibmonsters wél.



Figuur 2.9

De relatie tussen de fractie < 63 µm (bepaald met de Malvern) en het graviometrisch bepaalde slibgehalte. De Malvern monsters zijn niet voorbehandeld, de slibmonsters wél.

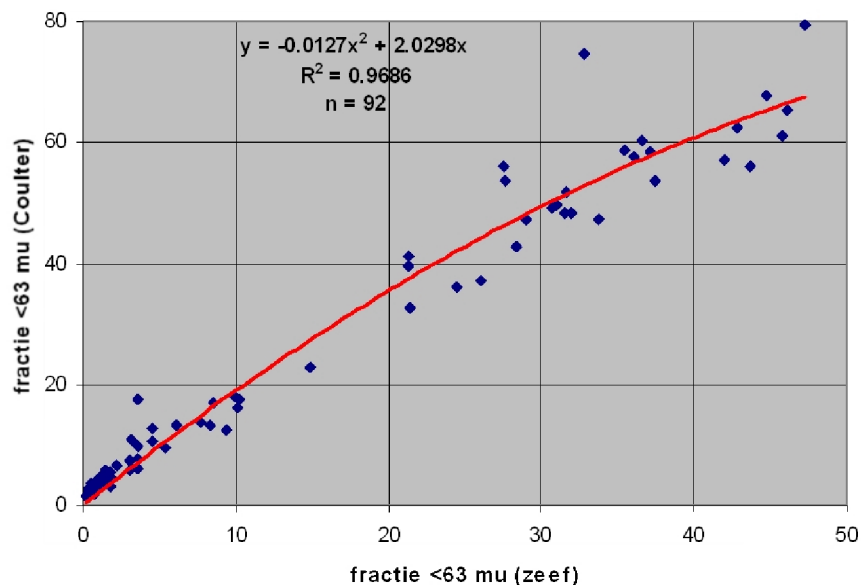


De niet-voorbehandelde Malvern-monsters werden op verschillende manier uitgezet tegen het slibgehalte. Wanneer het slibgehalte en de Malvern-fractie <

16 µm tegen elkaar werd uitgezet (Fig. 2.8) bleek de correlatie niet zo hoog te zijn ($R^2 = .6682$). Het valt verder op dat het absolute verschil zo groot is. Het "slibgehalte" bepaald met de Malvern bleek 2 tot 3 maal zo hoog te liggen als bepaald met de afslibmethode! Een betere correlatie werd gevonden tussen het slibgehalte en de Malvern-fractie < 63 µm ($R^2 = .7218$; Fig. 2. 9). De 63 µm - lijn is daarom gebruikt om de Malvern-waarde om te zetten in voorspeld graviometrisch slibgehalte.

Figuur 2.10

De relatie tussen de zeeffractie < 63 µm (Wentworth-zeef van IBN) en de fractie < 63 µm, zoals bepaald met de Coulter. De zeefmonsters zijn niet voorbehandeld, de Coulter-monsters wel.



2.9 Omzetting van IBN-zeef-data naar slibgehalte

Alterra (toen nog IBN) verzamelde in 1998 en 1999 717 grondmonsters die, zonder voorbehandeling, werden gezeefd. Er is geen rechtstreekse ijklijn tussen zeef-data van IBN en het slibgehalte. De relatie kan echter, zij het met een tussenstap, wel worden gelegd, omdat IBN 117 monsters uit de Mokbaai, zowel heeft gezeefd als met de Coulter heeft geanalyseerd.

Wanneer diverse fracties bepaald met zeven en met de Coulter werden vergeleken, bleken de twee fracties < 63 µm de beste fit te geven. Het verband was echter niet lineair en kon daarom het beste met een tweedegraads vergelijking worden beschreven (Fig. 2.10). De Coulter-fractie < 63 µm Coulter is daarna, met ons eigen ijkprogramma, om te zetten in slibgehalte (Fig. 2.11).

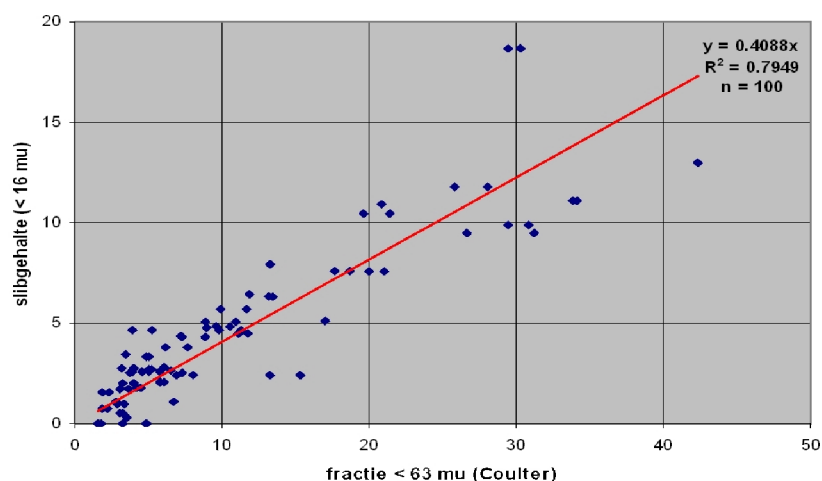
Door beide regressies te combineren, ontstond de gebruikte ijklijn:

$$y = 0.8881 x - 0.0072 x^2,$$

waarbij y = graviometrisch bepaald slibgehalte en x = fractie < 63 µm zoals bepaald met de IBN-zeef.

Figuur 2.11

De relatie tussen de fractie < 63 µm, zoals bepaald met de Coulter en het gravimetrisch bepaalde slibgehalte. De monsters zijn in beide analyses voorbehandeld.

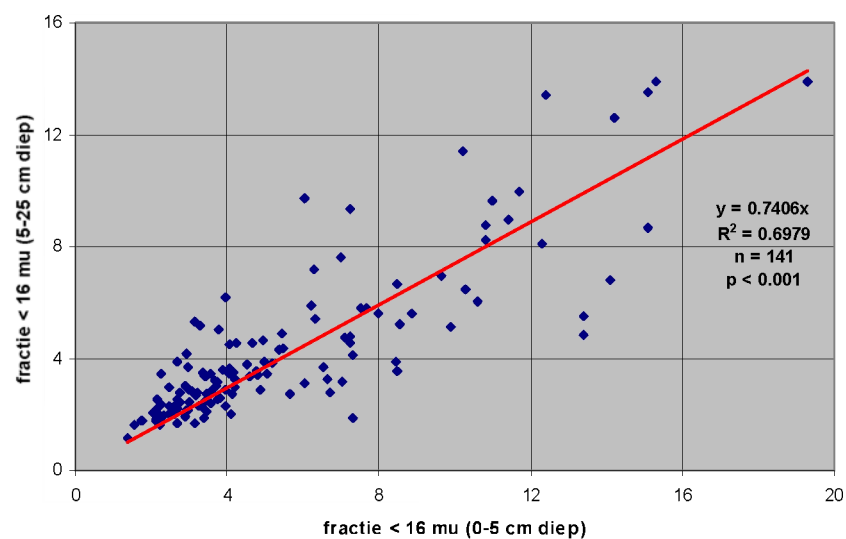


2.10 Relatie bodemgesteldheid en monsterdiepte

T.b.v. van de hier beschreven analyse werden grondmonsters geselecteerd die genomen waren uit de toplaag van het sediment. Daarbij werden monsters genomen uit de bovenste 5, 10 of zelfs 25 cm samengenomen mogen worden. De vraag was of dit zomaar mag.

Figuur 2.12

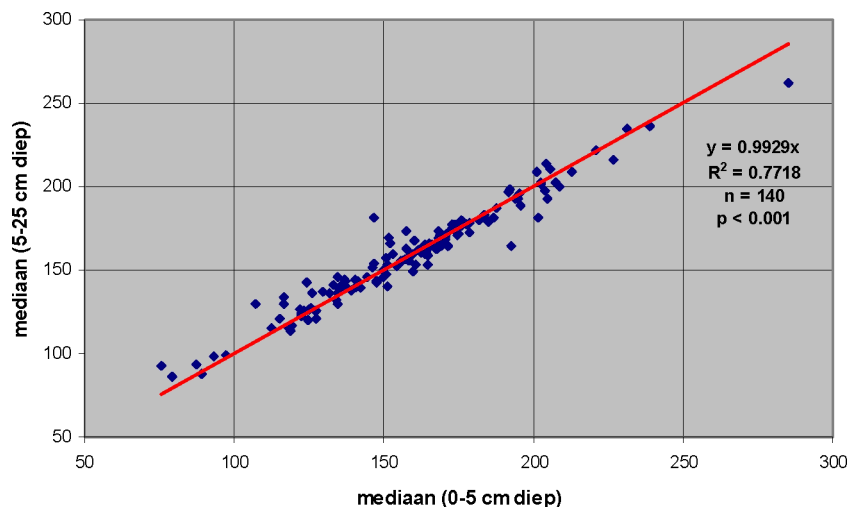
De fractie < 16 mm (zoals bepaald met de Coulter) in de toplaag (0-5 cm diep) en de laag daaronder (5-25 cm). Alle monsters zijn verzameld in mei-juni 1999, verspreid over de gehele Waddenzee.



In 1999 werd de laag 0-5 en 5-25 apart gehouden bij 141 monsters die verzameld waren op kokkelbanken verspreid over de gehele Waddenzee. Alle monsters werden genomen in de maanden mei en juli. Het slibgehalte was nauw gecorreleerd en in de toplaag gemiddeld 26% hoger dan in de laag 5-25 cm. (Fig. 2.12). De correlatie was veel beter voor de mediane korrelgrootte. De korrelgrootte verschilt overigens niet voor de laag 0-5 cm en 5-25 cm (Fig. 2.13).

Figuur 2.13

De mediane korrelgrootte (berekend over monsters die zijn verwerkt door de Coulter), in de top laag (0-5 cm diep) en de laag daaronder (5-25 cm). Alle monsters zijn verzameld in mei-juni 1999, verspreid over de gehele Waddenzee.



De boven beschreven relatie heeft betrekking op gegevens die verzameld zijn in één jaar (1999) maar wel verspreid over 3 maanden, mei-juli. Het is niet waarschijnlijk dat het hogere slibgehalte voor de top laag op toeval berust. Zwarts (1988) verzamelde vergelijkbare gegevens in verschillende zomers: langs de Groninger kust in september 1976 en langs de Friese kust in juli 1979, 1980, 1982, 1984 en 1985. Wanneer voor dit bestand het lutumgehalte in de laag 5-25 cm wordt uitgezet tegen de laag 0-5 cm in dezelfde monsters, blijkt de onderlaag ook minder slikrijk te zijn dan de top laag:

$$\text{Lutum}_{5-25} = 0.8987 \text{ lutum}_{0-5} \quad (R^2 = 0.7803; n = 125).$$

Een deel van deze monsters was verzameld binnen de landaanwinningswerken, dus in een extreem beschermt gebied. Om een uitspraak te doen over de gemiddelde wadbodem, is het beter om deze monsters niet mee te laten tellen. Zonder deze monsters uit de landaanwinning, wordt de relatie:

$$\text{Lutum}_{5-25} = 0.7341 \text{ lutum}_{0-5} \quad (R^2 = 0.6601; n = 77).$$

Gegeven de zeer nauwe relatie tussen slibgehalte en lutumgehalte (par. 2.5), zouden beide vergelijkingen niet veranderen als niet lutum- maar slibgehaltes tegen elkaar zouden zijn uitgezet. De metingen in 1976-1985 en in 1999 laten hetzelfde verschil zien: de onderlaag is 's zomers 26.5%, respectievelijk 27% minder slikrijk dan de bovenlaag.

Waarschijnlijk is de variatie in boven- en onderlaag nog groter in het winterhalfjaar. Dankzij de bioturbatie – de graaf- en eetactiviteit van de bodemdieren (Cadée 1976) – vindt er een continue menging plaats van de gronddeeltjes. In de koude wintermaanden valt deze menging echter grotendeels weg en kan door sedimentatie en erosie het slibgehalte van de bovenlaag variëren, onafhankelijk van de onderlaag. Dit probleem speelt in mindere mate een rol bij de analyse van onze gegevens omdat die vooral in zomermaanden zijn verzameld (zie par. 2.12).

Voor de beoogde analyse is het echter toch een probleem dat het slibgehalte in de top laag systematisch hoger is dan van de diepere laag. De oude RIJP-monsters zijn vrijwel allemaal van de bovenste 25 cm genomen, maar vrijwel

alle recente monsters van de bovenste 5 tot 10 cm. Als het slibgehalte van de laag 0-5 cm 26% hoger is dan voor de laag 5-25, dan is het slibgehalte van monsters uit de laag 0-5 gemiddeld 21% hoger dan monsters die op dezelfde plek zijn gestoken tot een diepte van 25 cm.

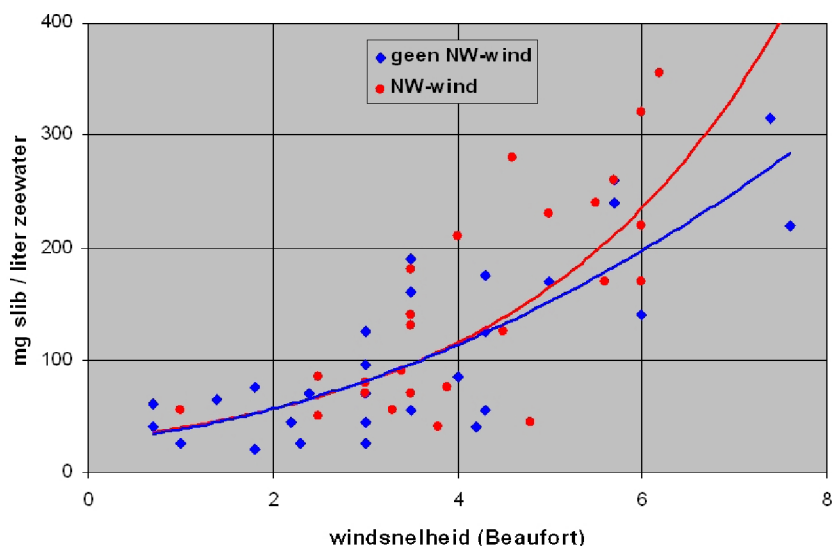
Conclusie: De meeste monsters zijn in de zomermaanden genomen. De bovenlaag van het wad is dan slibrijker dan de onderlaag. Gemiddeld genomen zullen ondiepe monsters daarom ruimer 20% slibrijker zijn dan monsters die dieper zijn gestoken. Bij de vergelijking van de RIJP-monsters (veelal 25 cm diep) en de recente monsters (5 tot 10 cm diep) moet hiermee rekening worden gehouden (zoals nog besproken zal worden in par. 5.6).

2.11 Effect windkracht en windrichting op slibgehalte

Kamps (1963) vond dat het slibgehalte in de bovenste 0.5 cm zeer variabel is. In de loop van het jaar varieerde het slibgehalte op één plek van 2.5 tot 7% en op een andere plek tussen 5 en 15% (figuur 11 in Kamps 1963). Wanneer de continu gevolgte monsterplekken, werden vergeleken, bleek de variatie voor de plekken niet geheel synchroon te verlopen: wat op de ene plek wordt geërodeerd kan op de andere plek sedimenteren.

Figuur 2.14

Slib aanwezig in het water (mg/l) als functie van de windsnelheid (Beaufort) in dezelfde tijdcyclus, gemeten langs de Groninger kust door Kamps (1963). Slib is apart gegeven voor wind uit de NW-hoek (d.w.z. N, NW of W).

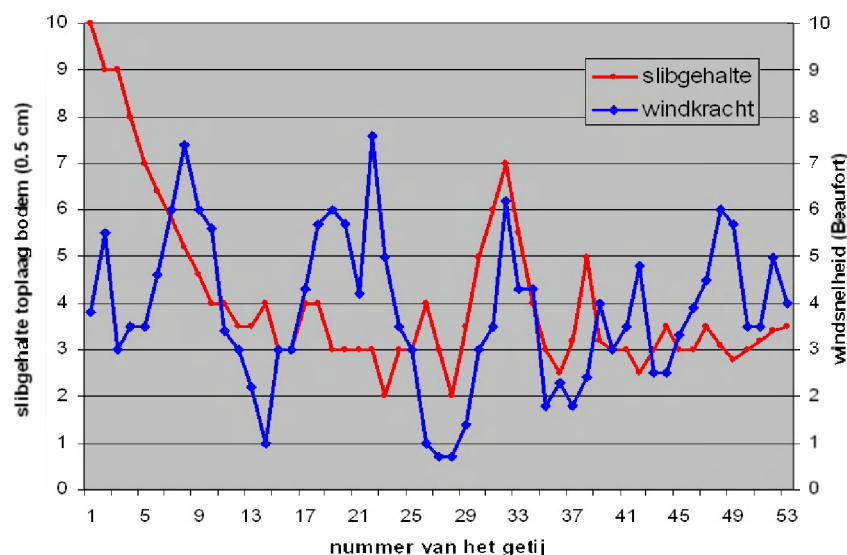


Kamps (1963) heeft ook tijdens 53 getijden achtereenvolgens, het slibgehalte in de bovenste 0.5 cm gemeten, en tegelijkertijd het slibgehalte in het water (mg/liter), de windkracht en de windrichting. Het slibgehalte in het water bleek duidelijk gerelateerd aan de windkracht: hoe harder de wind hoe meer slib in het water was te vinden. Dit effect was vooral sterk voor wind uit de NW-hoek (Fig. 2.14). De waterstand wordt maximaal verhoogd bij NW-wind. Het feit dat vooral NW-wind slib in suspensie brengt, laat zien dat het niet alleen de wind zelf is die effect heeft op uitwisseling van slib tussen water en bodem, maar ook de verhoogde waterstand. Harde wind zorgt voor hogere golven, maar harde wind uit de NW-hoek versterkt dit effect omdat er meer water boven de platen staat. ZO-wind zorgt voor verlaagde waterstand en zal om die reden ook met minder golven gepaard gaan. Deze conclusie is mede gebaseerd op ongepubliceerde waarnemingen van Ens en Zwarts waaruit evident bleek dat er een relatie was tussen doorzicht (zoals bepaald door slibgehalte in het water) en de combinatie van windrichting en windkracht.

Wanneer storm bodemslib in suspensie brengt, is te verwachten dat de top laag van de bodem in zo'n geval tijdelijk slibbarmer wordt. De relatie is niet zo simpel (Fig. 2.15). In de meetserie van Kamps, was er één opvallende stijging van het slibgehalte, na één periode van 4 tijen met een zeer zwakke ZO-wind (tij 26-29). Een ander windstil tij (tij 14) was blijkbaar te kort om enig effect te sorteren, terwijl een andere, wat langere, maar niet extreem rustige periode (tij 35-38) nauwelijks enig effect had. De sterke afname van het slibgehalte in de eerste 12 tijen suggereert dat voorafgaand aan de metingen het weer zéér rustig was geweest en dat het gesedimenteerde slib verdwenen is de eerste 12 tijen van de meetserie toen matige tot harde NW-wind overheerste.

Figuur 2.15

Slibgehalte in de top laag (0-0.5 cm) en de windsnelheid (Beaufort) gemeten gedurende een reeks van 53 tijen. Dezelfde gegevens als Fig. 2.14 (naar Kamps 1963).



Conclusie: bij gebrek aan systematische metingen aan golfhoogte en golflengte, is de waterstand een afgeleide, maar wel doeltreffende maat is om de variatie in de temporele dynamiek te beschrijven. Het is echter wel nodig om het slibgehalte te correleren met de waterstand in een langere periode voorafgaand aan de dag van de monsternamen. We hebben gekozen voor een periode van 14 dagen. De dagelijkse waterstanden sinds 1900 zijn de afgelopen jaren gedigitaliseerd en door RIKZ ter beschikking gesteld. Een eerste analyse leerde dat de dagelijkse waterstanden voor de verschillende meetstations zeer nauw zijn gecorreleerd. We kozen daarom voor één station, het centraal gelegen Harlingen.

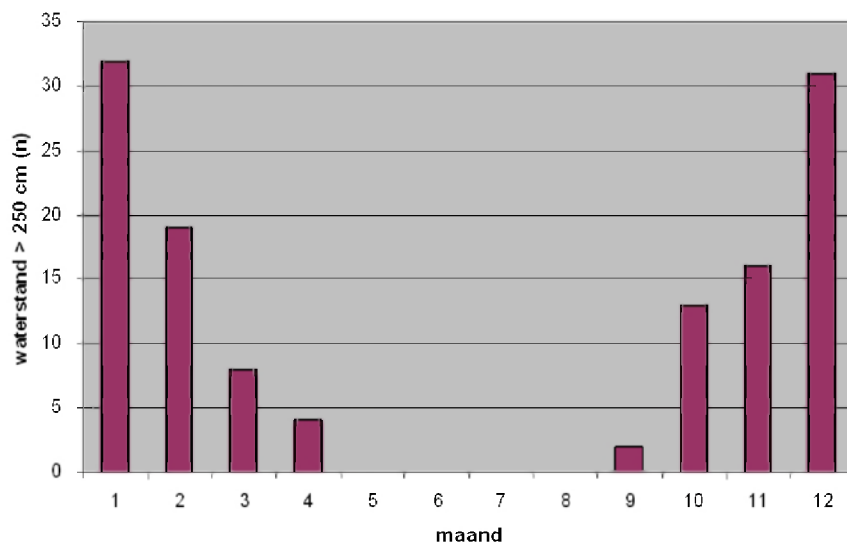
2.12 Seizoensvariatie in bodemgesteldheid

Kamps (1963) liet al zien dat op zijn 15 meetstations de bodemgesteldheid in de bovenste 0.5 cm sterk varieerde in de loop van het jaar. In het jaar dat hij de metingen deed, vond hij het laagste slibgehalte in februari en de hoogste waarden in september-november. Aangenomen mag worden dat deze variatie van jaar op jaar verschilt, afhankelijk van het weer. De windsnelheid in Waddenzee varieert echter wel seizoensmatig. De kans op een extreme NW-storm met meer dan één meter verhoging is 's winters groot en vrijwel nul in de zomermaanden. Fig. 2.16 laat zien hoe vaak de waterstand in Harlingen hoger is geweest dan 250 cm boven NAP. Tussen half april en half september is dat de afgelopen eeuw zelfs nooit voorgekomen. We kunnen dus verwachten dat er ook in de bodemgesteldheid, althans gemiddeld genomen, een seizoensvariatie op zal treden, met gemiddeld hogere slibgehaltenes in de zomer

en lagere waarden in de winter. Er zijn nog twee redenen om te verwachten dat het slibgehalte 's zomers hoger zal zijn dan 's winters. Door microphytoplankton wordt slib gebonden aan het oppervlak en filteren bovendien mossels en kokkels slib uit het water dat als (pseudo)faeces wordt vastgelegd (o.a. Oost 1995). Dat gebeurt 's winters niet omdat deze organismen bij lage temperaturen niet actief zijn. Voor de monitoringsplekken wordt het seizoenseffect onderzocht (par. 3.1).

Figuur 2.16

Seizoensvariatie in het aantal dagen met een waterstand > 250 cm in Harlingen in de afgelopen 100 jaar (1900-2000).

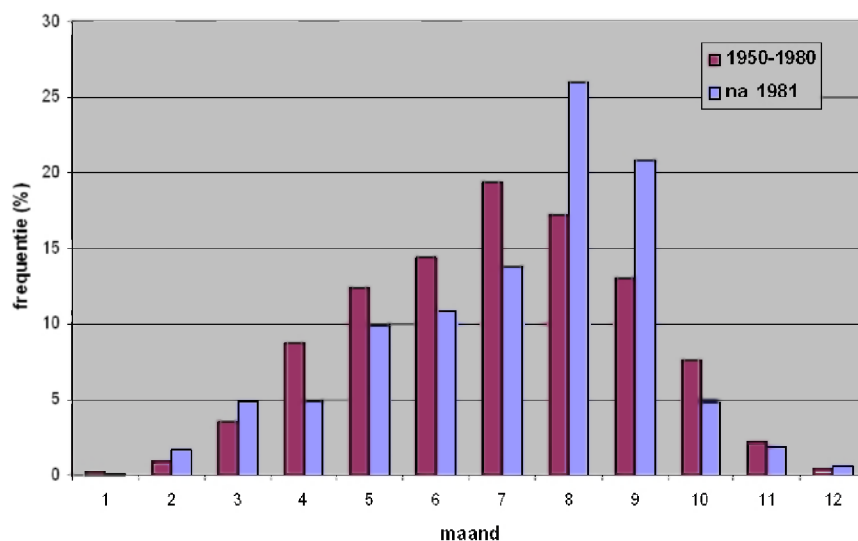


Het mogelijke seizoenseffect had nauwelijks effect op de algehele korrelgrootte analyse, omdat de meeste monsters werden verzameld in de zomermaanden (Fig. 2.17): zowel bij de RIJP-monsters als bij het recente monsterprogramma werd 80% van de monsters genomen in de vijf zomermaanden mei - september en slechts 4% in de vier wintermaanden november - februari.

Conclusie: het is voor de vergelijking van de oude en recente monsters niet nodig om de gemeten slibgehalten te corrigeren voor een seizoenseffect.

Figuur 2.17

Het aantal monsters per maand (%), apart gegeven voor de RIJP-monsters en voor de recente monsters.



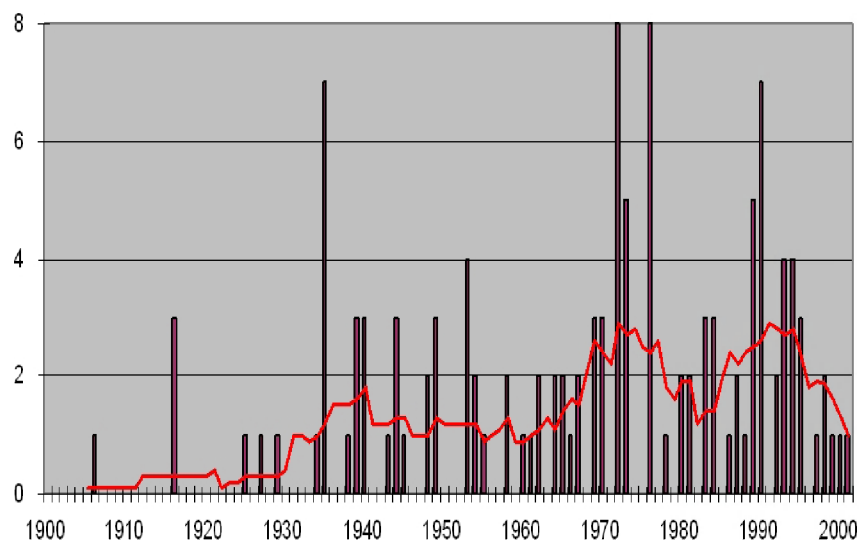
2.13 Jaar op jaar variatie in bodemgesteldheid

Wanneer wind en waterstand effect hebben op de bodemgesteldheid, is te verwachten dat ook de bodemgesteldheid van jaar op jaar kan variëren, tenminste in zoverre ook wind en waterstand jaarlijks fluctueren. Het voorkomen van winterstormen, zoals af te meten uit het voorkomen van dagen met een waterstand groter dan 250 cm in Harlingen, bleek inderdaad jaarlijks te verschillen (Fig. 2.18). Het effect van winterstormen op de bodemgesteldheid wordt onderzocht in par. 3.3.

Conclusie: als winterstormen effect hebben op de bodemgesteldheid, heeft dit in ieder geval geen effect op de vergelijking van de oude RIJP-monsters en de recente monsters. In beide periodes kwamen winterstormen even vaak voor.

Figuur 2.18

Jaarlijkse variatie in het aantal dagen met een waterstand > 250 cm in Harlingen in de afgelopen 100 jaar (1900-2000). Voordat de Afsluitdijk werd aangelegd (1932) was de gemiddelde hoogwaterstand in Harlingen gemiddeld 26 cm lager dan daarna.



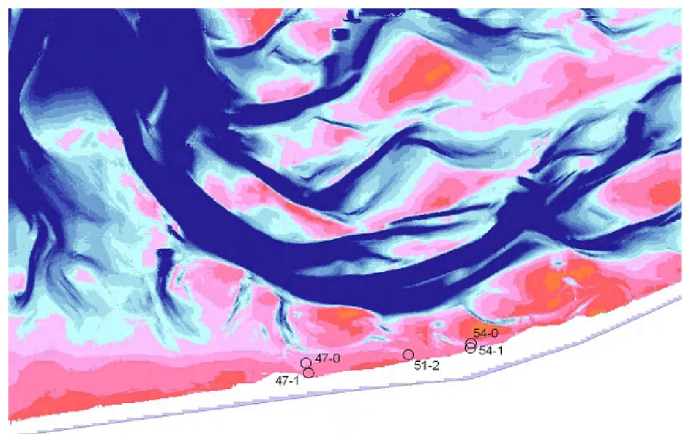
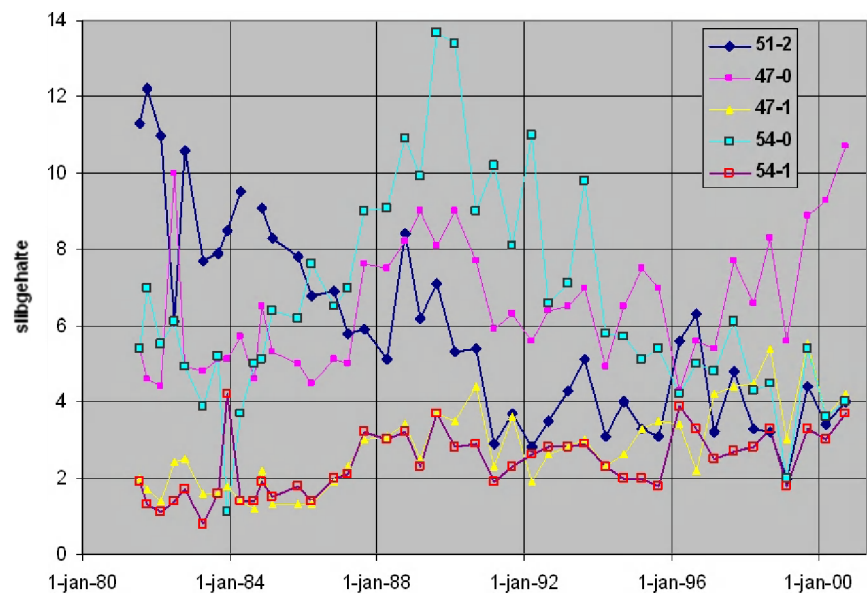
3 Variatie in slibgehalte op de monitoringsplekken

3.1 Inleiding

Er is een zeer grote, temporele variatie in het slibgehalte van de bodem. Er zijn een aantal meetreeksen uit de Waddenzee die dit laten zien. Als voorbeeld zijn hier de slibgehalten weergegeven zoals die zijn bepaald op vijf meetpunten langs de Groninger kust (Fig. 3.1) en drie meetpunten op de Piet Scheveplaat (Fig. 3.2).

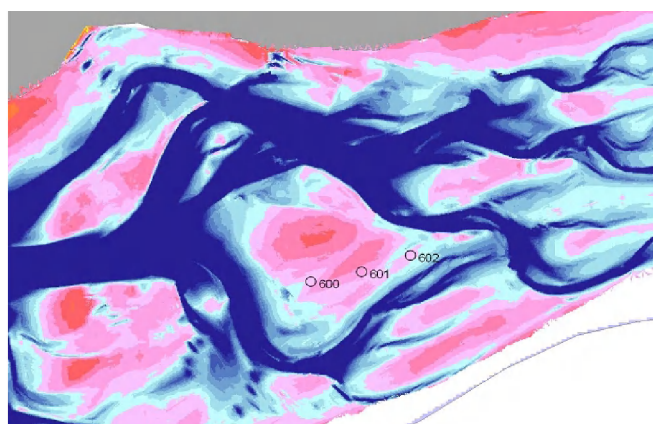
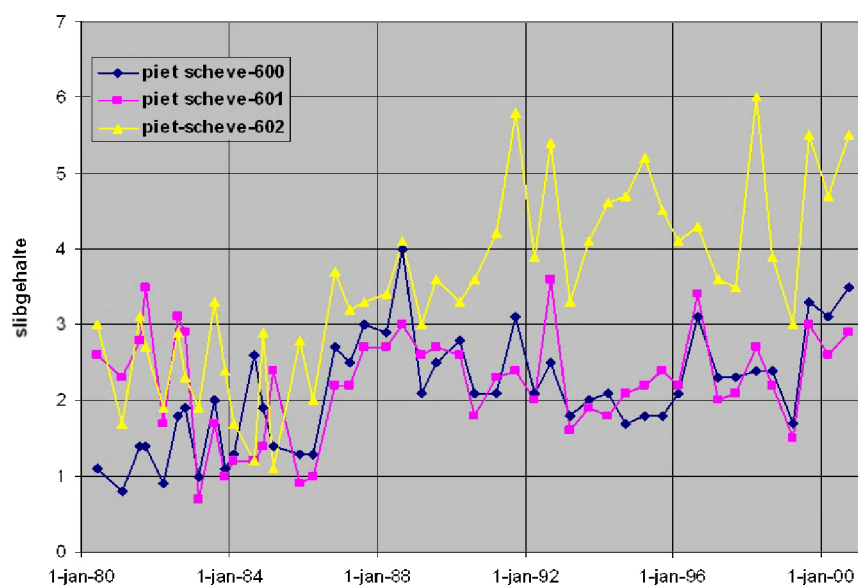
Figuur 3.1

Het slibgehalte bepaald tussen 1980 en 2000 op de vijf plekken langs de Groninger kust. Data van RIKZ. De ligging van de vijf plekken is aangeduid op een uitsnede van een hoogtekartaart (zie Fig. 6.1).



In hoeverre is deze variatie synchroon voor deze, meestal op (bijna) dezelfde dag gemonsterde, plekken? Op de Piet Scheveplaat was de onderlinge correlatie tussen het slibgehalte van de drie plekken redelijk te noemen ($r = +0.46$, $+0.50$ en $+0.60$), maar dat was minder voor de Groninger kust: plek 47-0 was weliswaar goed gecorreleerd met 47-1 ($r = +0.65$) en redelijk met 54-1 ($r = +0.45$), maar de overige correlaties waren laag, en plek 51-2 was zelfs negatief gecorreleerd met de overige vier plekken (en zelfs sterk negatief met 47-1: $r = -0.56$).

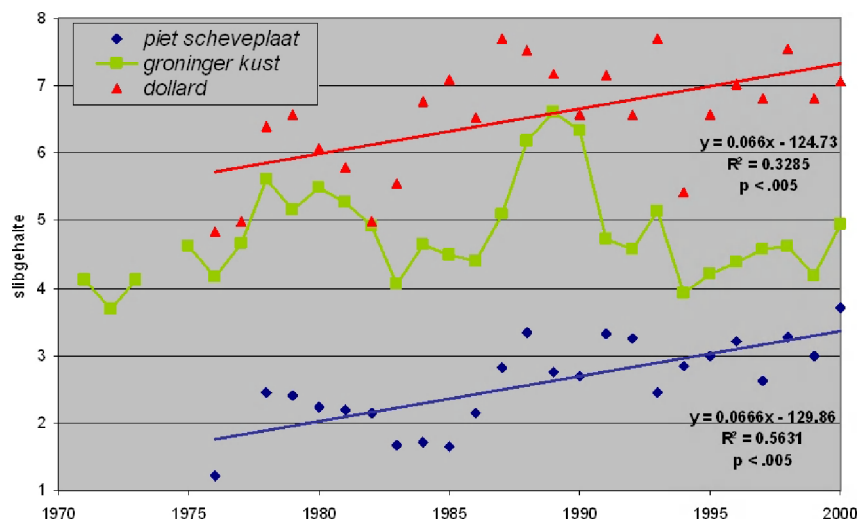
Figuur 3.2
Het slibgehalte bepaald tussen 1980 en 2000 op de drie plekken op de Piet Scheveplaat. Data van RIKZ. De ligging van de drie plekken is aangeduid op een uitsnede van een hoogtekaart (zie Fig. 6.1).



Een verklaring voor de grote onderlinge verschillen tussen dicht bij elkaar gelegen monsterpunten is niet te geven. Navraag bij de monsternemers leerde dat het al of niet aanwezig zijn van mosselbanken een groot effect moet hebben gehad. Om te onderzoeken of er een trend waarneembaar was, werden de vijf Groningse plekken gemiddeld, in de hoop de genoemde lokale effecten te minimaliseren. De monsters die vroeger jaren in hetzelfde gebied waren genomen werden toegevoegd. Ook de 3 plekken op de Piet Scheveplaat werden gemiddeld, evenals de drie plekken op de Heringsplaat in de Dollard. Op de Piet Scheveplaat en in de Dollard is er een duidelijke trend zichtbaar: het wad is steeds slibrijker geworden. Gedurende de afgelopen 30 jaar is er op het Groninger wad gemiddeld geen toe- of afname in het slibgehalte (Fig. 3.3).

Figuur 3.3

Het slibgehalte per jaar, gemiddeld voor de vijf monitoringsplekken langs de Groninger kust en voor de drie plekken op de Piet Scheveplaat en in de Dollard.



Toch is er misschien een bepaalde synchronisatie in het slibgehalte van de drie monstergebieden. Fig. 3.3 laat zien dat in de drie gebieden het slibgehalte relatief hoog was in 1977-1978, laag in 1982-1983 en weer hoog in 1987-1989, waarbij het dal rond 1980-85 in de Dollard eerder begint en al voorbij is als het op twee andere gebieden nog moet beginnen. Na 1992 was er alleen een afname langs de Groninger kust.

Conclusie: Ten eerste, de variatie in het slibgehalte op de diverse plekken is erg groot en vertoont nauwelijks enige mate van synchronisatie. De algemene temporele variabelen als seizoenen en wind zullen daarom nooit veel variatie kunnen verklaren. Ten tweede, op twee van de drie monitoringsplekken is, ondanks de grote jaarlijkse variatie in het slibgehalte, de bodem de afgelopen 25 jaar gemiddeld steeds slibrijker geworden.

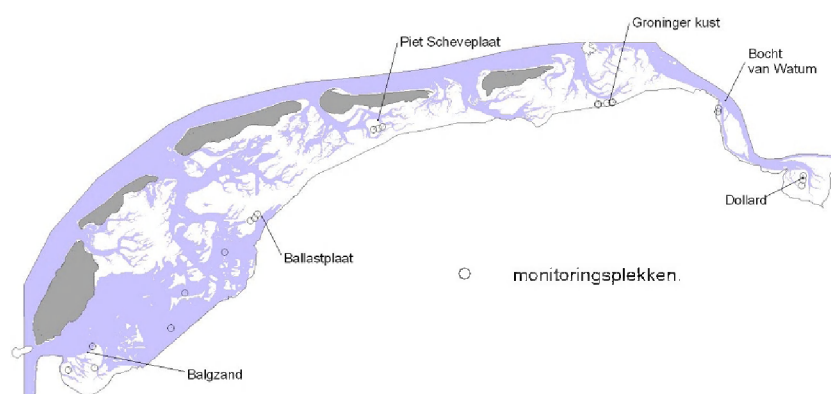
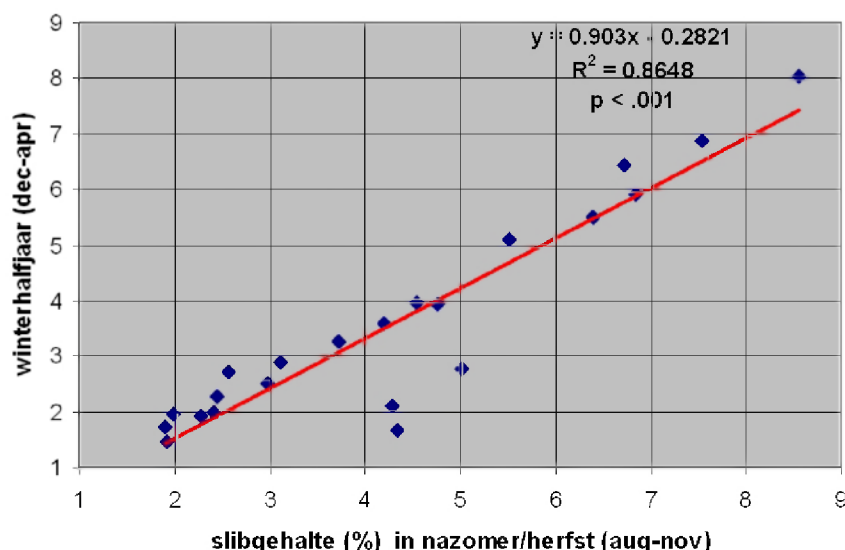
3.2 Seizoenen

Langs de Groninger kust en ook op de Piet Scheveplaat werd minstens twee maal per jaar gemonsterd: tussen half februari en half april en tussen half augustus en oktober. Na wat gezegd is over seizoensvariatie in de bodemgesteldheid (par. 2.12), zou verwacht kunnen worden dat het slibgehalte van de bodem in de nawinter lager zal zijn dan in de nazomer. Het effect werd onderzocht voor de 8 plekken waarvan de ruwe data gegeven worden in Fig. 3.1. en 3.2, maar ook voor 14 andere plekken waar gedurende minstens zes jaar metingen beschikbaar waren. Fig. 3.4 laat zien dat het verwachte effect inderdaad werd gevonden: in de nazomer was het slibgehalte, in absolute zin, 0,7% hoger dan in de (na)winter, dat is een gemiddeld relatief verschil van 16%. Het seizoensverschil varieerde echter per plek. Op de drie monsterplekken in de Bocht van Watum (nabij Delfzijl) was het gemiddelde slibgehalte in maart 45, 51 en 61% lager dan in september. Nergens anders werd zo'n groot verschil gevonden. Het seizoenseffect is het kleinste voor 3 monsterplekken die nabij Harlingen onder de laagwaterlijn waren gelegen: 15, 12 en -6% verschil tussen maart en september.

Conclusie: een significant deel van de vertoonde variatie in het slibgehalte kan worden verklaard met seizoenen.

Figuur 3.4

Het gemiddelde slibgehalte op 22 plekken in februari-maart en in augustus-september. De gemiddelden zijn gebaseerd op minstens 6 metingen. Data van RIKZ. De kaart geeft de ligging van de plekken.



3.3 Waterstand

Dezelfde meetseries werden gebruikt om na te gaan of de waterstand in de periode voorafgaande aan de monsterdagen, een deel van de variatie kan verklaren. Dat verband werd op twee manieren onderzocht. Ten eerste, het slibgehalte in relatie tot de hoogste waterstand op de monsterdag, vervolgens de waterstand op de monsterdag en de dag ervoor, idem voor twee dagen ervoor, enz tot twee weken ervoor. Ten tweede, de slibgehaltenes in maart in relatie tot het aantal voorafgaande extreme winterstormen, zoals geoperationaliseerd als het aantal dagen met een waterstand in Harlingen groter dan 250 cm of 300 cm.

Het effect van de waterstand in de periode voorafgaande aan de monsterdag was zeer beperkt. Wanneer de monsters voor vijf Groningse kust plekken werden gemiddeld, nam het gemiddelde slibgehalte af van 5.5% bij normale omstandigheden tot 4% bij 1 meter verhoging. Dit effect werd alleen gevonden bij de nazomer-monsters; voor maart was er geen enkel verband. Wanneer de monsters voor de drie monsterpunten op de Piet Scheveplaat werden gemiddeld, was het verwachte negatieve effect zwak aanwezig in

maat; de nazomer-monsters vertoonden echter, tegengesteld aan de verwachting, een zwak positief verband: hoe hoger de waterstand, hoe slibrijker de bodem.

Voor de maart-monsters werd apart onderzocht of het slibgehalte gerelateerd was aan het aantal stormen in de voorafgaande winterstormen. Er werd in geen enkele meetserie een verband gevonden.

Conclusie: het verband tussen waterstand en het slibgehalte van de toplaag van de bodem kon voor de monitoringsplekken niet worden aangetoond.

3.4 Erosie en sedimentatie

Zou de temporele variatie in het slibgehalte op de 22 monsterplekken misschien verklaard kunnen worden met veranderingen in de hoogteligging? De lodingskaarten werden samengevoegd tot zes kaarten: 1975-1978, 1981-1984 (beide alleen voor de westelijke Waddenzee) en 1985-1990, 1991-1997, 1997-2002 (alleen voor de gehele Waddenzee). Het materiaal, door RIKZ digitaal ter beschikking gesteld, wordt later in dit rapport besproken in hoofdstuk 6. Voor de zojuist genoemde periodes werd het gemiddelde slibgehalte gemeten en daarna gerelateerd aan de variatie in hoogteligging op de monsterplekken. Er werd geen verband gevonden. Daarna werden de kaarten nog eens geïnspecteerd om te zien of de hoogteligging in de ruime omgeving van de monsterplekken in de loop van de jaren was toe- of afgenomen. Ook hierbij kwam geen verband naar voren tussen verandering in hoogteligging en het slibgehalte op de monsterplekken, hoewel er in die periode op een aantal monsterplekken duidelijk erosie en/of sedimentatie had plaats gevonden. Zo was er duidelijk afslag geweest aan de zuidrand van de Ballastplaat en de westzijde van de Piet Scheveplaat. Elders vond er sedimentatie plaats.

Conclusie: de grote variatie in slibgehalte (Fig. 3.1 en 3.2) kan niet worden verklaard met erosie en sedimentatie, althans niet in zoverre die is af te leiden uit de lodingskaarten.

3.5 Kokkelbevissing: het Ameland experiment

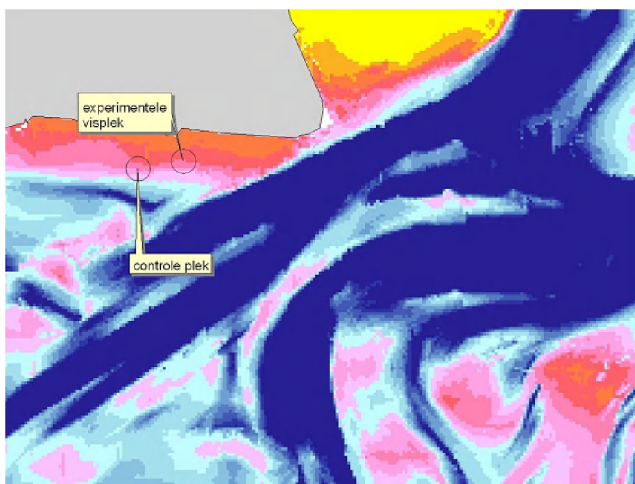
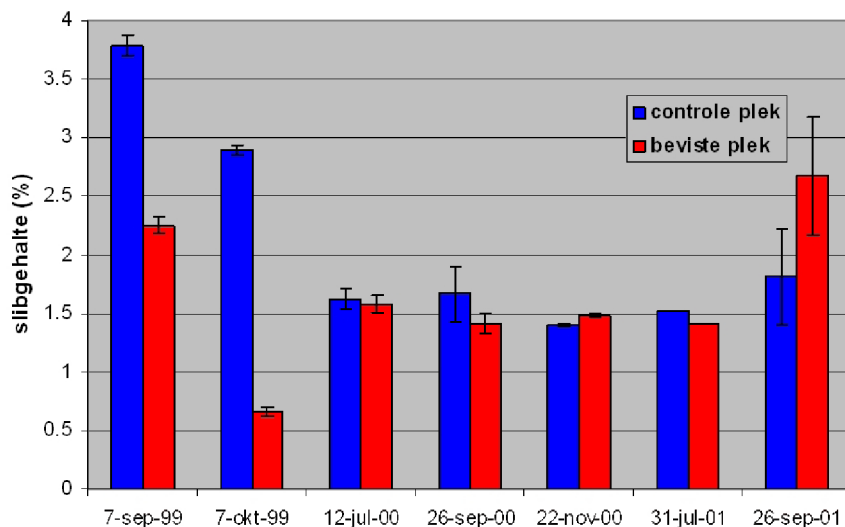
Het Ameland experiment was door IBN opgezet met het idee dat o.a. de korrelgrootteverdeling zou worden gemeten op twee, vergelijkbare en dicht bij elkaar gelegen plekken, waarbij op één plek wel en op de andere géén kokkelbevissing zou plaatsvinden. Op de beviste plek werden 4 en op de onbeviste plek 8 veldjes uitgezet van een kwart ha. In al deze veldjes werd gemonsterd kort voor de bevissing (6-9-99), kort erna (7-10-99). De bevissing was niet erg intensief. De bevissing is uitgedrukt als het % bevist gebied binnen een 0.1-minuut-grid (lengte- en breedtegraden), resulterend in vakken van 2.11-ha (Kamermans et al. 2003a). De experimentele veldjes (totaal oppervlak één ha) lagen in 2.11-ha-vak 677-311. Binnen dit 2.11-ha-vak werd in 1999 42% van het oppervlak bevist. Een jaar later werd hetzelfde vak in lichtere mate bevist (29%). Ook toen werd er vóór (12-7-00) en na de bevissing (26-9-00) gemonsterd. In totaal werden op de twee plekken en de zeven dagen tussen september 1999 en juni 2001 188 grondmonsters genomen.

Het resultaat is weergegeven in Fig. 3.5. Het is duidelijk dat het slibgehalte direct na de eerste bevissing zeer sterk was afgenomen (-81%). Ook op de

controle-plek was er echter een afname geweest (-24%). De verklaring daarvoor is dat het in de tussenliggende weken flink heeft gestormd van 26-9 t/m 5-10-99, met maximaal een 0.5 m verhoging.

Figuur 3.5

Het slibgehalte (gemiddelde $\pm$ standaard meetfout) op een plek onder Oost-Ameland die in september 1999 door een kokkelvisser is bezocht en een nabij gelegen plek waar niet is gevisst. De eerste monsters zijn genomen direct vóór de bevissing. Ook in 2000 vond een lichte bevissing plaats (zie tekst). Tijdstip van bevissing is aangegeven met verticale pijlen.



Een jaar later, in 2000, was de bodemgesteldheid op de experimentele en controle plek identiek. Op de controle plek was het slibgehalte tussen juli en september toegenomen met 3% en op de experimentele plek, waar een lichte bevissing had plaatsgevonden, afgenomen met 11%. De lichte bevissing heeft dus een klein effect gehad op het slibgehalte.

In juni 2001 was de experimentele plek zelfs slibrijker dan de controle plek. De verklaring is dat een groot deel van het experimentele proefveld bedekt was geraakt met mosselzaad (Ens in litt.). Er was ook mosselzaad gevallen in het controleveld, maar dat was in veel mindere mate het geval. Mossels scheiden het slib dat ze uit het water filteren weer uit, waardoor rondom mosselbanken de bodem slibrijker wordt (Oost 1995; zie ook par. 4.5).

Wanneer de zeven monsteringen worden vergeleken, valt op dat het slibgehalte hoog was bij de allereerste bemonstering. Waarschijnlijk kan dit worden toegeschreven aan het feit dat het in de voorafgaande weken (vanaf

15-8-99) heel rustig weer was en dus relatief veel slib op de platen heeft kunnen bezinken.

Conclusie: blijkens dit experiment is direct na de eerste bevissing de bodem "ontslibt", maar werd dit effect in dit geval versterkt door stormachtig weer. Het effect van de bevissing op de bodemgesteldheid was een jaar later niet meer zichtbaar.

3.6 Kokkelbevissing op de monitoringsplekken

Het effect van kokkelbevissing op de monitoringsplekken kan alleen worden nagegaan voor de metingen die na 1992 zijn verzameld. Sinds 1992 heeft geen bevissing plaatsgevonden op de drie monitoringsgebieden: Balgzand, Piet Scheveplaat en Dollard. De analyse beperkt zich daarom tot de Groninger kust. Daarbij is het goed zich te realiseren dat het slibgehalte is gemeten op vijf vaste plekken, maar dat de bevissing is uitgedrukt als het % bevist gebied binnen vakken van 2.11-ha-vak (zie par. 3.5). Sinds 1992 werd er in dit monitoringsgebied drie maal in de nazomer+herfst gevestig: in de nazomer+herfst van 1993 op vier van de vijf monsterplekken, waarbij 53-80% van de desbetreffende 2.11-ha-vakken werden bevist. In 1995 werd opnieuw gevestig op drie van de vijf plekken (63-82% bevist) en nogmaals in 1999 toen één plek werd bezocht (55% bevist). De hierbij gegeven bevissingspercentages kunnen worden geïnterpreteerd als de kans dat de monsterplek was bevist. Omdat de bevissing soms voor en soms na de nazomer-bemonstering viel, vergelijken we de maart-monsters om het effect van kokkelvisserij op de bodem na één winter na te kunnen gaan.

Figuur 3.6

Het slibgehalte in maart tussen 1992 en 2000 op de vijf plekken langs de Groninger kust. Dezelfde gegevens als Fig. 3.1. De verbindingslijnen zijn rood als in de voorafgaande half jaar op een plek (d.w.z. binnen het betreffende 2.11-ha vak) mechanische kokkelvisserij heeft plaatsgevonden.

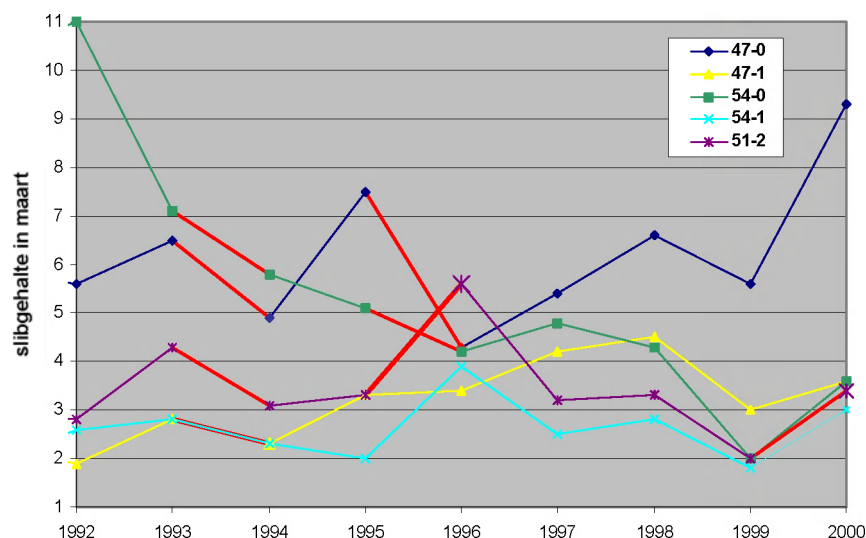


Fig. 3.6 laat zien hoe het slibgehalte in maart varieerde sinds 1992. De verbindingslijnen tussen de punten zijn rood wanneer er in de tussenliggende periode bevissing heeft plaats gevonden. Uit de grafiek is af te lezen dat maanden na de bevissing het slibgehalte in zes van de acht gevallen lager was dan het jaar ervoor. In de jaren en op de plekken waar niet is gevestig, is het slibgehalte 12 x afgenomen en 20x toegenomen:

ALLE JAREN	Slibgehalte afgenomen	Slibgehalte toegenomen	TOTAAL
Bevist	6	2	8
Onbevist	12	20	32
TOTAAL	18	22	40

Een chi-kwadraat-toets toont dat de afname in het slibgehalte na bevissing nauwelijks afwijkt van toeval ($\chi^2 = 3.64$, $df=1$, $p < 0.10$).

Het is zuiverder om deze vergelijking te beperken tot de drie jaar toen ook daadwerkelijk bevissing heeft plaatsgevonden. In dat geval staat 6x een toename tegen 2x een afname bij bevissing tegen 1x een afname en 6x een toename bij geen bevissing:

3 VIS-JAREN	Slibgehalte afgenomen	Slibgehalte toegenomen	TOTAAL
Bevist	6	2	8
onbevist	1	6	7
TOTAAL	7	8	15

De kans dat dit verschil op toeval berust is zeer klein ($\chi^2 = 5.53$, $df=1$, $p < 0.02$).

Conclusie: de kokkelvisserij heeft op een termijn van een half jaar een duidelijke afname van het slibgehalte veroorzaakt.

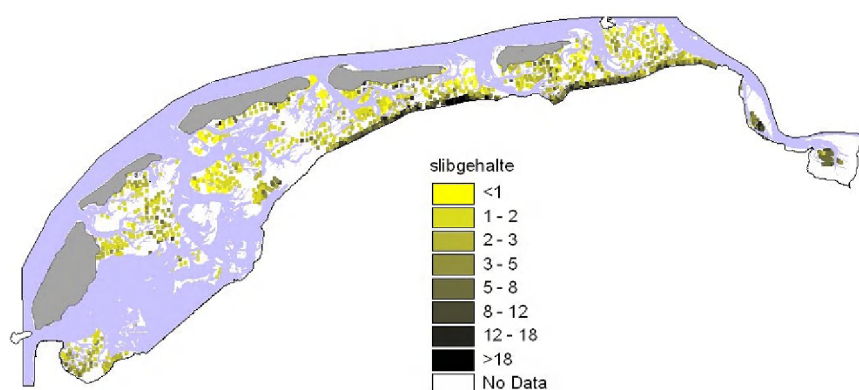
4 De bodemgesteldheid in de jaren vijftig

4.1 Inleiding

Op basis van de metingen die tussen 1950 en 1955 zijn verricht, werd door de Glopper (1967) een bodemkaart gemaakt, waarbij de bodemgesteldheid was geclassificeerd aan de hand van het slibgehalte en voor de zandige gronden ook aan de hand van de zandfijnheid (de Glopper 1967). In principe kan deze kaart gebruikt worden om de "nul-situatie" te beschrijven. Een vergelijking van de "nul-situatie" met recente monsters op plekken die wel en die niet bezocht werden door de kokkelvisserij kan dan in principe een indicatie geven van het mogelijke lange termijn effect van de kokkelvisserij. De oude bodemkaart gaf echter onvoldoende kwantitatief houvast. Een groot deel van de platen in de westelijke Waddenzee werd gecategoriseerd als "Ob", d.w.z. matig fijn zand met een lutumgehalte minder dan 1.5%. In totaal werd 34% van het Nederlandse waddenareaal als zodanig geclassificeerd.

Het alternatief was om de slibgehalten van de oude RIJP-monsters op te zoeken en op dezelfde plekken opnieuw monsters te nemen. Deze methode is inderdaad gebruikt, maar door gebrek aan geld en mankracht lukte het om op slechts een klein deel van de oude monsterplekken opnieuw monsters te nemen. Daarentegen lukte het wel om veel recente gegevens te krijgen die door Alterra, Aquasense, NIOZ en RIKZ de afgelopen jaren waren verzameld in het kader van hun eigen onderzoeksprogramma's. Van deze monsters lag slechts een heel klein deel in de buurt van de oude RIJP-monsterplekken.

Figuur 4.1
Metingen van het slibgehalte in de
Waddenzee (5078 RIJP-monsters).



Daarom is besloten om de Ausgangssituatie te beschrijven aan de hand van de oude RIJP-monsters (Fig. 4.1), waarbij de slibgehalten tussen de monsterpunten ruimtelijk worden geïnterpoleerd, - een techniek die in de geostatistiek bekend staat als "kriging" (Isaaks & Srivastava 1989).

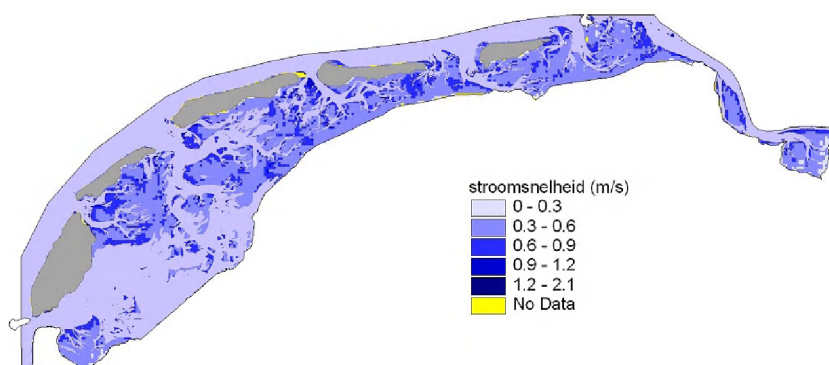
De ruimtelijke interpolatietechniek zou tot betere resultaten kunnen leiden wanneer er rekening gehouden zou kunnen worden met andere variabelen die de ruimtelijke patroon van slibgehalte kunnen verklaren. Stel dat slibgehalte nauw samenhangt met de hoogteligging. Wanneer gedetailleerde hoogtegegevens bekend zijn, zou bij de lineaire interpolatie tussen de monsterpunten gecorrigeerd kunnen worden voor ruimtelijke variatie in de hoogteligging. Deze techniek wordt in de geostatistiek "cokriging" genoemd (Isaaks & Srivastava 1989). In de volgende paragraaf (par. 4.2) wordt gezocht naar variabelen die het slibgehalte kunnen verklaren. Die variabelen samen worden daarna gebruikt om een voorspeld slibgehalte te bepalen, geheel op basis van een selectie van verschillende abiotische variabelen (par. 4.3-4.4). Het voorspelde slibgehalte wordt daarna als covariabele gebruikt in de cokriging om de digitale bodemkaart te construeren (par. 4.5). Deze bodemkaart geeft het gemiddelde slibgehalte per ha. In het volgende hoofdstuk worden de recente monsters vergeleken met deze gemiddelde ha-waarden.

4.2 Samenhang slibgehalte en abiotische variabelen

We verwachten dat het slibgehalte afhankelijk is de dynamiek van het waddensysteem: hoe sterker de waterstroming en hoger de golven, hoe minder slib de bodem zal bevatten. De dynamiek kan dus beschreven worden met verschillende abiotische variabelen. Het slibgehalte blijkt inderdaad samen te hangen met de maximale stroomsnelheid (Fig. 4.2): hoe hoger de stroomsnelheid, hoe lager het slibgehalte van de bodem. Het verband is niet lineair. Een 2^e graads polynoom verklaart 31.8% van de variantie. De puntmetingen van het slibgehalte zijn uitgezet tegen de stroomsnelheid, zoals die gegeven is per eenheden van 25 ha. Op deze schaal zullen binnen de gebruikte gridgrootte zonder twijfel grote verschillen voorkomen in de stroomsnelheid en dus in slibgehalte. Desalniettemin is er zelfs op de gebruikte grove schaal een redelijk verband tussen stroomsnelheid en slibgehalte.

Figuur 4.2

De maximale stroomsnelheid in de Waddenzee; grid-grootte 500x500 m. Gegevens van RIKZ.

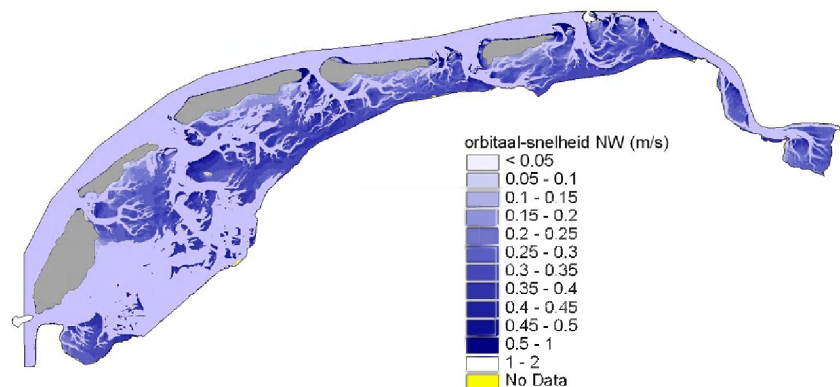


Brinkman *et al.* (2001) gebruikten, bij hun model om het voorkomen van mosselbanken te kunnen voorspellen, behalve stroomsnelheid, ook de zogenaamde 'orbitaalsnelheid aan de bodem' als maat voor de intensiteit van stroming en golven. De orbitaalsnelheid neemt toe met windkracht, maar is verschillend per windrichting, afhankelijk van de mate waarin de geëxposeerdheid van de platen gerelateerd is aan de windrichting. De met de computermodellen berekende orbitaalsnelheden worden gegeven met een

resolutie van 50*50 meter en met een resolutie van 250*250 meter voor het model "golfwad". De resultaten worden hier gegeven voor vier windrichtingen en voor "golfwad" (Fig. 4.3-4.7). De correlatie tussen de vier orbitaalsnelheden en het slibgehalte is niet erg hoog: $r = -.16$ voor NW, $r = -.23$ voor NO, $r = -.30$ voor W en $r = -.52$ voor SW. De relaties zijn niet lineair voor W en NW. Met een 2^e graads polynoom wordt aanzienlijk meer variantie verklaard: $R^2 = .118$ voor W en $R^2 = .066$ voor NW. De verwachting was dat het slibgehalte zou afnemen met een hogere orbitaalsnelheid. De figuren laten zien dat in de windluwte van de Waddeneilanden de orbitaalsnelheden meestal laag zijn en dat die hoog zijn in de meer geëxponeerde kustgebieden. Toch is het wad onder de eilanden niet slibrijk en het wad langs de kust niet slibarm. Dit verklaart waarom de correlatie tussen de orbitaalsnelheden en het slibgehalte zo laag is.

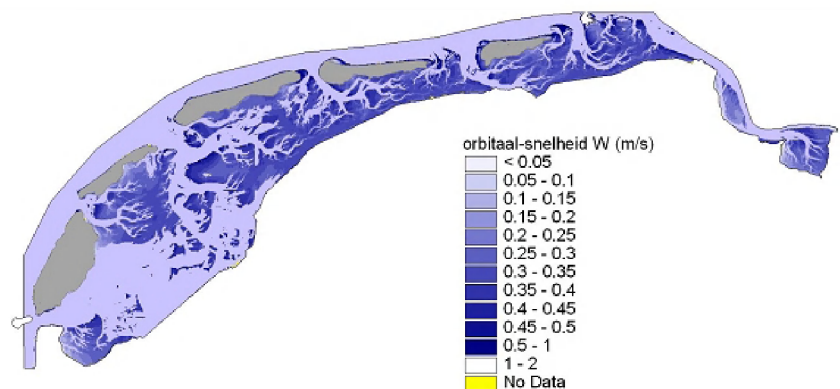
Figuur 4.3

De orbitaal-snelheid in de Waddenzee bij NW-wind; grid-grootte 50x50 m. Gegevens van RIKZ.



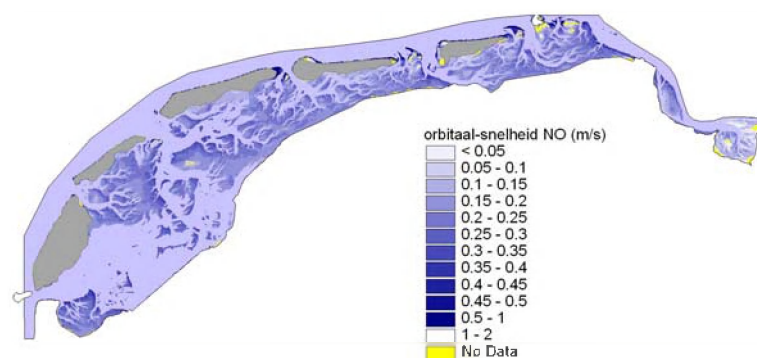
Figuur 4.4

De orbitaal-snelheid in de Waddenzee bij W-wind; grid-grootte 50x50 m. Gegevens van RIKZ.



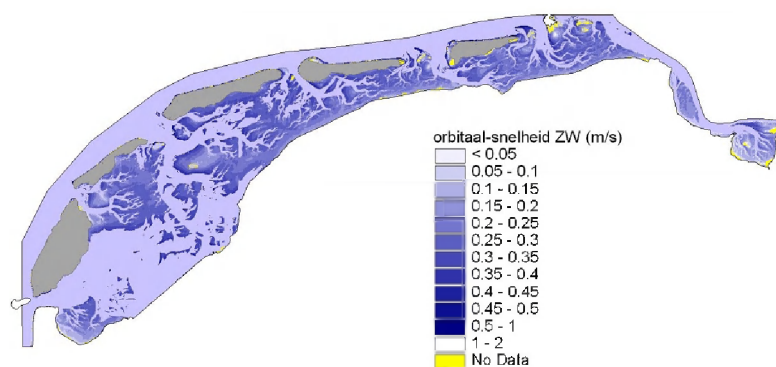
Figuur 4.5

De orbitaal-snelheid in de Waddenzee bij NO-wind; grid-grootte 50x50 m. Gegevens van RIKZ.



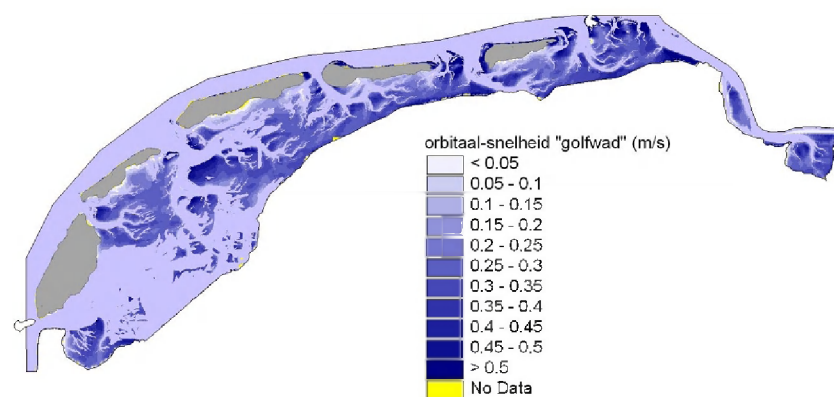
Figuur 4.6

De orbitaal-snelheid in de Waddenzee bij ZW-wind; grid-grootte 50x50 m. Gegevens van RIKZ.

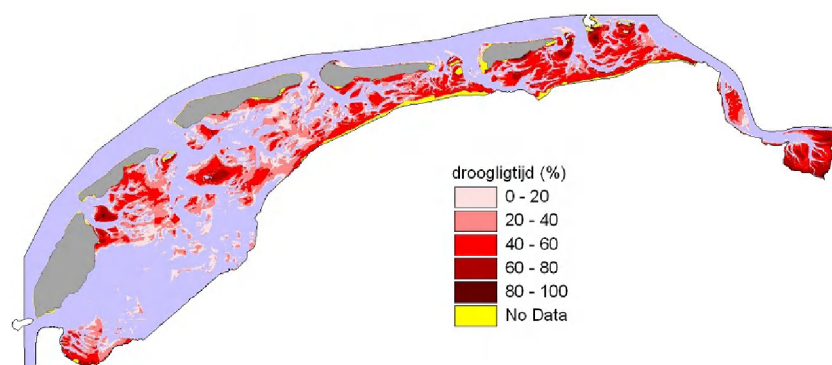


Figuur 4.7

De orbitaal-snelheid in de Waddenzee volgens het model "golfvad" (dominant NW-wind); grid-grootte 250x250 m. Gegevens van RIKZ.



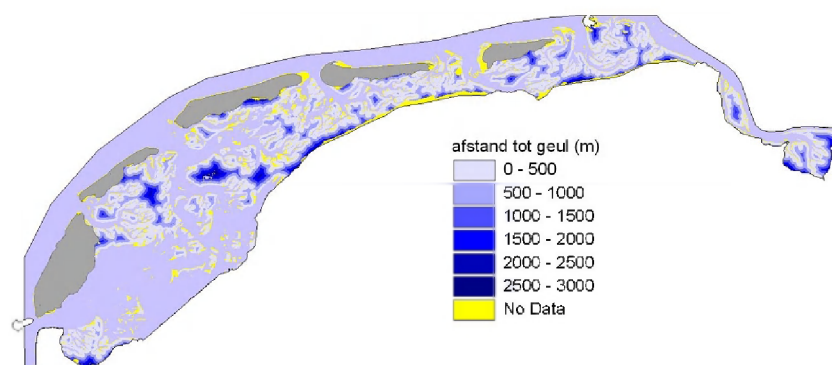
Figuur 4.8
De droogligtijd van de wadplaten in de Waddenzee; gridgrootte 50*50 m. Gegevens van RIKZ.



Het ligt voor de hand dat de dynamiek afneemt als de plaat hoger ligt, want hoe hoger de plaat, hoe minder water er staat en hoe kleiner de golven zullen zijn. Het slibgehalte blijkt inderdaad toe te nemen met de gemiddelde droogligtijd (Fig. 4.8; $r = +.25$).

Het slibgehalte in de bodem is ook gerelateerd aan de afstand tot de geul (Fig. 4.9; $r = +.40$). Ook dat is conform de verwachting want de waterdynamiek zal afnemen met de afstand tot de geul.

Figuur 4.9
De afstand tot de geul; gridgrootte 50*50 m. Gegevens van RIKZ.



4.3 Voorspelling slibgehalte op basis van abiotische variabelen

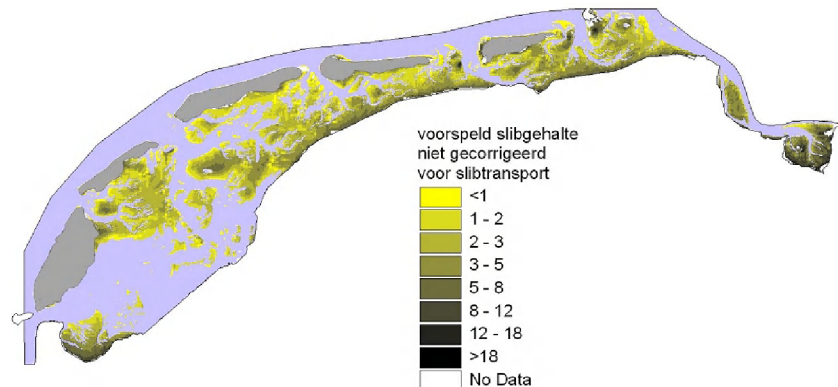
Een multiple regressie is daarna gebruikt om het slibgehalte te voorspellen voor een statistisch optimale combinatie van variabelen. Het resultaat is als volgt:

$$\text{Slib_voorspeld} = \exp(3.767 - 5.569 \cdot \text{stroom} + 2.301 \cdot \text{stroom}^2 - 0.545 \cdot \text{golf} - 5.138 \cdot \text{sw} + 5.213 \cdot \text{nw} - 4.861 \cdot \text{nw}^2 - 1.064 \cdot \text{no}) - 0.1$$

waarbij stroom = stroomsnelheid (m/s) en golf, sw, nw en no staan voor respectievelijk de orbitaalsnelheid volgens het golfwad-model en voor de vier windrichtingen (m/s).

Figuur 4.10

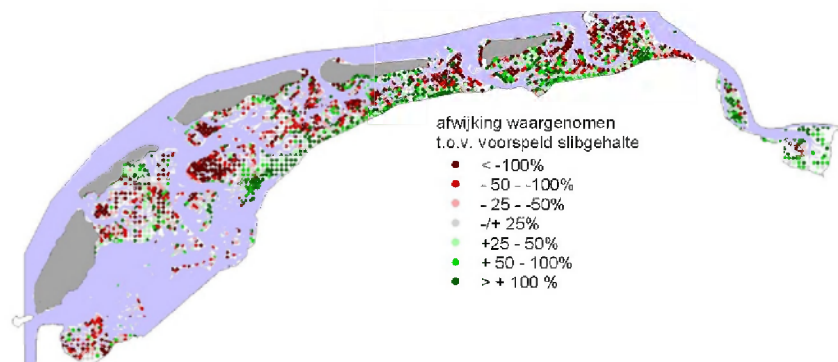
Het voorspelde slibgehalte op basis van de stroomsnelheid en orbitaalsnelheden; de vergelijking is gegeven in de tekst.



De 5 variabelen samen verklaren 44.3 % van de variantie. Voor twee variabelen bleek een kromlijng verband beter dan een rechtlijnig verband. De algehele voorspelling is redelijk te noemen, maar niet goed. De correlatie zou beter zijn geweest als afstand van tot geul en de droogligtijd in het model zouden zijn opgenomen. Van beide variabelen ontbreken echter veel metingen, waardoor een kwart niet mee zouden kunnen doen.

Figuur 4.11

De relatieve afwijking van het waargenomen slibgehalte (Fig 4.1) t.o.v. het voorspelde slibgehalte (Fig. 4.10).

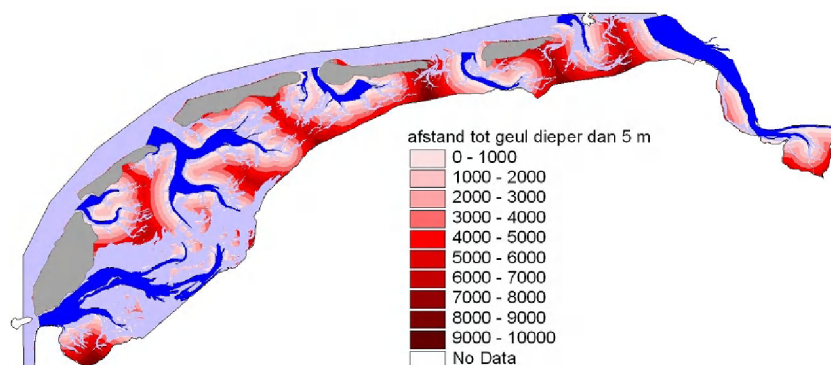


Aan de hand van de boven gegeven formule zijn de voorspelde waarden uitgerekend (Fig. 4.10). Om een vergelijking tussen de voorspelde en waargenomen waarden te vergemakkelijken, is de ratio van voorspeld ten opzichte van de waargenomen slibgehalte afgebeeld in Fig. 4.11.

4.4 Voorspelling slibgehalte na correctie voor cumulatief slibtransport

Fig. 4.11 laat zien dat het voorspelde slibgehalte te hoog is nabij de zeegaten en te laag op grote afstand van de geul. Deze systematische afwijking is te verwachten omdat in de voorspelling alleen rekening is gehouden met de variatie in dynamiek en niet met het transport van slib binnen de Waddenzee. Postma (1954) heeft al laten zien dat de slibconcentratie in het water zeer sterk toeneemt met de afstand vanaf het zeegat. De verklaring daarvoor is gegeven door Van Straaten & Kuenen (1957) en Postma (1961): er is in de Waddenzee een cumulatief slibtransport. Tijdens opkomend water wordt het zwevende slib met de stroom naar binnen getransporteerd en tijdens afgaand water weer teruggevoerd naar het zeegat. Gemiddeld genomen is het transport naar binnen echter groter dan het transport naar buiten. Het gevolg is dat het zwevende slib successievelijk van het zeegat naar de kust wordt gebracht.

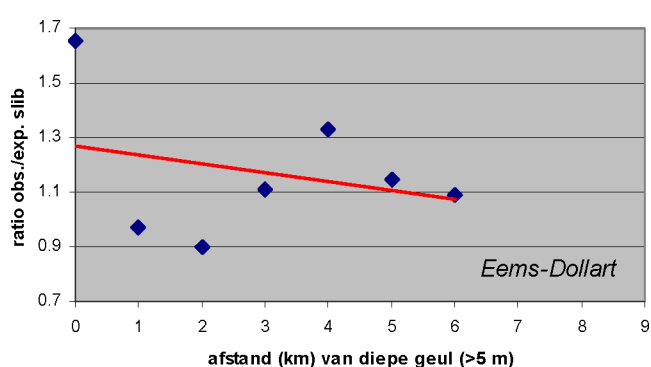
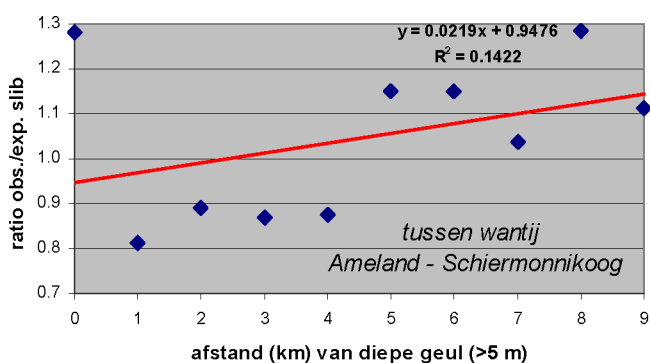
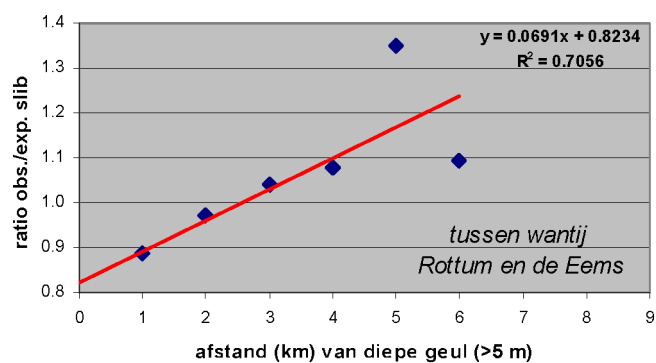
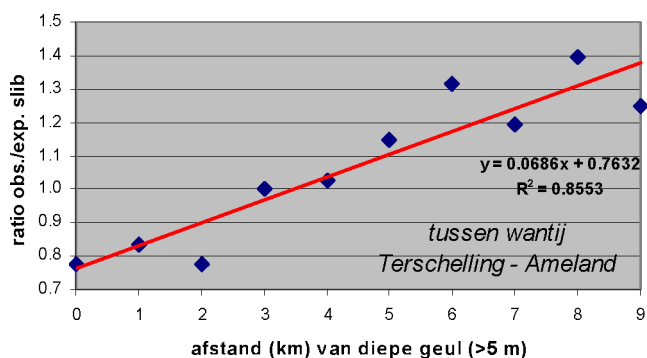
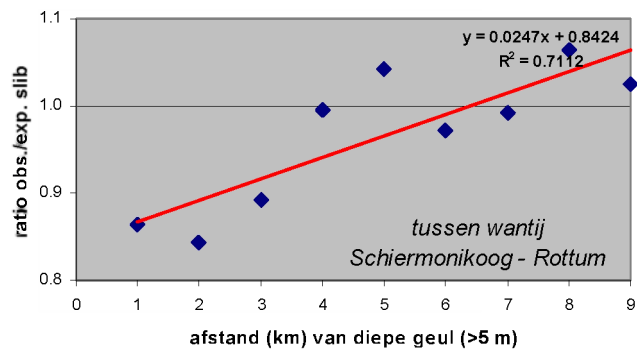
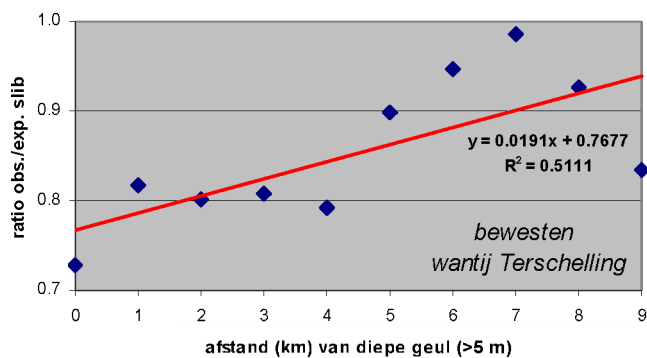
.....
Figuur 4.12
De afstand tot de dichtstbijzijnde diep geul (< 5 m).



De afstand van elke plek in de Waddenzee tot de dichtstbijzijnde diepe geul (< 5 m) is bepaald (Fig. 4.12). Daarna is berekend of de afwijking (zoals weergegeven in Fig. 4.11) samenhangt met de afstand tot de diepe geul. Die berekening is apart uitgevoerd per zeegat. Het resultaat van die berekening is weergegeven in Fig. 4.13. De regressielijnen uit Fig. 4.13 zijn daarna gebruikt als correctie-factor, met uitzondering voor de Eems/Dollard waar geen correlatie werd gevonden om de voorspelde slibgehalten (Fig. 4.10) te verbeteren (Fig. 4.14).

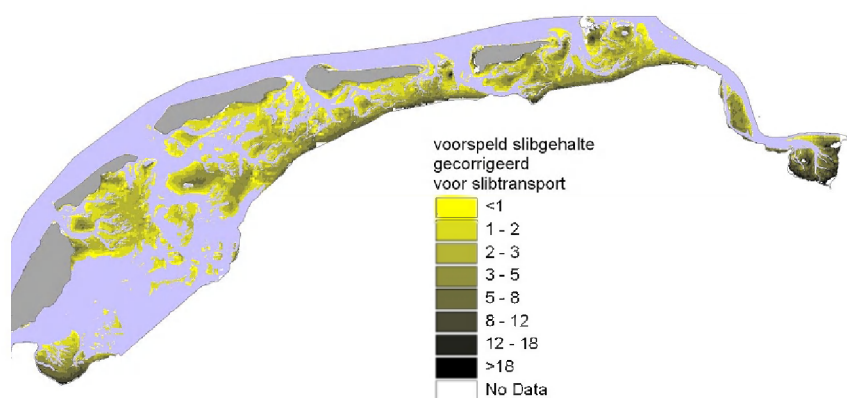
Figuur 4.13

De ratio van voorspeld en waargenomen slijtgehalte als functie van de afstand tot de dichtstbijzijnde diepe geul (zie Fig. 4.12), apart berekend voor verschillende delen van de Waddenzee, zoals die gescheiden zijn door de wantijen.



Figuur 4.14

Het voorspelde slibgehalte op basis van de stroomsnelheid en orbitaalsnelheden, gecorrigeerd voor het cumulatieve slibtransport (zoals geoperationaliseerd als de afstand t.o.v. het zeegat; zie Fig. 4.12 en 4.13).

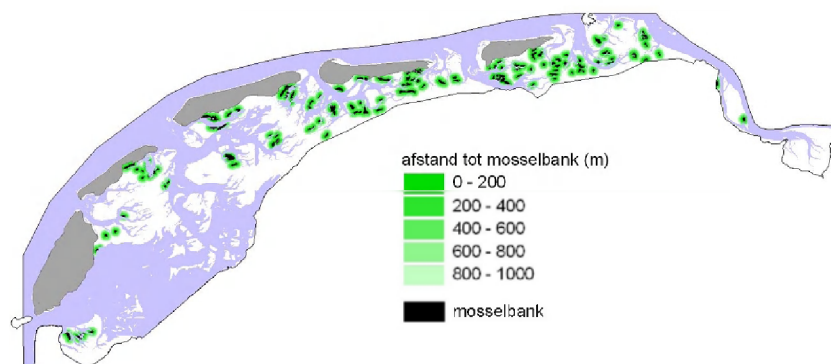


4.5 Het lokale effect van stabiele mosselbanken op de bodemgesteldheid

De verbeterde voorspelling van het slibgehalte (Fig. 4.14) is daarna weer vergeleken met het waargenomen slibgehalte (Fig. 4.10), maar we konden geen variabelen vinden die de voorspelling zouden kunnen verbeteren. Er was echter één variabele die tot onze verrassing een deel van de afwijking tussen de voorspelling en waargenomen slibgehalte kon verklaren: de stabiele mosselbank.

Figuur 4.15

De mosselbanken in de Waddenzee, gebaseerd op luchtfoto's uit 1968 en veldbezoeken in de 70er jaren. Overgenomen uit Dijkema (1989) en daarna gedigitaliseerd door Alterra. De afstanden tot de rand van de mosselbank is aangegeven met een verlopende kleur.



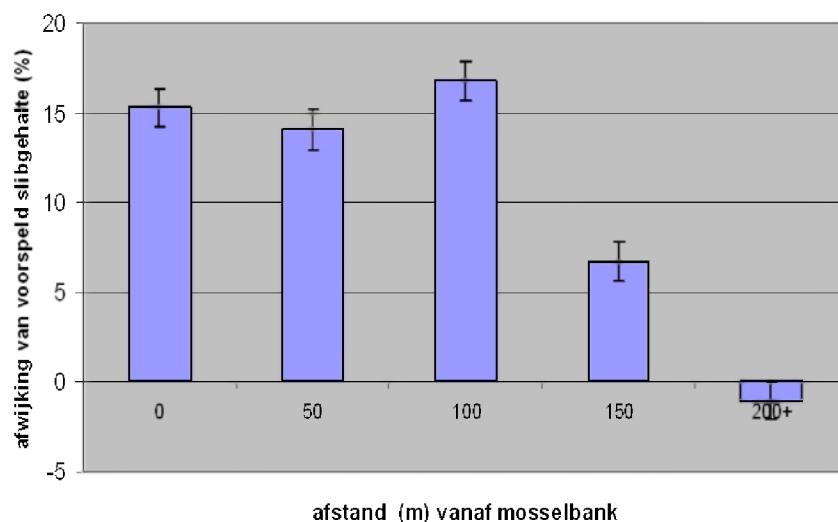
In het verleden waren er op een aantal vaste plekken in de Waddenzee vrijwel elk jaar mosselbanken te vinden. Ze zijn weergegeven in de atlas van Dijkema (1989) en daarna door Alterra gedigitaliseerd (Fig. 4.15). Door ons is daarna voor elke monsterplek de afstand tot de dichtstbijzijnde mosselbank berekend. Wanneer de ratio voorspeld / waargenomen slibgehalte wordt uitgezet tegen de afstand tot de mosselbank, bleek het slibgehalte binnen een straal van 200 meter systematisch hoger te zijn dan op basis van de dynamiek en het

cumulatieve slibtransport verwacht mag worden (Fig. 4.16). Een dergelijk resultaat kan worden verklaard door het feit dat mossels pseudofaeces produceren die rondom de mosselbank leiden tot een verhoogd slibgehalte (Oost 1995). Bij de meeste mosselbanken is de bodem alleen aan de luwe zijde slibrijker, maar niet op het wad tussen de geul en mosselbank. Dáár is het wad vaak juist zandiger dan de omgeving. Bij de berekeningen t.b.v. Fig. 4.16 is niet geprobeerd om hiermee rekening te houden.

Conclusie: mosselbanken hebben een duidelijk effect (gehad) op de bodemgesteldheid. In onze analyse was het effect van de mosselbank op de voorspelde slibgehalte, hoewel significant, zo klein, dat deze informatie niet is gebruikt om de uiteindelijke bodemkaart te construeren.

Figuur 4.16

De ratio van voorspeld en waargenomen slibgehalte als functie van de afstand tot de mosselbank (zie Fig. 4.15).

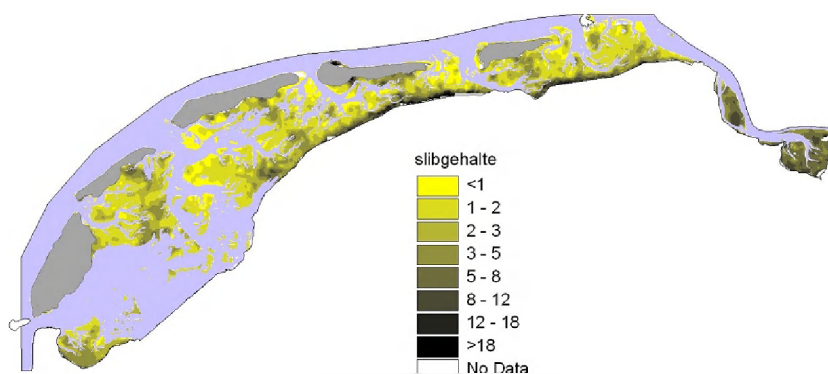


4.6 De gedigitaliseerde bodemkaart

Het resultaat van al het werk, beschreven in dit hoofdstuk, is gebruikt om een digitale bodemkaart te maken (Fig. 4.17). De kaart is primair gebaseerd op de 5078 metingen (Fig. 4.1), waarbij bij de interpolatie tussen de metingen gebruik is gemaakt voor de relatie tussen slibgehalte en de dynamische variabelen, gecorrigeerd voor het slibtransport (Fig. 4.14).

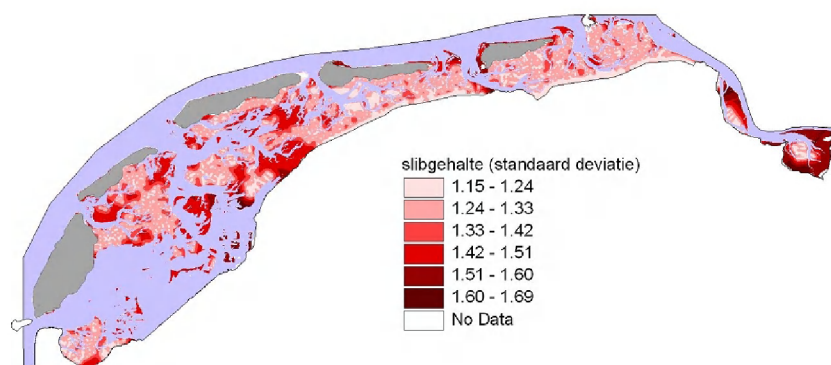
Figuur 4.17

Het slibgehalte van de wadplaten in de Waddenzee gebaseerd op de RIJP-monsters (fig. 4.1). De slibgehalten zijn berekend per ha. De waarden tussen de RIJP-monsters (Fig. 4.1) zijn geïnterpoleerd m.b.v. een geostatistische procedure, cokriging, waarbij rekening wordt gehouden met de relatie tussen slibgehalte en abiotische variabelen (stroomsnelheid, orbitaalsnelheid, afstand tot zeegat: Fig. 4.14).



Figuur 4.18

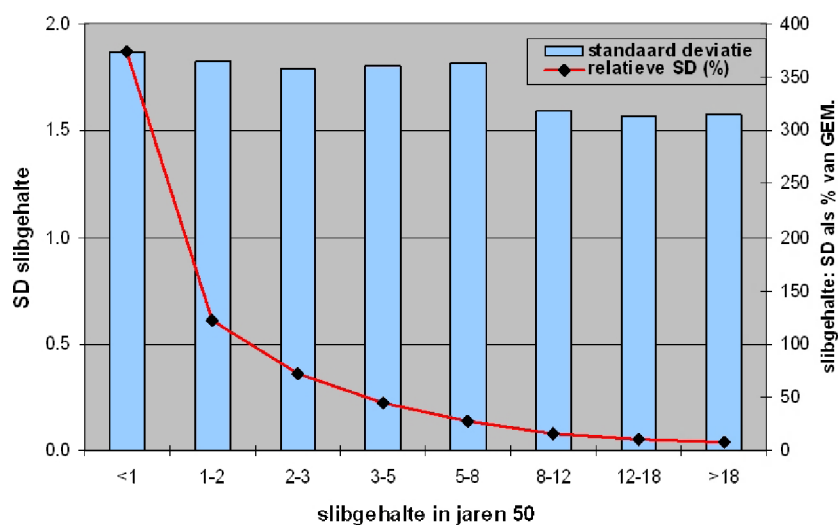
De meetfout die wordt gemaakt bij het schatten van het slibgehalte van de wadplaten in de Waddenzee; zelfde gegevens als Fig. 4.17.



Bij de interpolatie worden uiteraard fouten gemaakt. Hoe groot die fouten zijn is berekend en af te lezen uit Fig. 4.18. Waar veel metingen beschikbaar zijn, is de meetfout gering, maar in gebieden waar niet of nauwelijks metingen beschikbaar zijn (zoals b.v. de Vlakte van Oosterbierum en het aangrenzende Friese deel van het wantij onder Terschelling, en het Lange Zand en andere platen ten zuidwesten van de Grienderwaard), is wel een slibgehalte geschat, maar is de meetfout relatief groot.

Figuur 4.19

De meetfout (uitgedrukt als standaard deviatie) als functie van het slibgehalte (zelfde gegevens als Figs. 4.16 en 4.17). De standaard deviatie is op twee manieren gegeven: absoluut (blauwe staven) en relatief, d.w.z. als % van het gemiddelde (rode lijn).



Bij de interpretatie van de bodemkaart is het goed zich te realiseren dat de meetfout, in absolute zin, onafhankelijk is van het slibgehalte (Fig. 4.19). De standaard deviatie van het geschatte slibgehalte is voor slibarme wad zelfs significant groter dan voor slibrijk wad. Dit betekent dat bij een geschat slibgehalte van 3 % een marge tussen van 1.2 tot 4.8 % moet worden geaccepteerd, en dat dit bij b.v. 12 % ligt tussen 10.5 en 13.5 %. De standaard deviatie uitgedrukt als percentage van het gemiddelde slibgehalte neemt dan ook sterk af met een hoger slibgehalte. Dat is jammer omdat we vooral graag voor de slibarme gronden een nauwkeurige schatting hadden willen hebben van het slibgehalte.

5 De bodemgesteldheid in de jaren negentig

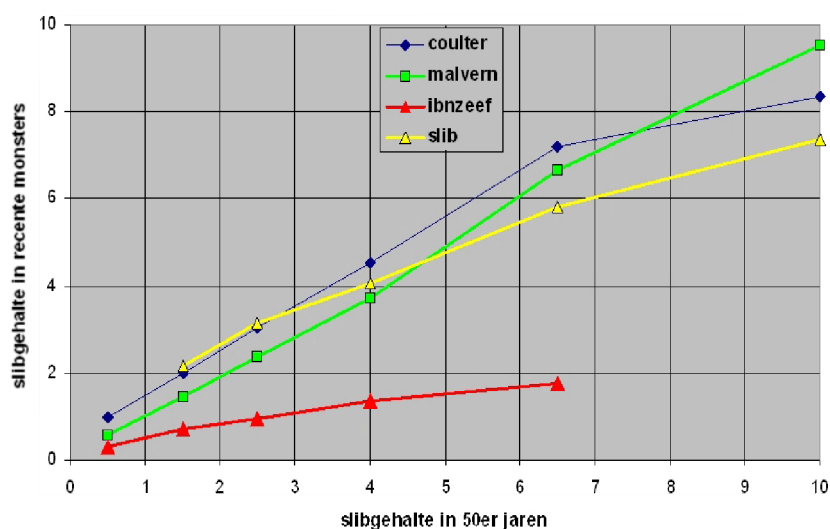
5.1 Inleiding

Zoals al beschreven in hoofdstuk 2.1 zijn de recente grondmonsters op vier verschillende manieren uitgezocht. Om de vergelijking met de oude RIJP-monsters mogelijk te maken zijn de zeefanalyses en de analyses met de Coulter en Malvern laser particle size analyser m.b.v. ijklijnen omgezet naar slibgehalte (par. 2.7-2.9). De ijklijnen zijn niet perfect. De meetfout die gemaakt wordt bij de omzetting naar slibgehalte kan worden afgelezen uit de getoonde spreiding van de metingen rondom de berekende regressielijnen (Fig. 2.6-2.12). Deze spreiding is een indicatie van de niet-systematische meetfout. Daarnaast is er altijd de mogelijkheid dat de berekende regressielijn fout is. Natuurlijk mogen de ijklijnen alleen worden toegepast als na gebruik de afgeleide slibgehaltenes niet systematisch te hoog of te laag zijn. Dat is te onderzoeken door monsters te vergelijken die in hetzelfde gebied met de verschillende methodes zijn geanalyseerd.

In 31 gevallen is op dezelfde plek een Malvern monster genomen en een paar jaar later een Coulter monster. Het slibgehalte afgeleid van het Malvern monster lag gemiddeld 15% lager dan het slibgehalte afgeleid van het Coulter monster. Het slibgehalte voorspeld aan de hand van de IBN-zeef week sterk af van de twee andere methoden: het slibgehalte van 43 IBN-monsters was 77% lager dan de monsters die op dezelfde plekken in ongeveer dezelfde tijd zijn verzameld en uitgezocht met de Coulter. Er waren slechts 2 monsters die zowel met de Malvern als de IBN-zeef zijn uitgezocht. Ook bij deze twee monsters was het slibgehalte van de IBN-monsters 57% lager dan voor de Malvern monsters.

Figuur 5.1

Het slibgehalte in de jaren 90 (zoals bepaald op vier verschillende manieren uitgezet tegen het op dezelfde plekken gemeten slibgehalte in de jaren 50 (Fig. 4.17).



Een andere manier om de afgeleide slibgehaltenes te vergelijken, is om de slibgehaltenes van de recente monsters uit te zetten tegen het slibgehalte van de jaren vijftig. Fig. 5.1 geeft het resultaat. Gemiddeld genomen is er een grote overeenkomst tussen het slibgehalte in de jaren 50 en de rechtstreeks gemeten slibgehaltenes in de jaren 90: waar de Waddenzee in 1950 slibrijk of slibarm was, is dat 40 jaar later nog steeds zo. Hetzelfde werd gevonden bij de vergelijking van de oude slibkaart met de slibgehaltenes berekend uit de Coulter- en de Malvern-monsters. Daarentegen blijken de slibgehaltenes afgeleid van de IBN-zeef systematisch veel te laag te zijn.

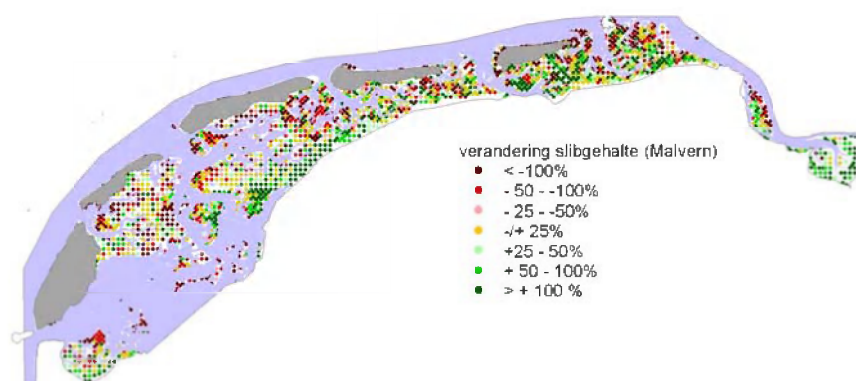
Figuur 5.1 moet voorzichtig worden geïnterpreteerd. De slibmonsters zijn voor het grootste deel langs de Fries-Groninger kust verzameld en de IBN-monsters allemaal in het meest westelijke deel van de Waddenzee. Verschillen zoals getoond in Fig. 5.1 kunnen dus ook worden veroorzaakt door werkelijke veranderingen in de Waddenzee. De zojuist al genoemde rechtstreekse vergelijkingen tussen de recente monsters, hoewel gebaseerd op een veel kleinere steekproef, laten echter ook zien dat de IBN-monsters systematisch erg lage slibgehaltenes geven.

Voor de zekerheid worden de gegevens eerst apart geanalyseerd voor de vier verschillende analysemethoden. Wanneer met één methode op één plek in de loop van de jaren meerdere monsters zijn gestoken, zijn die gemiddeld.

5.2 Malvern (1989 – 1996)

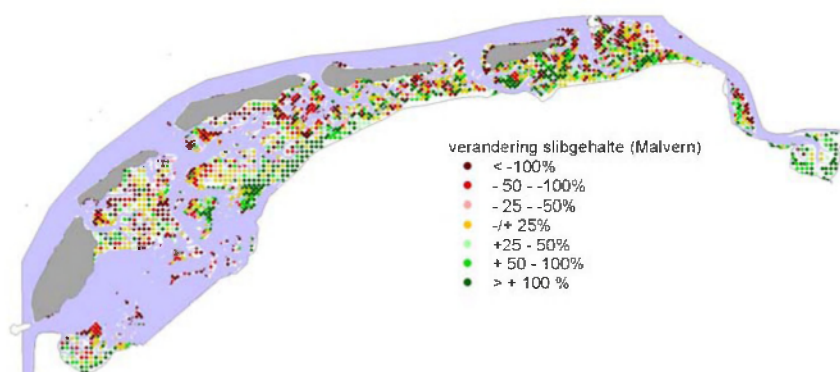
De slibgehaltenes, zoals afgeleid uit de Malvern-monsters, zijn gegeven in Fig. 5.2. 2286 monsterplekken zijn bezocht tussen 1989 en 1996. De kaart wijkt op het eerste gezicht niet af van de bodemkaart uit de jaren 50 (Fig. 4.17). De slibgehaltenes afgeleid uit de Malvern-monsters zijn vergeleken met de slibgehaltenes uit de jaren 50. Er bleven dan 2059 monsterpunten over. Het verschil in slibgehalte is uitgedrukt als % (Fig. 5.3). Gerekend over de 2054 monsterpunten is het gemiddelde slibgehalte voor de Malvern-monsters 3.46%, dat is 38% hoger dan het gemiddelde (2.51%) voor de overeenkomstige RIJP-monsters.

Figuur 5.2
Het slibgehalte afgeleid uit de Malvern-monsters (1989-1996).

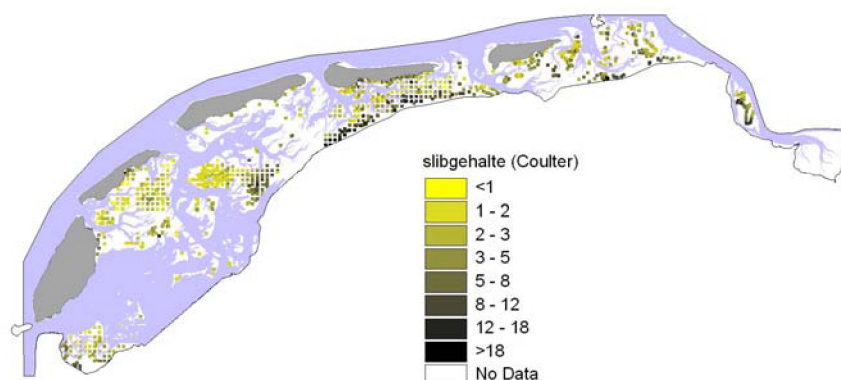


De monsters waar het slibgehalte met minder dan 25% is toe- of afgenomen zijn oker gekleurd. Van licht- tot donkerrood zijn de monsters aangegeven waar het slibgehalte is afgenomen en van licht- tot donkergroen waar het slibgehalte is toegenomen (Fig. 5.3). Deze kaart laat zien dat er toch wel iets veranderd is in de Waddenzee. Het wad onder de vasteland kust van Noord-Holland, Friesland en Groningen, en ook die onder de vijf grote Waddeneilanden, is duidelijk slibrijker geworden. Daarentegen zijn veel wadplaten rondom de zeegaten zandiger geworden. Dat geldt bijvoorbeeld voor de noordkant van het Balgzand, de platen rondom het zeegat tussen Texel en Vlieland, tussen Vlieland en Terschelling en tussen Terschelling en Ameland en de westzijde van de Grienderwaard.

Figuur 5.3
Het relatieve verschil tussen het slibgehalte afgeleid uit de Malvern-monsters en de oude RIJP-monsters



Figuur 5.4
Het slibgehalte afgeleid uit de Coulter-monsters (1997-2002).

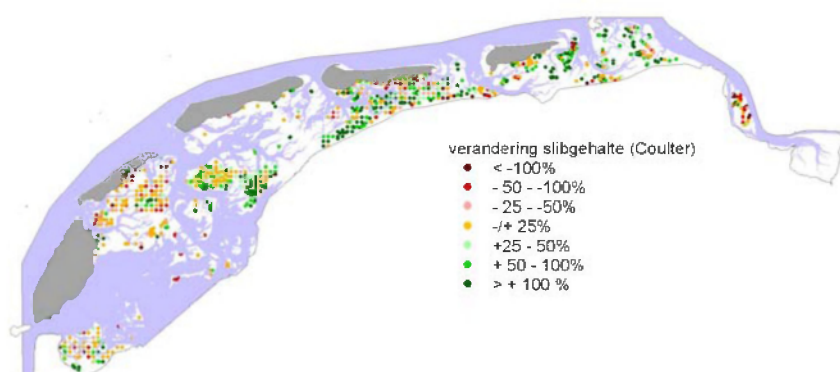


5.3 Coulter (1996 – 2002)

De slibgehaltenes, zoals afgeleid uit de Coulter-monsters, zijn gegeven in Fig. 5.4. Tussen 1996 en 2002 zijn op 1297 plekken monsters genomen. Ook deze kaart lijkt niet af te wijken van de oude bodemkaart (Fig. 4.17). Dat verschil wordt pas duidelijk als de slibgehaltenes van de Coulter-monsters worden uitgedrukt als relatief verschil ten opzichte van de slibgehaltenes uit de jaren 50. Er bleven dan 1225 monsterpunten over. Dezelfde verschuivingen die zichtbaar waren wanneer de RIJP-bodemkaart en de Malvern-monsters worden vergeleken, zien we terug in de vergelijking tussen de RIJP-kaart en de Coulter-monsters (Fig. 5.5). Gerekend over de 1255 monsterpunten is het gemiddelde slibgehalte voor de Coulter-monsters 3.77%, dat is 44% hoger dan het gemiddelde (2.62%) voor de overeenkomstige RIJP-monsters.

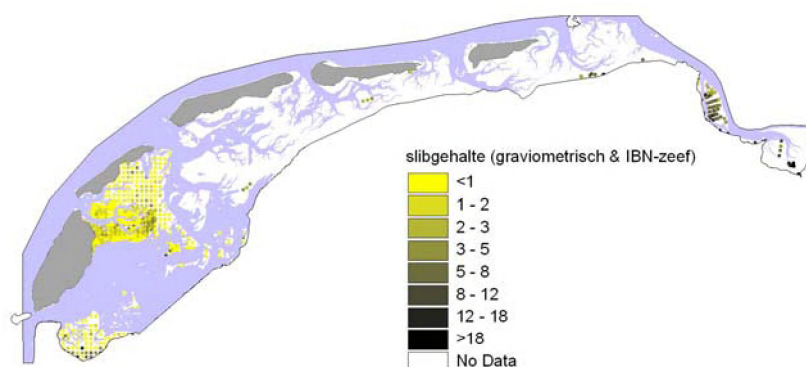
Figuur 5.5.

Het relatieve verschil tussen het slibgehalte afgeleid uit de Coulter-monsters en de oude RIJP-monsters



Figuur 5.6

Het slibgehalte zoals afgeleid uit de IBN-zeefmonsters (alle monsters van de Balgzand en de Waardgronden; 1998-1999) en zoals graviometrisch bepaald (rest van de Waddenzee; 1980-2000).



5.4 Slibbepalingen (1981 – 2000)

Vrijwel alle slibbepalingen zijn tussen 1980 en 2000 slechts op een aantal vaste monitoringsplekken (Fig. 3.1 en 3.2) verricht. Vandaar dat er van de 1250 slibmonsters die sinds 1980 zijn genomen, er slechts 162 waarden overblijven wanneer over de tijd de gemiddelde plekwaarde wordt berekend. Fig. 5.6 geeft de gemiddelde slibgehaltenes (waarbij alle monsters op Balgzand en Waardgronden betrekking hebben op de IBN-zeef). Gerekend over de 162 monsterpunten is het gemiddelde slibgehalte voor de recente slibmonsters 5.30%, dat is 59% hoger dan het gemiddelde (3.32%) voor de overeenkomstige RIJP-monsters.

Figuur 5.7

Het relatieve verschil tussen het slibgehalte zoals ofwel graviometrisch bepaald, ofwel afgeleid uit de IBN-zeef-monsters en de oude RIJP-monsters.

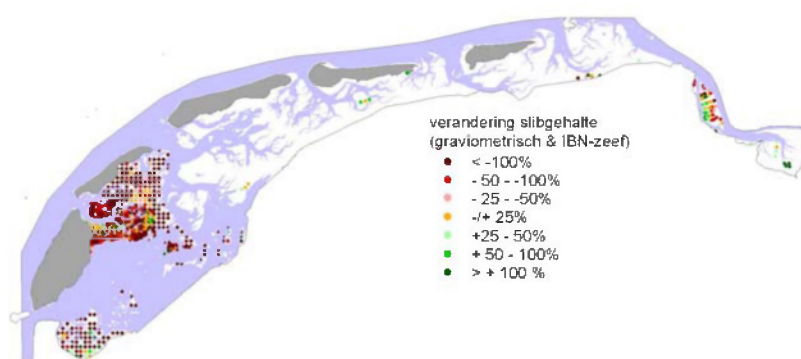


Fig. 5.7 geeft, op dezelfde wijze als Fig. 5.3 en 5.5 de relatieve verschillen. De resultaten wijken niet af van andere verschilkaarten. Zo zijn de Hond en de Paap (gelegen in de Eems ten zuiden van Delfzijl), blijkens zowel Fig. 5.3 als Fig. 5.7, aan de oostzijde slibarmer geworden en aan de westzijde slibrijker.

5.5 IBN-zeef (1998 – 1999)

De 721 IBN-monsters zijn gestoken op 712 plekken, waarvan 660 vergeleken konden worden met een slibgehalte op de oude RIJP-bodemkaart. Alle monsters liggen op het Balgzand en de Waardgronden (de punten die in Fig. 5.6 en 5.7 verder oostwaarts liggen betreffen slibmonsters; zie par. 5.4). De slibgehaltenes, zoals berekend voor de IBN-monsters (Fig. 5.6) vertonen globaal hetzelfde beeld als Fig. 5.2. en 5.4: de Waardgronden zijn zandig en de beschutte zuidrand van het Balgzand wat slibrijker. Wanneer de IBN-bepalingen echter worden gegeven als ratio t.o.v. de RIJP-monsters, blijkt het grote verschil, zoals reeds besproken in par. 5.1. De monsters die in 1999 in een grid van 250x250 m zijn verzameld, hebben een nog lager slibgehalte te hebben dan de 1998-monsters, die gestoken zijn met een onderlinge afstand van 1000 m. Gerekend over de 660 monsterpunten is het gemiddelde slibgehalte voor deze zeefmonsters 1.33%, dat is 41% lager dan het gemiddelde (2.27%) voor de overeenkomstige RIJP-monsters.

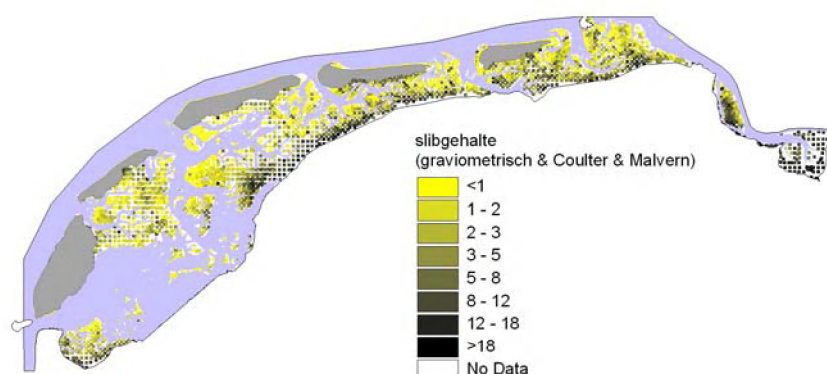
5.6 Samenvoeging recente monsters

De IBN-monsters suggereren een sterke verzanding van de Waardgronden. Eenzelfde, maar zwakkere, trend werd ook waargenomen bij de monsters die met de Malvern en de Coulter zijn geanalyseerd. De verschilkaarten (Figs. 5.3, 5.5 en 5.7) zijn gebaseerd op relatieve verschillen. Dat wil zeggen dat een afname in het slibgehalte van 1 naar 0.5% op dezelfde wijze is afgebeeld als een afname van 20 naar 10%. Het gebied waar de IBN-monsters zijn verzameld behoren tot het zandige deel van de Waddenzee. Het slibgehalte van de IBN-monsters liggen meestal maar 0.5 of 1% lager dan die van de RIJP-monsters.

Er is weinig mis met de gebruikte ijklijnen om de IBN-monsters om te zetten, hoewel de omzetting van zeeffractie < 63 mm naar slibgehalte in twee stappen moest gebeuren: van zeef naar Coulter (Fig. 2.10) en van Coulter naar slibgehalte (Fig. 2.11). De relatie tussen slibgehalte en de fijne zandfractie is voor de Nederlandse Waddenzee niet geheel identiek (b.v. Zwarts 1988: zijn figuur 3.11) en dat zou hier een probleem kunnen zijn omdat de ijklijn (Fig. 2.10) is gebaseerd op monsters uit de Mokbaai en wordt toegepast op monsters van het Balgzand en de Waardgronden. Ter controle is daarom de relatie tussen de zeeffractie < 63 mm en het slibgehalte nog eens bepaald aan de hand van de RIJP-monsters die verspreid in de Waddenzee waren genomen. Het voorspelde slibgehalte kwam in deze analyse een fractie hoger uit dan de relatie die is gebruikt in Fig. 2.12, maar het verschil was verwaarloosbaar. Daarmee was de twijfel weggenomen dat gebruikte IBN-ijklijn gebaseerd op de monsters uit de Mokbaai niet toegepast zou mogen worden voor monsters van het Balgzand of de Waardgronden. De mogelijkheid blijft bestaan dat de monsters uit de Mokbaai anders zijn behandeld dan de monsters van het Balgzand en de Waardgronden. Navraag bij de betrokkenen die in het verleden de grondmonsters hebben geanalyseerd, doet vermoeden dat de monsters die zijn gestoken op het Balgzand en Waardgronden minder lang zijn geschud voordat ze worden gezeefd, in vergelijking met de Mokbaai-monsters. Daardoor zouden in monsters van het Balgzand en de Waardgronden de fijnste bodemdeeltjes wellicht niet voldoende van elkaar zijn gescheiden en de slibfractie dus systematisch zijn onderschat.

Figuur 5.8

Het slibgehalte afgeleid uit de Malvern-monsters (Fig. 5.2), Coulter-monsters (Fig. 5.4) en slibmonsters (Fig. 5.6).

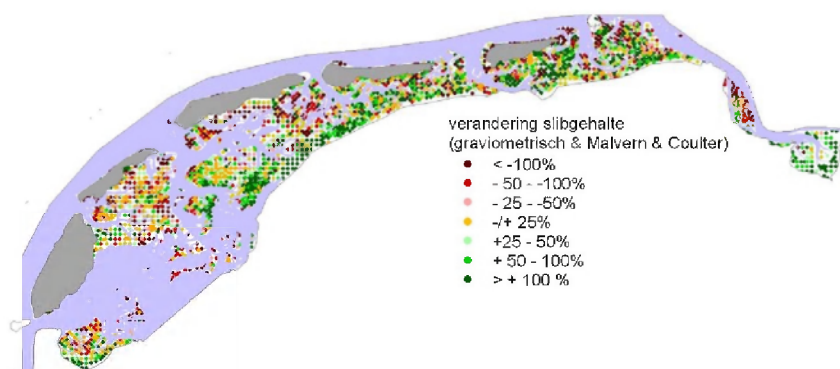


Uiteindelijk is besloten om de bodemgesteldheid in de jaren 90 verder alleen te baseren op de slib-bepalingen en op de Malvern- en Coultermonsters. Ten eerste vereenvoudigt het de analyse van de gegevens, omdat de drie overgebleven bestanden zonder problemen kunnen worden samengevoegd. Bovendien wordt de interpretatie meer eenduidig en wordt voorkomen dat de conclusie "de westelijke Waddenzee is slibbarmer geworden", wordt ondergraven omdat twijfel blijft bestaan over de validiteit van de gebruikte omzetting naar slibgehalte bij de IBN-monsters.

Fig. 5.8 geeft de bodemgesteldheid van de Waddenzee in de jaren 90 op basis van de figuren 5.2, 5.4 en 5.6 (maar dan zonder IBN-monsters). Op dezelfde manier geeft Fig. 5.9. de relatieve verschilkaart op basis van de gecombineerde monsterbestanden. De veranderingen zijn uitgedrukt als percentuele verschillen. Het nadeel van deze methode is dat een toename van 10 naar 20% slib, op dezelfde manier wordt weergegeven als een toename van 0.5 naar 1%. In beide gevallen is het een verdubbeling. De veranderingen kunnen ook worden weergegeven als absolute verschillen (Fig. 5.10). Bij de interpretatie van Fig. 5.10 doet zich dan echter het probleem voor dat een grote afname in het slibgehalte van 3 naar 0% op dezelfde manier wordt afgebeeld als een relatief kleine afname van 20 naar 17%. Het is daarom het beste om Fig. 5.9 en 5.10 steeds te vergelijken met de bodemkaart (Fig. 5.8).

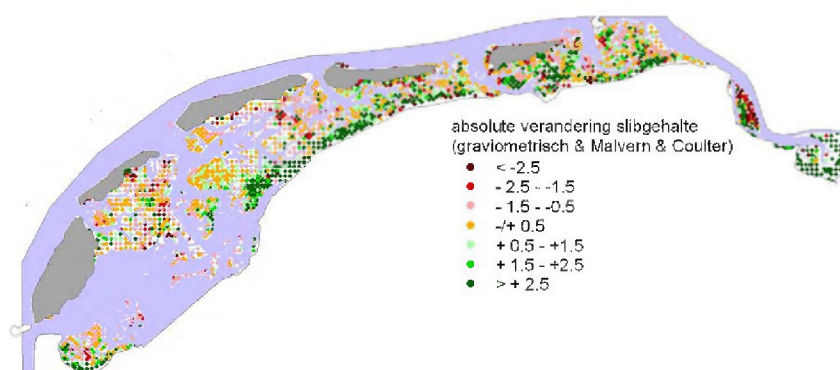
Figuur 5.9

Het relatieve verschil tussen het slibgehalte zoals recent bepaald (Figs. 5.3, 5.5 en 5.7, maar zonder IBN-monsters) en de oude RIJPMonsters (Fig. 4.17).



Figuur 5.10

Het absolute verschil tussen het slibgehalte zoals recent bepaald (Figs. 5.3, 5.5 en 5.7, maar zonder IBN-monsters) en de oude RIJPMonsters (Fig. 4.17).



5.7 Het effect van mosselbanken op de bodemgesteldheid

Bij de constructie van de bodemkaart met de slibgehalten in de jaren 50 is geen rekening gehouden met de ligging van mosselbanken (par. 4.5), hoewel het slibgehalte op de mosselbank zelf en een zone van 150 meter rondom gemiddeld 15% hoger was dan de kaart liet zien (Fig. 4.16). De bodemkaart voor de jaren 50 geeft dus een systematische onderschatting van het slibgehalte van de plekken die in Fig. 4.15 als stabiele mosselbank zijn aangegeven, inclusief een zone rondom van 150 m. Wanneer het slibgehalte daar toen systematisch is onderschat, dan zou dat moeten blijken uit de vergelijking tussen het slibgehalte uit de jaren 50 en de jaren 90.

Fig. 5.11 laat de toename in slibgehalte tussen de jaren 50 en 90 zien als functie van de afstand tot de stabiele mosselbank. Het verschil is nog groter dan verwacht op basis van de juist genoemde onderschatting voor de RIJP-monsters. Uit Fig. 5.11 mag echter daarom niet de conclusie worden getrokken dat het wad rondom de stabiele mosselbanken de afgelopen decennia zoveel slibrijker is geworden. Het ligt eerder voor de hand te concluderen dat Fig. 5.11 een bevestiging is van wat Fig. 4.16 reeds liet zien: mosselbanken vangen veel slib in, waardoor ook op het omringende wad mosselslib komt te liggen. Bovendien komen oude mosselbanken omhoog en ontstaan zodoende luwe plekken waardoor het wad daar extra slibrijk kan worden.

Figuur 5.11

De relatieve toename van het slibgehalte (± 1 SE) tussen 1950 (RIJP-monsters) en zoals recent bepaald, uitgezet tegen de afstand t.o.v. de stabiele monsterbank (Fig. 4.15). Het verband is zeer significant ($p < .001$; $R^2 = 0.016$; $n = 4356$). De grafiek duidt op een onderschatting van het slibgehalte op en rondom de mosselbanken op de oude bodemkaart (Fig. 4.16).

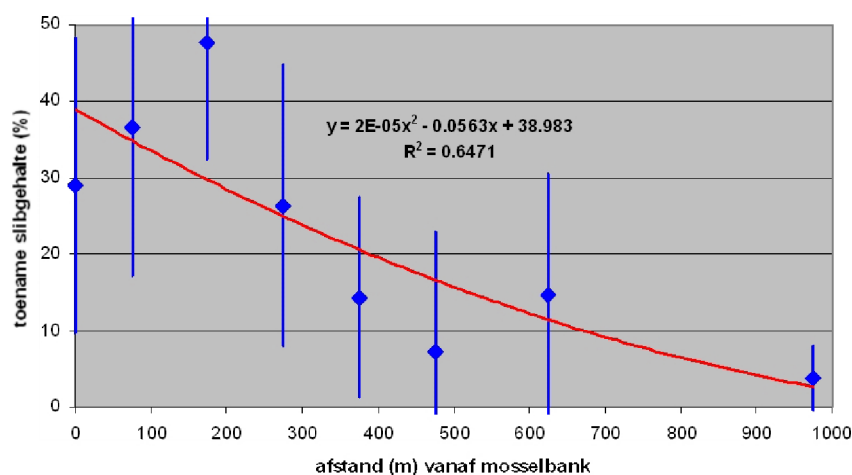


Fig. 5.11 neemt, net zoals Fig. 4.16, de stabiele mosselbanken (zoals ingetekend in Fig. 4.15) als uitgangspunt. Daarmee wordt natuurlijk een grote fout geïntroduceerd omdat deze mosselbanken niet alle jaren aanwezig zijn geweest. Dat het effect desalniettemin zo duidelijk zichtbaar is, laat zien dat mosselbanken een zeer sterk effect hebben op de lokale bodemgesteldheid. Dat werd ook duidelijk bij de monsternamen gedurende de afgelopen jaren. In 2000 en 2001 was er, voor het eerst sinds jaren, een sterke broedval van mossels geweest. In gebieden die zowel gemonsterd zijn in 1999 (geen mossels) als in 2000 of 2001 (wel mossels), was het slibgehalte in 1999 systematisch lager dan in 2000 of 2001. Eén voorbeeld is al genoemd: de onderzoeksveldjes onder Oost-Ameland (Fig. 3.5) waar in de nazomer 2001, na mosselbroedval het slibgehalte ter plaatse sterk toenam. Een deel van de variatie in slibgehalte (zoals te zien op Fig. 4.11 of Fig. 4.12) is ook toe te schrijven aan dit mosselbank-effect. Een duidelijk voorbeeld is de Brakzand onder westelijk Schiermonnikoog, waar verspreid binnen een gebied van 22 ha 45 monsters werden genomen in 1999 en 13 in 2002. Volgens de oude bodemkaart (Fig. 4.16) bedroeg het gemiddelde slibgehalte op deze plek 2.2%. In 1999 was het

gemiddelde slibgehalte 2.4%, dus 11% hoger dan de RIJP-monsters maar in 2002, toen dit deel van de Brakzand bedekt was met plukken eenjarige mossels, was het 4.6%, 110% hoger.

De voorbeelden van het Brakzand en Oost-Ameland laten zien dat het al dan niet aanwezig zijn van mosselbanken een evident effect heeft op de lokale bodemgesteldheid. Tussen 1991 en 2000 waren mosselbanken in de Waddenzee vrijwel afwezig. We zouden daarom verwachten dat wanneer het afstand-effect, zoals aangetoond in Fig. 5.11, wordt opgesplitst voor de jaren 1991-1999 en de jaren ervoor en erna, het effect afwezig moet zijn geweest in de jaren zonder mosselbank. Een significant verschil tussen de periode met en zonder mosselbanken kon echter niet worden aangetoond. Dat was voor een deel te wijten aan het feit dat in de mosselbank-loze jaren toevalligerwijs weinig monsters waren gestoken nabij de plekken die als stabiele mosselbanken waren aangeduid.

Conclusie: het slibgehalte van het wad onder en rondom mosselbanken is erg hoog en in de loop van de jaren, door het al of niet aanwezig zijn van de mosselbanken, variabel. Bij de constructie van de bodemkaart is daar geen rekening mee gehouden.

5.8 Is de Waddenzee slibrijker geworden?

Op 2 van de 3 monitoringsplekken (Piet Scheveplaat, Heringsplaat) is het slibgehalte de afgelopen 25 jaar duidelijk toegenomen (Fig. 3.3). Ook de vergelijking tussen de bodemkaart gebaseerd op de RIJP-monsters en de monsters die de afgelopen twee decennia zijn gestoken, lijkt slechts één conclusie mogelijk: de platen in de Nederlandse Waddenzee zijn gemiddeld slibrijker geworden. Voor de slibmonsters (par. 5.4) was de toename het grootst met +59%, maar was ook het aantal monsters het kleinste. De toename in slibgehalte voor Coulter-monsters (par. 5.3: +44%) en Malvern-monsters (par. 5.2: +38%) betrof een veel grotere data-set en in het geval van de Malvern waren de monsters ook mooi verdeeld over de gehele Waddenzee. De tussen haakjes gegeven toenames zijn gebaseerd op een vergelijking van het gemiddelde slibgehalte van de recente monsters en het gemiddelde slibgehalte van de overeenkomstige RIJP-monsters. Wanneer de verandering in slibgehalte voor de individuele monsters wordt berekend, daarna van deze ratio de log wordt genomen en vervolgens deze log-waarden worden gemiddeld en de anti-log van dit gemiddelde wordt genomen, blijkt de gemiddelde toename slechts 8.5% te zijn. De logaritmische tussenstap is nodig om een toename van het slibgehalte met een factor x (b.v. een verdubbeling) even zwaar te laten tellen als een *afname* met eenzelfde factor x (b.v. een halvering).

Is het slibgehalte van de wadplaten in de Nederlandse Waddenzee nu 40% hoger geworden of slechts 8.5%? Als elk monster even zwaar telt, onafhankelijk of het slibgehalte 1 of 30% is, is de gemiddelde toename in het slibgehalte 8.5%. Als we echter willen weten hoeveel de absolute toename is van het slib dan is 40% een betere schatting.

Blijft de vraag of we werkelijk mogen concluderen dat de Waddenzee gemiddeld zoveel slibrijker is geworden? Er kunnen twee argumenten worden aangevoerd waarom het slibgehalte niet is toegenomen, althans niet in de mate zoals nu zou blijken.

Ten eerste, liet de vorige paragraaf zien dat bij de constructie van de bodemkaart voor de jaren 50 geen rekening is gehouden met de ligging van stabiele mosselbanken. Tussen de mosselrichels vormt zich mosselslik en ook het wad in de directe omgeving van de mosselbank is veel slibrijker (Oost 1995). De op basis van de RIJP-monsters bepaalde slibgehalten zijn voor deze stabiele mosselbanken met aangrenzend wad (Fig. 4.15) zeker te laag. Uit Fig. 5.11 blijkt dat, wanneer alle recente monsters die gestoken zijn binnen een afstand van 700 meter vanaf de stabiele mosselbanken buiten beschouwing worden gelaten, het verschil tussen het gemiddeld slibgehalte in de jaren 50 en 90 voor het resterende wad ($n = 3214$) slechts 3.5% te zijn. Dat is niet langer significant verschillend van de RIJP-monsters. Met andere woorden, de significante toename in het slibgehalte tussen de jaren 50 en 90 (+8.5%) zou misschien verdwijnen wanneer gecorrigeerd had kunnen worden voor de onderschatting van het slibgehalte rondom de stabiele mosselbanken.

Ten tweede, is het slibgehalte van de bovenste 5 cm van het wad in de zomer hoger dan in de 20 cm daaronder (par. 2.10). De oude RIJP-monsters zijn vrijwel allemaal 25-30 cm diep gestoken; slechts 3% was uit de laag 0-5 cm (par. 2.1). Vrijwel alle recente monsters daarentegen komen uit de bovenste 5-10 cm (par. 2.2): 8% uit de laag 0-5 cm, 64% 0-7 cm, 25% 0-10 cm en 4% 0-25 cm. Zowel de RIJP-monsters als de recente monsters zijn vrijwel allemaal in de zomermaanden verzameld (Fig. 2.17). We weten dat het slibgehalte 's zomers voor de laag 0-5 cm gemiddeld 27% hoger dan voor de laag 5-25 cm, maar hoe die verhouding verandert wanneer de grens wordt gelegd bij 7 of 10 cm, is onbekend. Als alle RIJP-monsters 25 cm diep waren gestoken en alle recente monsters 5 cm, zou als gevolg van het verschil in monsterdiepte het slibgehalte van de recente monsters 21% hoger liggen dan de RIJP-monsters. Omdat de recente monsters gemiddeld niet 5 cm maar 8.4 cm diep zijn gestoken, zal het verschil tussen 15 en 20% liggen.

Conclusie: uit de vergelijking van oude en nieuwe monsters zou geconcludeerd kunnen worden dat de Waddenzee aanzienlijk slibrijker is geworden. Deze toename in slibgehalte verdwijnt echter als het slibgehalte wordt vergeleken voor de wad dat niet ligt in de buurt van de stabiele mosselbanken. Bovendien is het slibgehalte in de bovenlaag van de bodem 's zomers hoger dan in de onderlaag en wordt een deel van de toename in het slibgehalte tussen de jaren 50 en 90 veroorzaakt door het feit dat de oude RIJP-monsters vrijwel allemaal diep werden gestoken en alle recente monsters ondiep. Dit betekent dat in de afgelopen halve eeuw het wad dat niet in de buurt van de mosselbanken ligt, gemiddeld slibarmer is geworden.

6 Erosie en sedimentatie in de Waddenzee

6.1 Erosie en sedimentatie op kleine schaal

Slikplaten hebben een glad oppervlak en zandplaten zijn ribbelig. De ribbels ontstaan door stroming en golfwerking. Zandig wad heeft een grotere dynamiek dan slibrijk wad omdat de bodem een grotere mobiliteit vertoont. Dat wil niet zeggen dat er geen erosie en sedimentatie plaats vindt op slibrijk wad. Het eerder geciteerde werk van Kamps (1963) liet zien dat er een regelmatige uitwisseling is tussen het slib dat in het water zweeft en dat aanwezig is in de toplaag van het wad (par. 2.11). Die uitwisseling moet niet worden onderschat. Zwarts (1988: blz 19-22) duwde staven 20 betonijzer 1 m in de grond en bepaalde de variatie in hoogteligging gedurende een periode van drie jaar. Omdat er kleine spoelgaten rondom de betonijzers ontstonden werd de hoogte gemeten halverwege twee betonijzers die ruim 1 m uit elkaar in de grond waren gedrukt. Na een zware herfststorm bleek op twee plekken 10 cm van de bodem te zijn geërodeerd. Op de andere plekken werd een maximale variatie gevonden van 4.5 cm. Al deze plekken lagen op beschutte, slibrijke plekken, dicht onder de Friese kust. Wanneer de hoogtemetingen werden gemiddeld, bleek de temporele variatie al veel minder groot. Dat betekent dat wat op de ene plek wordt geërodeerd elders wordt gesedimenteerd.

Kersten (2002) gebruikte een vergelijkbare techniek om de hoogteverschillen op een aantal plaatsen onder Oost-Ameland te kunnen volgen. Ook hij vond in de loop van drie jaar meten hoogteverschillen van 4 tot 5 cm. Het grootste, abrupte verschil werd gevonden nadat een van zijn meetpunten mechanisch was bevestigd: direct na de kokkelbevissing was 5 cm van de bodem verdwenen. Door mechanische bevissing ontstaan duidelijk zichtbare sporen. De sporen zijn het gevolg van een lokale bodemdaling, maar ook door ophoging van het wad naast deze sporen. Blijkbaar vindt de meting van Kersten precies in een spoor plaats.

Door het RIKZ werd in 1997 op enkele plaatsen op het Groninger wad sedimentdynamiek gemeten m.b.v. in water oplopende tracerstaafjes (Runte 1989). Hierbij werd een gemiddelde erosie van 1.5 – 2 cm per dubbel getij gemeten. Maximale waarden waren niet hoger dan ca. 4 cm. In de meer beschutte Dollard (Heringsplaat) werden iets lagere waarden gemeten. Sedimentatie was vergelijkbaar met de juist genoemde erosie-cijfers, maar met de gebruikte methode minder nauwkeurig vast te stellen (RIKZ-Haren, ongepubliceerde gegevens).

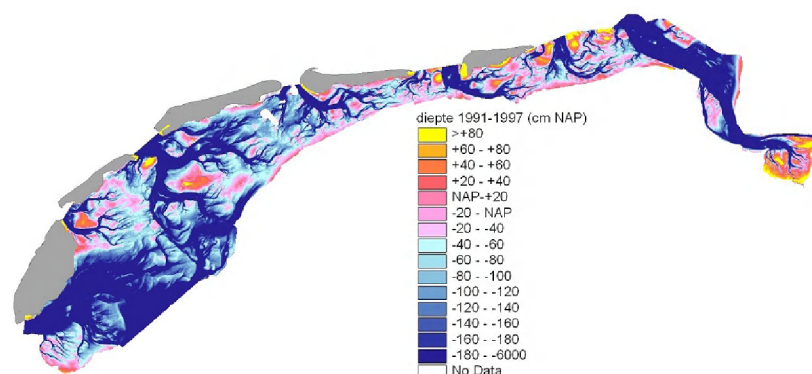
Conclusie: door golfwerking en stroming vindt er op de wadplaten een voortdurende sedimentatie en erosie plaats van enkele cm's. Op zandig wad is die variatie groter dan op slik. Door mechanische kokkelvisserij kan er een erosie plaats vinden van enkele cm's.

6.2 Erosie en sedimentatie op grote schaal

De Waddenzee is een dynamisch gebied waar geulen zich verleggen en wadplaten opkomen of verdwijnen. Die veranderingen worden gevolgd door Rijkswaterstaat. De voormalige Studiedienst Hoorn van Rijkswaterstaat, en later RIKZ, hebben de oude hoogtemetingen gedigitaliseerd en samengevat in een aantal kaarten. Van de westelijke Waddenzee zijn daardoor digitale kaarten beschikbaar van 1926-1934, 1948-1951, 1971-1974, 1975-1978, 1981-1984. Van de gehele Nederlandse Waddenzee zijn er kaarten van 1985-1990, 1991-1997 en 1997-2002. De data worden beheerd door RIKZ.

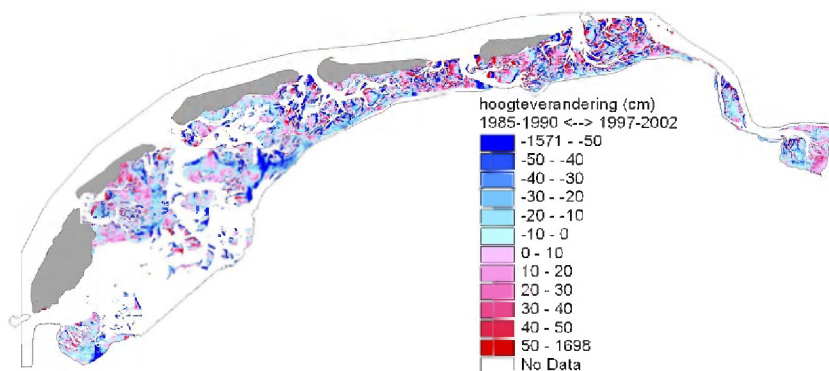
Figuur 6.1

Lodingskaart 1991-1997 van de platen in de Waddenzee. Bron: RIKZ.



Figuur 6.2

Hoogteverandering tussen 1985-1990 en 1997-2002, zoals afgeleid uit de lodingskaarten. Platen die in deze 12 jaar lager zijn komen te liggen zijn rood aangegeven, en de platen die omhoog zijn gekomen met blauw. Omdat voor de Eems-Dollard geen gegevens beschikbaar waren voor 1997-2002, wordt voor de Eems-Dollard het hoogteverschil gegeven tussen 1985-1990 en 1991-1997; voor het wad nabij de Schorren (Texel) ontbraken de metingen voor 1985-1990; hier is het verschil gegeven tussen 1991-1997 en 1997-2002. Bron: RIKZ.



In dit verslag is één van deze kaart gereproduceerd (Fig. 6.1). De andere kaarten vertonen op het eerste gezicht nauwelijks verschillen. Dat wordt anders wanneer de hoogteveranderingen worden uitgerekend, zoals hier getoond in Fig. 6.2., voor de hoogteveranderingen op de platen tussen de 1985-1990 en 1997-2002.

De hoogtemetingen werden en worden verricht vanaf een boot. De lodingskaarten zijn niet erg nauwkeurig. Een gemiddelde meetfout van 10 cm moet volgens RIKZ worden geaccepteerd. Soms is de fout zelfs groter. De verschil-kaart (Fig. 6.2) laat duidelijk lineaire overgangen zien tussen rood (erosie) en blauw (sedimentatie), b.v. onder Vlieland, waarbij blijkbaar op de verschillende dagen raaien zijn gevaren met een systematisch andere uitkomst van de dieptemeting.

Ondanks deze fouten, zijn allerlei grote veranderingen duidelijk te zien. Een mooi voorbeeld is het Amsteldiep, de geul die vroeger tussen Wieringen en de kop van Noord-Holland lag en nog steeds het Balgzand-Breehorn-gebied over de gehele lengte van noord naar zuid doorsnijdt. Door de aanleg van de Amsteldiepdijk verloor het Amsteldiep een deel van zijn betekenis en werd daardoor smaller en ondieper. Dit proces is 80 jaar later nog steeds niet afgerond. Een vergelijking van alle lodingskaarten laat zien dat tegelijkertijd de noord- en noordwestzijde van de Balgzand langzamerhand hoogte verliest en dat er opslibbing plaats vindt in de ZW-hoek langs de Balgzanddijk.

De veranderingen van het Balgzand zijn het gevolg van een grote waterstaatkundige ingreep. Op dezelfde wijze heeft de aanleg van de Afsluitdijk de westelijke Waddenzee beïnvloed, - al was het alleen al doordat het getijdenverschil groter werd. In Harlingen nam het toe van 127 cm vóór 1929 tot 190 cm in de afgelopen decennia (Rakhorst 2003). Volgens Albert Oost (mond. med.) zijn er nog steeds geomorfologische veranderingen gaande die het gevolg zijn van de afsluiting van de Zuiderzee 70 jaar geleden. Zo verplaatsen de wantijen van Marsdiep, Eyerlandse Gat en Vlie zich oostwaards met uitzondering van de Vlake van Oosterbierum.

Een andere grote ingreep is de afsluiting van de Lauwerszee in 1969, waardoor de Zoutkamperlaag is afgedamd en sindsdien noord van Lauwersoog naar het oosten afbuigt. Blijkens Fig. 6.2 zijn daardoor de platen ten zuidwesten van het wantij tussen Groningen en Schiermonnikoog verlaagd en is het wantij zelf gemiddeld hoger komen te liggen en naar het oosten verschoven.

Daarnaast zijn er grote natuurlijke veranderingen, vooral in en rondom de zeegaten tussen de Waddeneilanden: de Onrust in het Marsdiep, de Richel in de Vliestroom, de Koffieboonplaat in het Borndiep, de Engelsmanplaat in de Zoutkamperlaag, het Simonszand in de Lauwers en als ook Rottumplaat en Rottumoog zijn de afgelopen decennia regelmatig van plaats en hoogteligging veranderd (Oost 1995).

Aparte vermelding behoeft de Fries-Groninger kuststrook, alhoewel van het hogere deel geen lodingskaarten beschikbaar zijn. De hoogteligging van de kwelders en de landaanwinning werd echter in 24 zgn. primaire meetvakken regelmatig gemeten (Hoekstra *et al.* 1998). In de meeste meetvakken werd tussen 1955 en 1990 een opslibbing van 40 tot 60 cm gerealiseerd op de hogere delen, het dichtst bij de zeedijk, en 10 tot 50 cm verder zeewaarts. De sterkste opslibbing vond plaats nabij Zwarte Haan, in de meest westelijke landaanwinning, ten noorden van Harlingen. De opslibbing was minder uitgesproken langs de Groninger kust. Uitzondering vormde de zgn. "verwaarloosde landaanwinning" van de voormalige waterschappen "De Contributie Zeedijken van West / Oostdongeradeel" (tussen Ternaard en de Lauwerszee). Hier ging de hoogtewinst van zo'n 20 cm weer verloren nadat het onderhoud van de rijshoutdammen en de begreppeling in 1961 was gestopt. Dit voorbeeld laat zien dat de opslibbing grotendeels kan worden toegeschreven aan de landaanwinningswerken. Overal langs de Friese kust,

behalve in het juist gebied ten oosten van Ternaard, is het wad buiten de landaanwinningswerken hoger komen te liggen. Door het onderhoud van de landaanwinningswerken wordt blijkbaar niet alleen de gevormde kwelder verdedigd, maar kwamen de afgelopen decennia ook de aangrenzende slikken hoger te liggen (Fig. 6.2)

Ook de Waddeneilanden zijn veranderd. De kwelders op Terschelling (Boschplaat) en Schiermonnikoog (Oosterkwelder) zijn de afgelopen decennia groter geworden en hoger komen te liggen. Als gevolg daarvan zou ook het aansluitende, hoge wad meer beschutting moeten hebben. Blijkens de hoogtekaarten heeft dat echter (nog) niet geleid tot een meetbare verandering in de hoogteligging. Misschien beperkt zich het effect tot het hoogste deel van de wad waar de lodingsvaartuigen niet kunnen varen.

Conclusie: de waterstaatkundige ingrepen van de afgelopen driekwart eeuw hebben een groot effect op de ligging en diepte van de geulen. Als gevolg daarvan is ook de ligging van de platen veranderd. De randen van de Waddenzee, zeker langs de kust van het vasteland, zijn meer beschut komen te liggen, waardoor er opslibbing plaats heeft kunnen vinden. Daarnaast vonden en vinden er grote natuurlijke veranderingen plaats op de platen rondom de zeegaten.

6.3 Verandering bodemgesteldheid door erosie en sedimentatie

In het Nederlands gebruiken we het woord “opslibbing” als een wadplaat hoger is komen te liggen. Blijkens ons taalgebruik gaat voortgaande sedimentatie gepaard met een verhoogd slibgehalte van de bodem. Om een aantal redenen is dat ook te verwachten. Hoogteligging en slibgehalte zijn gecorreleerd. Gemiddeld genomen geldt: hoe hoger de plaat, hoe minder golven en stroming en dus hoe slibrijker (par. 4.2). Of verandering in de hoogteligging inderdaad gepaard gaat met een hoger slibgehalte bij sedimentatie en een lager slibgehalte bij erosie is af te lezen door de hoogteverandering (Fig. 6.2) te vergelijken met de verandering in de bodemgesteldheid (Fig. 5.9).

Conform deze verwachting is het voor het Balgzand duidelijk dat de noordelijke platen lager en slibarmer worden en de platen langs het Amsteldiep en langs de kust hoger en slibrijker. De grootste veranderingen in de Waddenzee betreft het Friese kustdal tussen Zwarte Haan en Ternaard. Deze strook van ca. 20 bij 2 km is veel slibrijker en ook ondieper geworden. Er zijn ook allerlei lokale veranderingen, waaruit de samenhang tussen hoogteverandering en verandering in slibgehalte blijkt. In de Eems liggen twee platen, de Paap en de Hond. De westzijde van dit platencomplex is hoger komen te liggen en slibrijker geworden, terwijl de oostzijde lager en zandiger is geworden. De verklaring is dat de geul tussen deze platen en het Groninger vasteland, de Bocht van Watum, de afgelopen tientallen jaren steeds minder belangrijk is geworden. De platen zijn daardoor aan de westkant opgeslibd, - in de dubbele betekenis van het woord.

Opvallend zijn de grote veranderingen die hebben plaatsgevonden nabij het Kimstergat, op de Ballastplaat, gelegen ten oosten van de Grienderwaard, tussen Harlingen en Zwarte Haan. Het gebied is daar veel slibrijker geworden en voor een groot deel ook ondieper. Het slib dat jaarlijks uit de haven van Harlingen wordt gebaggerd, wordt sinds 1992 gestort in het Kimstergat en noord van de Pollendam. Het gaat om 1000 tot 1600 m³ per jaar, waarvan

gemiddeld 60% verdwijnt in het Kimstergat en 40% ten noorden van de Pollendam. In totaal is er in 11 jaar 14100 m³ havenslib gestort, waarmee 30 ha met 5 cm puur slib kan worden bedekt. Wanneer het slib zich verspreid heeft over een gebied van 300 ha, zou het slibgehalte in de bovenste 5 cm met zo'n 10% zijn toegenomen. Of het havenslib de waargenomen locale verandering in het slibgehalte kan verklaren, verdient nader onderzoek. De Jonge et al. (1993) schat dat in de Nederlandse Waddenzee t.b.v. de scheepvaart 2 tot 3 miljoen m³ sediment jaarlijks wordt weggebaggerd uit aanvoergeulen en havens. Ook hiervoor geldt dat het effect op het slibgehalte van de wadplaten onbekend is.

Conclusie: de lokale veranderingen in de slibhuishouding, erosie en sedimentatie in de Waddenzee gedurende de afgelopen halve eeuw kunnen voor een deel worden verklaard door waterstaatkundige ingrepen.

7 Waar lagen de kokkelbanken en waar werd gevestigd?

7.1 Inleiding

Voordat kan worden nagegaan of de bodemgesteldheid is veranderd als gevolg van de kokkelbevissing, is het nodig om eerst de verspreiding van de kokkelbanken over de Waddenzee te analyseren. Hoofdstuk 5 laat zien dat er in de afgelopen decennia grote, algemene veranderingen hebben plaatsgevonden in de bodemgesteldheid (Fig. 5.9): de platen rondom de zeegaten in de westelijke Waddenzee zijn slibbarmer geworden, terwijl het wad dicht onder de grote Waddeneilanden en langs de vastelandkust slibrijker is geworden. Bovendien laat hoofdstuk 6 zien dat er een ruimtelijk patroon valt te ontdekken in de erosie en sedimentatie. We moeten daarom weten waar de kokkelbanken liggen en waar is gevestigd. Zoals voor het eerst beschreven door Piersma & Koolhaas (1997) lijken de kokkelbanken de afgelopen decennia binnen de Waddenzee te zijn verschoven. Het is dus nodig om de verspreiding van de kokkelbanken, voor elk jaar apart, te onderzoeken.

Vanaf de jaren zeventig hebben de kokkelvisserij in de loop van de zomer onafhankelijk van elkaar de kokkelbanken in de Waddenzee ingetekend. Deze kaarten zijn later door Jaap Holstein (P.O. Kokkelvisserij) samengevoegd en recentelijk t.b.v. dit verslag gedigitaliseerd. Een controle op deze kaarten vormen de kaarten die de visserijkundige ambtenaren jaarlijks hebben gemaakt. De check is echter niet geheel onafhankelijk, omdat er in de loop van het seizoen regelmatig contact was tussen de ambtenaren en de kokkelvisserij. De kaarten van de visserijkundige ambtenaren zullen hopelijk in de toekomst kunnen worden gedigitaliseerd, zodat een vergelijking met de kaarten gemaakt door de vissers mogelijk is. In dit rapport beperken we ons tot de visserskaarten.

Vanaf 1992 maakten de kokkelvisserij samen in de loop van de zomer een kokkelkaart. Deze kaarten zijn veel vollediger dan in het verleden, omdat de kaarten sinds 1992 worden gebruikt om het jaarlijkse kokkelbestand te schatten. Dat maakt het minder eenvoudig om de kaarten voor 1992 en erna met elkaar te vergelijken. Op de kaarten na 1992 staan in principe alle kokkelbanken, maar daarvoor alleen de plekken waar kokkelbanken zijn geconstateerd. Volgens Kamermans *et al.* (2003b), die de kaarten van de kokkelvisserij van de afgelopen vier jaar heeft vergeleken met het uitvoerige RIVO-meetnet, zijn ook de recente kokkelkaarten nog niet volledig. Ze zijn ook niet foutloos en daarom geven de RIVO-bemonstering een betere schatting van het aanwezige kokkelbestand.

Alle beschikbare kokkelkaarten zijn gescand en gedigitaliseerd. Dat gaf de mogelijkheid om de verspreiding van de ingetekende kokkelbanken te relateren aan de hoogteligging en de bodemgesteldheid. Daarnaast is, althans vanaf 1992, bekend waar de bevissing daadwerkelijk heeft plaatsgevonden (Kamermans *et al.* 2003a). Ook deze black-box gegevens konden worden gekoppeld aan de bodem- en hoogtekaart. Ook voor het jaar 1980 is de bevissing bekend, althans voor de westelijke Waddenzee, dankzij het onderzoek van de Vlas (1982).

In dit hoofdstuk wordt geprobeerd de volgende vragen te beantwoorden: wat is het slibgehalte en wat is de hoogteligging van de aanwezige en van de beviste banken? Is het slibgehalte en de hoogteligging van de aanwezige en beviste banken in de loop van de jaren veranderd? Is die eventuele verandering verschillend verlopen voor het gebied waar sinds 1992 wèl en waar niet is gevist?

Het feit dat niet alle banken zijn ingetekend hoeft voor deze analyse geen bezwaar te zijn, zolang de wèl ingetekende banken maar een representatieve steekproef zijn voor de in dat jaar aanwezige kokkelbanken, wat betreft hoogteligging en slibgehalten. Van Stralen (mond. med.) acht het echter waarschijnlijk dat kokkelbanken op slibrijk wad vroeger, d.w.z. voor 1992, zijn onderschat. De kokkelbanken worden en werden met laagwater lopend ingetekend en het is inderdaad voorstelbaar dat kokkelbanken op gemakkelijk beloopbare zandplaten nauwkeuriger en wellicht ook meer volledig werden ingetekend dan banken op moeilijk begaanbare slikplaten. Daarnaast ligt het voor de hand dat voor 1992 marginale kokkelbanken minder vaak werden ingetekend dan kokkelbanken waar een hoge opbrengst werd verwacht. In hoeverre dat heeft geleid tot een onderschatting van kokkelbanken die hooggelegen waren en op slikkig wad is moeilijk aan te geven. Bij de analyse van de gegevens zijn daarom de ingetekende kokkelbanken voor en na 1992 apart gehouden.

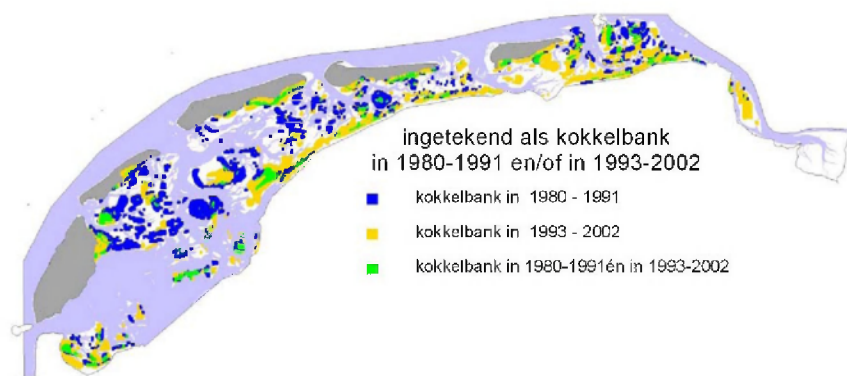
7.2 Kokkelbanken

Appendix 1 geeft de ingetekende en de beviste kokkelbanken in 1976 en van 1980 t/m 2002, in totaal 24 kaarten. De bevissingsgegevens waren beschikbaar voor 10 jaar 1992 t/m 2001, de ingetekende banken voor 23 jaar: 1976, 1980 t/m 1991 en 1993 t/m 2002. De kaarten geven ook voor de diverse jaren aan waar er niet gevist mocht worden (gebaseerd op van Stralen & Kesteloo-Hendrikse 1998). Vanaf 1993 is steeds hetzelfde gebied gesloten geweest voor de kokkelvisserij. In 1988, 1989, 1990 en 1992 was steeds een wisselend deel van de Waddenzee gesloten. Boven de laagwaterlijn werd er geheel niet gevist in 1991, 1996 en 1997. Vanaf 1999 is ook het wad onder Vlieland, Ameland en Schiermonnikoog gesloten voor kokkelvisserij (zie de kaarten gegeven in de appendix).

Als alle kokkelbanken nauwkeurig zouden zijn ingetekend, moet de bevissing altijd binnen de banken hebben plaatsgevonden. De kaarten van 1993 t/m 2001 laten zien dat dit meestal ook wel het geval is. De bevissingslocaties zijn nauwkeurig omdat de meetfout van de GPS maximaal 30 tot 60 meter bedroeg. Het feit dat de kokkelbanken niet altijd precies overlappen met de daadwerkelijke visplekken, geeft aan dat bij het intekenen van de banken kleine fouten kunnen worden gemaakt, maar dat de banken wel vrijwel altijd zijn ingetekend. Dat dit niet geldt voor de kaarten van 1976-1991 kan worden nagegaan voor 1980, omdat de Vlas (1981) de beviste plekken ten oosten van het wantij van Terschelling heeft ingetekend, onafhankelijk van de kaart die de vissers hadden gemaakt van de kokkelbanken. De 1980-kaart laat zien dat er op plekken is gevist (b.v. op het Balgzand), waar geen kokkelbanken waren ingetekend. Een andere check vormt de Grienderwaard, waar de kokkels door het NIOZ sinds 1988 worden bemonsterd (Piersma & Koolhaas 1997). De intensief beviste, grote banken die in 1988 ten NW van Griend lagen zijn niet terug te vinden op de visserskaart.

Figuur 7.1

De gebieden die ooit als kokkelbanken zijn ingetekend tussen 1980 en 1991 (maar niet tussen 1993 en 2001), tussen 1993 en 2001 (maar niet tussen 1980 en 1991), of in beide perioden (gebaseerd op de kokkelkaarten; zie appendix 1).



Drie kaarten vatten de gegevens van de in de appendix gegeven jaar kaarten samen. Fig. 7.1. laat zien waar er ooit kokkelbanken zijn ingetekend tussen 1980 en 1991 en/of tussen 1993 en 2002. Het is duidelijk dat er vrijwel geen overlap is tussen de ligging van de ingetekende kokkelbanken van vóór 1992 en van daarna.

Figuur 7.2

Het aantal jaar tussen 1980 en 1991 dat een kokkelbank is ingetekend, gebaseerd op de kokkelkaarten voor de jaren 1980 t/m 1991 (zie appendix 1). Met rood aangegeven de gebieden waar kokkelbanken voor de jaren 1980-1991 nooit zijn ingetekend, maar wel in latere jaren (1993-2002; zie Fig. 7.3).

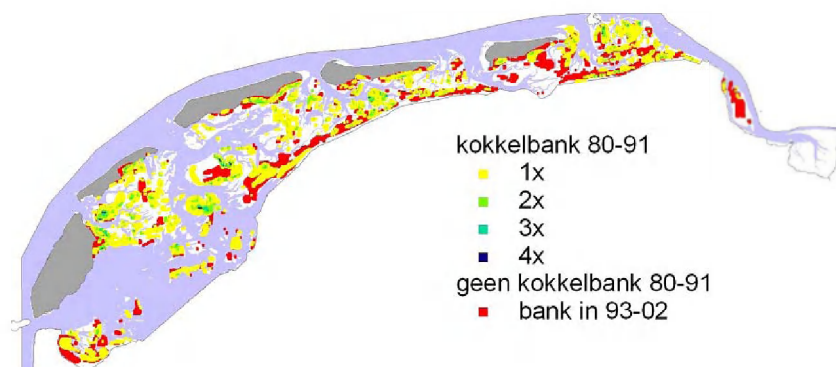


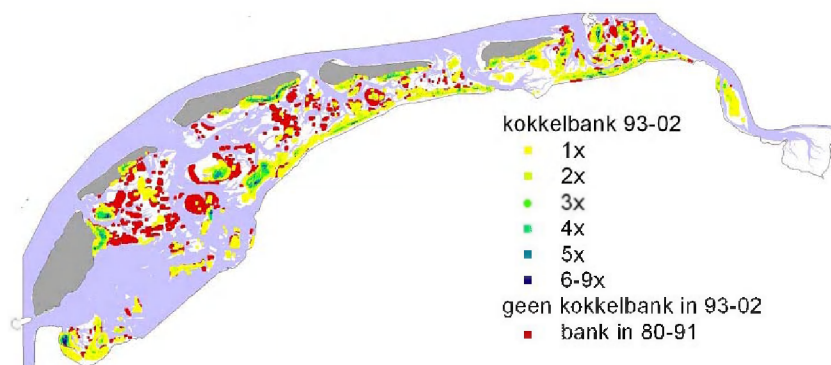
Fig. 7.2 laat zien waar de kokkelbanken lagen tussen 1980 en 1991. De kaart geeft het aantal keer dat op een bepaalde plaats gedurende deze 12 jaar een kokkelbank is ingetekend. De banken die in de jaren 90 wél en in de jaren 80 niét waren ingetekend zijn rood aangegeven. De rode gebieden liggen vooral op de hoge en zeer slibrijke platen, - gebieden die voor kokkels marginaal zijn. Een uitzondering vormt het wad tussen Schiermonnikoog en de Lauwerszee waar in een cirkel van bijna 10 km rondom Lauwersoog vroeger nauwelijks kokkelbanken zijn ingetekend en wél in de jaren 90.

Fig. 7.3 geeft dezelfde informatie als Fig. 7.2 maar dan voor de jaren 1993-2002. In deze 10 jaar zijn sommige plekken meer dan 6 maal als kokkelbank ingetekend. Op een heel enkele plek zelfs tot 9 maal. Deze min of meer vaste kokkelbanken werden vooral gevonden in het gebied dat sinds 1992 gesloten is voor visserij. Het is duidelijk dat de verspreiding van de kokkelbanken in de jaren 90 sterk verschilt van die in de jaren 80. Grote delen van de Waddenzee zijn rood ingekleurd omdat daar in de jaren 80 wél kokkelbanken voorkwamen die in de jaren 90 ontbraken. Op de Grienderwaard zijn de kokkels verdwenen in een zone van ca 1 km nabij de laagwaterlijn. Op de Waardgronden is hetzelfde patroon te zien: geen kokkelbanken meer langs de randen, maar nog

wel op het wantij onder Vlieland. Ook onder Oost-Terschelling komen in een groot gebied geen kokkelbanken meer voor.

Figuur 7.3

Het aantal jaar tussen 1993 en 2002 dat een kokkelbank is ingetekend, gebaseerd op de kokkelkaarten voor de jaren 1993 t/m 2002 (zie appendix 1). Met rood aangegeven de gebieden waar kokkelbanken voor de jaren 1993-2002 nooit zijn ingetekend, maar wel in eerdere jaren (1980-1991; zie Fig. 7.2).



Of de kokkelbanken in de jaren 80 en 90 verschillen wat betreft de gemiddelde hoogteligging (Fig. 6.1), slibgehalte (Fig. 4.17), afstand tot de geul (Fig. 4.9) en afstand tot het zeegat (i.e. dichtstbijzijnde geul < 5 m; Fig. 4.12), kan worden bepaald door voor alle 2.11-ha hokken de waarden van deze vier variabelen uit te rekenen en kruistabellen te maken voor de vier categorieën: nooit ingetekend als kokkelbank in 1980-1991 of 1993-2002 of minstens 1x ingetekend als kokkelbank in 1980-1991 of 1993-2002 (Fig. 7.1). Gemiddeld genomen liggen de kokkelbanken in de jaren 90 op 25 cm beneden NAP en daarmee 20 cm hoger dan in de jaren 80 (Tabel 7.1).

Tabel 7.1.

Gemiddelde hoogteligging, slibgehalte, afstand tot geul en afstand tot diepe geul voor vier categorieën: nooit of minstens 1x als kokkelbank ingetekend in 1980-1991 of 1993-2002 (Fig. 7.2 en 7.3); ook de standaard deviatie wordt gegeven.

alle platen in de Ned. Waddenzee, excl. Dollard

DIEPTE (CM)	bank 93-02: NEE			bank 93-02: JA			1993-2002: samen		
	ha	gem.	sd	ha	gem.	sd	ha	gem.	sd
bank in 80-91: NEE	114178	-78	123	19172	-26	43	133350	-71	116
bank in 80-91: JA	16730	-57	55	9249	-23	40	25980	-45	53
1980-1991: samen	130908	-76	117	28421	-25	42	159329	-67	109

SLIBGEHALTE	bank 93-02: NEE			bank 93-02: JA			1993-2002: samen		
	ha	gem.	sd	ha	gem.	sd	ha	gem.	sd
bank in 80-91: NEE	114178	2.54	2.49	19172	3.24	2.56	133350	2.64	2.51
bank in 80-91: JA	16730	2.13	1.46	9249	3.03	1.88	25980	2.46	1.68
1980-1991: samen	130908	2.48	2.38	28421	3.17	2.37	159329	2.61	2.38

AFSTAND TOT GEUL (M)	bank 93-02: NEE			bank 93-02: JA			1993-2002: samen		
	ha	gem.	sd	ha	gem.	sd	ha	gem.	sd
bank in 80-91: NEE	114178	370	460	19172	736	514	133350	423	485
bank in 80-91: JA	16730	434	379	9249	728	457	25980	539	432
1980-1991: samen	130908	378	451	28421	734	496	159329	442	479

AFSTAND TOT ZEEGAT (m)	bank 93-02: NEE			Bank 93-02: JA			1993-2002: samen		
	ha	gem.	sd	ha	gem.	sd	ha	gem.	sd
Bank in 80-91: NEE	114178	1178	2143	19172	1747	2411	133350	1265	2196
Bank in 80-91: JA	16730	578	1492	9249	1413	2214	25980	878	1829
1980-1991: samen	130908	1096	2077	28421	1638	2353	159329	1199	2142

De kokkelbanken die zowel in de jaren 80 als de jaren 90 ooit zijn ingetekend liggen op -23 cm, tegen -57 cm voor de kokkelbanken die in de jaren 80 wel en in de jaren 90 nooit meer als zodanig zijn ingetekend. De gemiddelde kokkelbank ligt in de jaren 90 ook op veel slibrijker wad dan in de jaren 80 en op een grotere afstand van de geul en vanaf het zeegat. Alle verschillen zijn in deze univariate analyses zeer significant.

Om Tabel 7.1 goed te kunnen interpreteren, is het zinnig om de analyse apart te doen voor de gebieden die sinds 1992 voor de visserij zijn gesloten (Tabel 7.2) en opengesteld (Tabel 7.3). Gemiddeld genomen liggen de wadplaten in het opengestelde gebied iets lager dan in het gesloten gebied, was het open gebied in de jaren 50 iets slibrijker en is de gemiddelde afstand tot de geul en tot het dichtstbijzijnde zeegat ook iets groter dan in het gesloten gebied. Hetzelfde verschil geldt ook voor de kokkelbanken, die in het open gebied gemiddeld minder beschut liggen dan in het gesloten gebied.

Verdere analyse van tabel 7.2 laat duidelijk zien dat de abiotiek voor de kokkelbanken in het gesloten gebied niet of nauwelijks verschilt in de jaren 80 en de jaren 90:

- hoogteligging (-31 cm in de jaren 80 naar -24 cm in de jaren 90),
- slibgehalte (2.31 naar 2.93%),
- afstand tot de geul (583 naar 672 m) en
- afstand tot zeegat (1469 naar 1428 m).

Tabel 7.2

Als Tabel 7.1., maar alleen voor het gebied dat sinds 1992 gesloten is voor de kokkelvisserij.

Gebied gesloten voor visserij sinds 1992

DIEPTE (CM)	bank 93-02: NEE			bank 93-02: JA			1993-2002: samen		
	ha	gem.	sd	ha	gem.	sd	ha	gem.	sd
Bank in 80-91: NEE	24818	-74	123	6103	-26	40	30921	-65	112
Bank in 80-91: JA	3400	-42	70	3328	-21	33	6728	-31	56
1980-1991: samen	28218	-70	118	9431	-24	38	37649	-59	104

SLIBGEHALTE	bank 93-02: NEE			bank 93-02: JA			1993-2002: samen		
	ha	gem.	sd	ha	gem.	sd	ha	gem.	sd
Bank in 80-91: NEE	24818	2.46	1.99	6103	3.12	1.84	30921	2.78	1.99
Bank in 80-91: JA	3400	1.96	1.14	3328	2.58	1.24	6728	2.31	1.23
1980-1991: samen	28218	2.39	1.91	9431	2.93	1.67	37649	2.68	1.87

AFSTAND TOT GEUL (M)	bank 93-02: NEE			bank 93-02: JA			1993-2002: samen		
	ha	gem.	sd	ha	gem.	sd	ha	gem.	sd
Bank in 80-91: NEE	24818	380	502	6103	648	445	30921	433	501
Bank in 80-91: JA	3400	453	374	3328	715	430	6728	583	422
1980-1991: samen	28218	388	488	9431	672	441	37649	459	490

AFSTAND TOT ZEEGAT (m)	bank 93-02: NEE			bank 93-02: JA			1993-2002: samen		
	ha	gem.	sd	ha	gem.	sd	ha	gem.	sd
Bank in 80-91: NEE	24818	1063	2051	6103	1343	2188	30921	1122	2084
Bank in 80-91: JA	3400	1352	2015	3328	1583	2369	6728	1469	2204
1980-1991: samen	28218	1099	2049	9431	1428	2256	37649	1187	2111

Al die verschillen zijn groot wanneer de jaren 80 en 90 worden vergeleken voor het open gebied (Tabel 7.3):

- hoogteligging (-50 cm in de jaren 80 naar -26 cm in de jaren 90),
- slibgehalte (2.51 naar 3.29%),

- afstand tot de geul (524 naar 764 m) en
- afstand tot zeegat (675 naar 1743 m).

Het meest opvallende verschil betreft de afstand tot de diepe geulen: in de jaren 80 lagen de meeste kokkelbanken in het open gebied dicht langs de diepe geulen, maar in 1993-2002 is die afstand gemiddeld genomen ruim 2.5x zo groot geworden. Zoals Fig. 7.3 al liet zien, zijn de kokkelbanken in het open deel van de Waddenzee binnen een decennium van het zeegat naar binnen opgeschoven. Zoals de tabellen 7.2. en 7.3 nog eens bevestigen is daardoor ook de hoogteligging en het slibgehalte van de kokkelbanken toegenomen.

Tabel 7.3.

Als Tabel 7.1, maar alleen voor het gebied dat sinds 1992 is opengesteld voor de kokkelvisserij.

Gebied open voor visserij sinds 1992

DIEPTE (CM)	Bank 93-02: NEE			bank 93-02: JA			1993-2002: samen		
	ha	gem.	Sd	ha	Gem.	sd	ha	gem.	sd
Bank in 80-91: NEE	89360	-80	123	13069	-26	44	102429	-73	117
Bank in 80-91: JA	13330	-61	50	5921	-25	44	19251	-50	51
1980-1991: samen	102497	-77	116	18990	-26	44	126174	-69	110

SLIBGEHALTE	Bank 93-02: NEE			bank 93-02: JA			1993-2002: samen		
	ha	gem.	sd	ha	Gem.	sd	ha	gem.	sd
Bank in 80-91: NEE	89360	2.56	2.62	13069	3.29	2.84	102429	2.60	2.63
Bank in 80-91: JA	13330	2.17	1.53	5921	3.29	2.12	19251	2.51	1.81
1980-1991: samen	102497	2.51	2.49	18990	3.29	2.64	126174	2.58	2.51

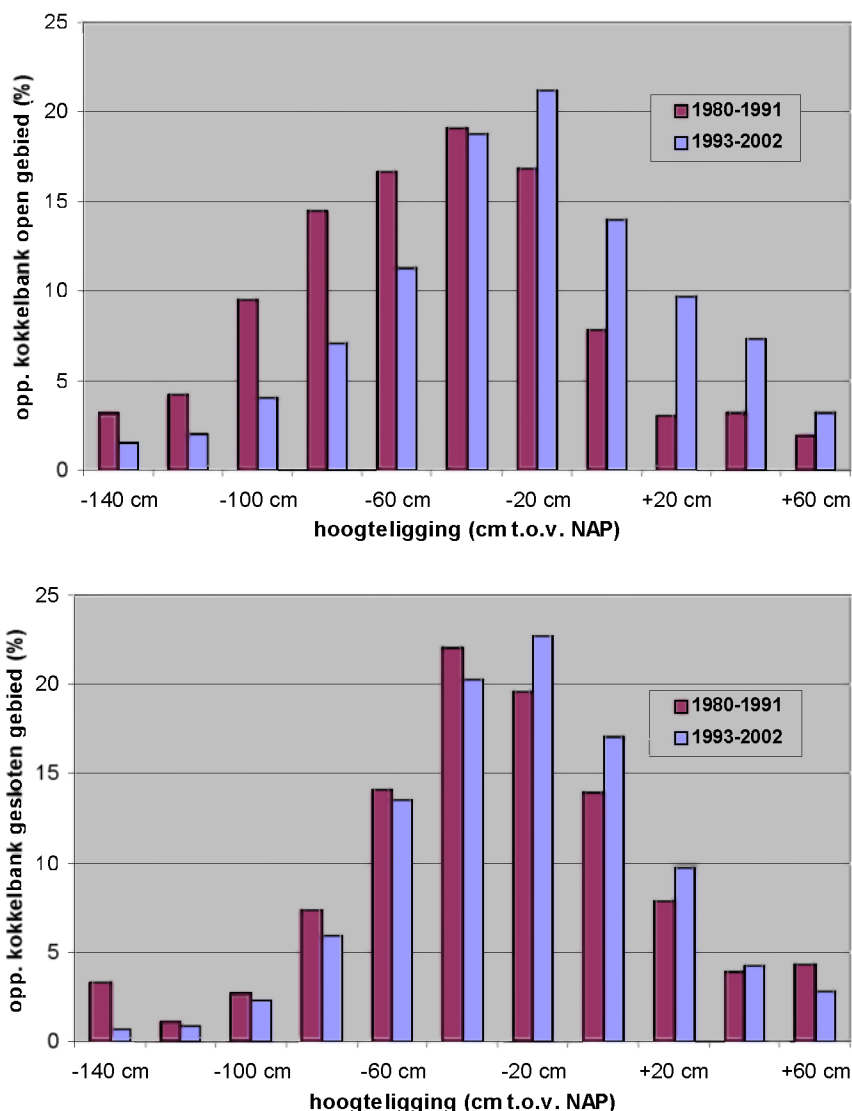
AFSTAND TOT GEUL (M)	Bank 93-02: NEE			bank 93-02: JA			1993-2002: samen		
	ha	gem.	sd	ha	Gem.	sd	ha	gem.	sd
bank in 80-91: NEE	89360	365	452	13069	777	538	102429	418	481
bank in 80-91: JA	13330	430	382	5921	736	471	19251	524	434
1980-1991: samen	102497	374	444	18990	764	518	126174	435	475

AFSTAND TOT ZEEGAT (m)	Bank 93-02: NEE			bank 93-02: JA			1993-2002: samen		
	ha	gem.	sd	ha	Gem.	sd	ha	gem.	sd
bank in 80-91: NEE	89360	1209	2163	13069	1936	2486	102429	1308	2224
bank in 80-91: JA	13330	388	1260	5921	1317	2116	19251	675	1667
1980-1991: samen	102497	1096	2081	18990	1743	2394	126174	1202	2150

Tabel 7.1-7.3 geeft de gemiddelden met standaard deviaties. Als aanvullende informatie geeft Fig. 7.4 de verdeling van de kokkelbanken per hoogteligging, apart voor de twee periodes 1980-1991 en 1993-2002, opgesplitst voor het gebied dat sinds 1992 wel of niet open is voor kokkelvisserij. De figuur laat duidelijk zien dat de kokkelbanken hoger zijn komen te liggen en dat dit effect voor het open gebied groter is dan voor het gesloten gebied. Fig. 7.5 geeft dezelfde informatie per bodemtype. Ook uit deze figuur blijkt dat de kokkelbank naar minder zandig wad is geschoven en dat deze trend veel minder uitgesproken is voor het gebied dat sinds 1992 gesloten is dan voor het gebied dat open is gebleven voor de kokkelvisserij.

Figuur 7.4

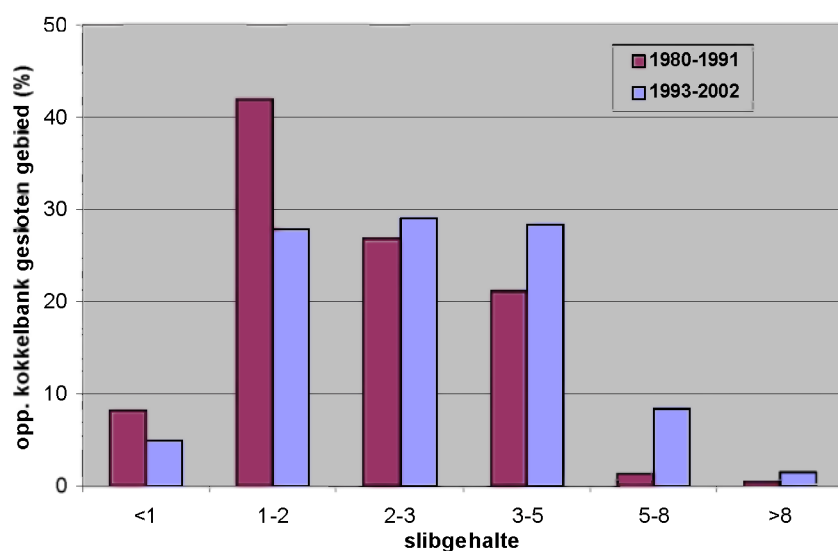
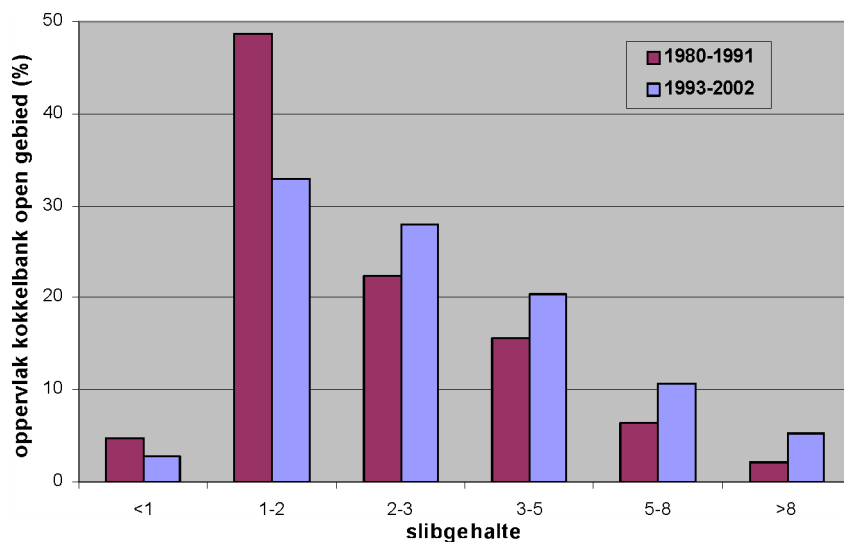
De verdeling naar hoogteligging van de ingetekende kokkelbanken in de jaren 1980-1991 en 1993-2002, gebaseerd op de data gegeven in de figuren 6.1, 7.1 - 7.3. De bovenste figuur geeft de relatieve frequentieverdeling in het deel van de Waddenzee dat ook na 1992 opengesteld is voor de kokkelvisserij en de onderste figuur dezelfde cijfers voor het gebied dat in 1992 werd gesloten voor de visserij.



De figuren 7.4-7.5 en de tabellen 7.1-7.3 zijn gebaseerd op de tweedeling: nooit of minstens 1x ingetekend als kokkelbank. Wanneer de analyses apart worden uitgevoerd voor plekken waar kokkelbanken zijn ingetekend voor 1, 2, 3 of meer jaar, dan worden de getoonde effecten alleen maar sterker. Als voorbeeld is in Fig. 7.6 de gemiddelde hoogteligging van kokkelbanken uit de jaren 80 en 90 apart voor open en gesloten gebied uitgezet tegen het aantal maal dat de kokkelbank in beide perioden is ingetekend. In de jaren 80 maakt het niet uit of een bank 1, 2 of 3 maal is aangetroffen: gemiddeld ligt de kokkelbank op dezelfde hoogte en de waarde verschilt ook niet voor het gebied dat later wel of niet gesloten is voor de visserij. In de jaren 90 liggen de kokkelbanken in het gesloten gebied iets hoger, op -23 cm, en ook die waarde varieert niet of een bank 1 of 7 maal is ingetekend. In het open gebied is er in 1993-2002 echter een duidelijk trend: de vaak ingetekende banken liggen systematisch hoger. De verklaring is dat de kokkels in de hooggelegen platen langzamer groeien en dus langer ongemoeid worden gelaten. Daarentegen zijn de kokkels die laag in de getijdenzone zijn gelegen na ruim 1 jaar groot genoeg om opgevisst te worden en blijkbaar is de visdruk op die laaggelegen kokkelbanken groot genoeg om dit effect te bewerkstelligen. Of dat zo is kan worden nagegaan door de hoogteligging te vergelijken voor de ingetekende kokkelbanken en de beviste plekken. Dit komt ter sprake in de volgende paragraaf.

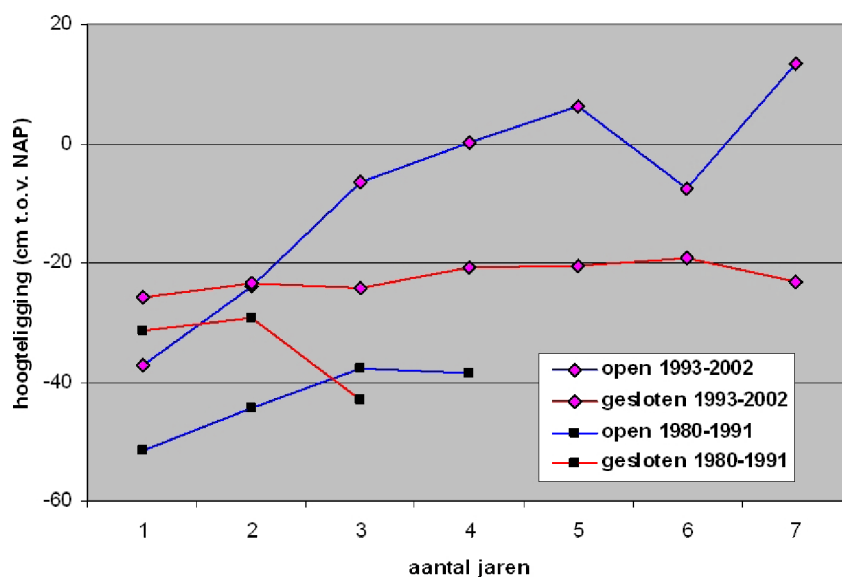
Figuur 7.5

De verdeling naar slibgehalte van de ingetekende kokkelbanken in de jaren 1980-1991 en 1993-2002, gebaseerd op de data gegeven in de figuren 4.17, 7.1, 7.2 en 7.3. De bovenste figuur geeft de relatieve frequentieverdeling in het deel van de Waddenzee dat ook na 1992 opengesteld is voor de kokkelvisserij en de onderste figuur dezelfde cijfers voor het gebied dat in 1992 werd gesloten voor de visserij.



Figuur 7.6

De gemiddelde hoogteligging van kokkelbanken in de periode 1980-1991 en 1993-2002 opgespitst voor het deel van de Waddenzee dat na 1992 al dan niet gesloten werd voor de kokkelvisserij als functie van het aantal jaar dat op een plek een kokkelbank is ingetekend in de periode 1980-1991 of 1993-2002.



Conclusie: Binnen het gebied dat opengesteld is voor de kokkelvisserij zijn de kokkelbanken de afgelopen 20 jaar verschoven van laag, zandig wad, dat dicht bij de geul ligt, naar hoog, slikrijk wad verder van de geul. Deze verschuivingen zijn niet tot nauwelijks opgetreden in het gesloten gebied.

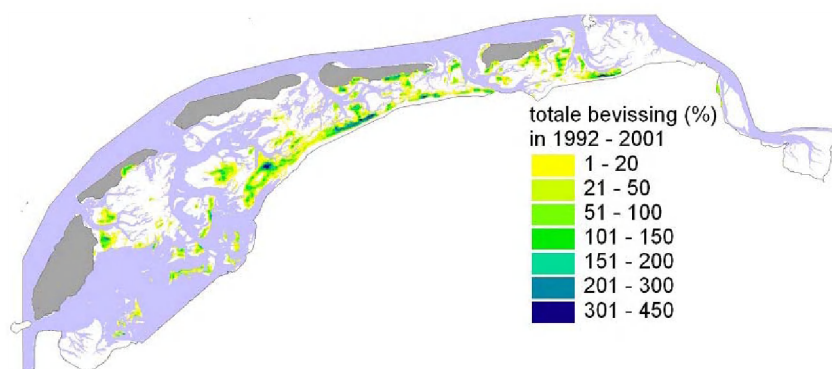
7.3 Beviste kokkelbanken

De totale bevissing voor de periode 1992-2001 is op twee manieren weergegeven. Fig. 7.7 geeft aan het aantal jaar dat er in een 2.11-ha vak bevissing heeft plaatsgevonden (waarbij alleen bezoeken waar meer dan 2% van het vak werd bevestigd als zodanig werden gescoord). Zoals de figuur laat zien, zijn sommige vakken maximaal 7 jaar bevestigd. Fig. 7.8 geeft de gesommeerde bevissing waarbij rekening wordt gehouden met het % van het vak dat is bevestigd. Er zijn vakken die in de afgelopen 10 jaar voor meer dan 400% zijn bevestigd.

Geén bevissing heeft plaats gevonden in 1996. In 1997 werd er alleen gevestigd beneden de laagwaterlijn. Afgezien van 1992, toen er weinig is gevestigd, is in overige jaren (1993-1995 en 1998-2001) 1.5 tot 2.5% van het open gebied daadwerkelijk gevestigd, in Fig. 7.9 aangeduid als "bevestigd oppervlak".

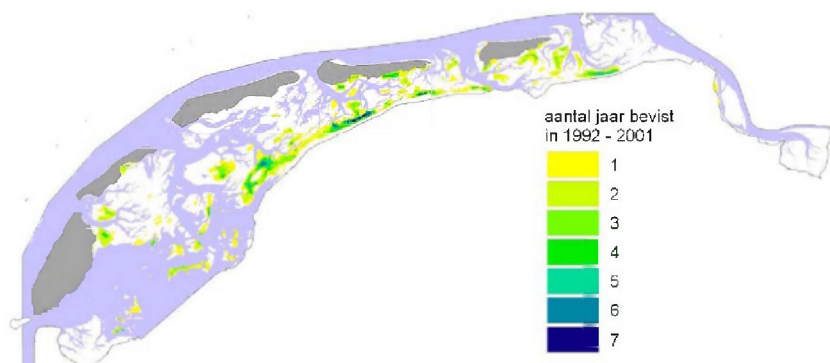
Figuur 7.7

De bevestigingsintensiteit in de 2.11-ha vakken gedurende de periode 1992-2001, uitgedrukt als het aantal jaar dat een vak door kokkelvisserij is bezocht. Alleen vakken waar binnen een jaar meer dan 2% van een vak werkelijk is bevestigd geldt als bezocht.



Figuur 7.8

De bevestigingsintensiteit in de 2.11-ha vakken gedurende de periode 1992-2001, uitgedrukt als het over deze jaren gesommeerd % van het vak dat daadwerkelijk is bevestigd.



Wanneer de bevissing wordt berekend op basis van de bezoeken aan de 2.11 ha-vakken, waarbij een bezoek alleen als zodanig wordt gescoord als meer dan 2% is bevist, dan blijkt jaarlijks 7 tot 10% van het wad waar gevist mag worden te zijn bezocht (blauwe lijn in Fig. 7.9). Uit Fig. 7.9 kan worden afgeleid dat gemiddeld genomen in elk bezocht 2.11 ha-vak 31% van het oppervlak is bevist en dat dit percentage over de jaren niet veel heeft gevarieerd. In de rest van deze paragraaf wordt de bevissing uitgedrukt als "bezocht gebied". Desgewenst kan de lezer de gegeven getallen betreffende "bezocht gebied" vermenigvuldigen met 0.31 om het "bevist oppervlak" te kunnen schatten.

Figuur 7.9

Het deel van het open gebied (50976 ha) dat jaarlijks wordt bevist, uitgedrukt als "bevist gebied" (% vakken waar >2% van het oppervlak werd bevist; zie Fig. 7.7) of "bevist oppervlak" (% vakken vermenigvuldigd met het % van de vakken dat ook echt is bevist). Het oppervlak van het open gebied wordt overschat omdat alle 2.11-vakjes op de rand van de hoog- en laagwaterlijn volledig zijn meegeteld (zie ook onderschrift Fig. 7.10).

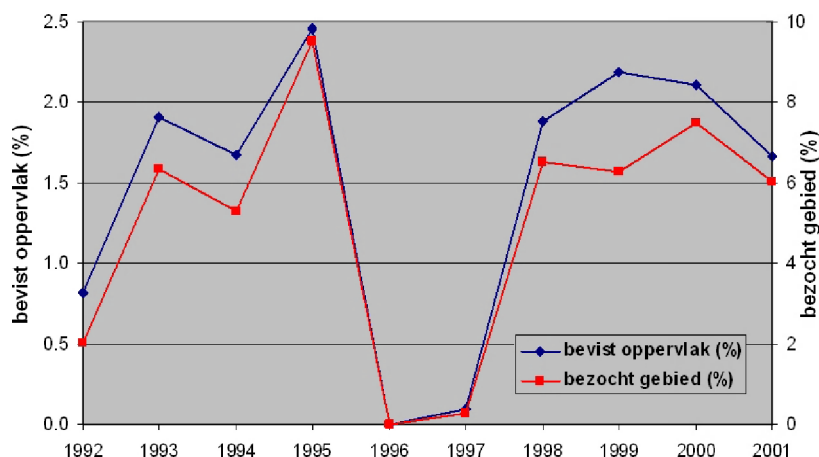
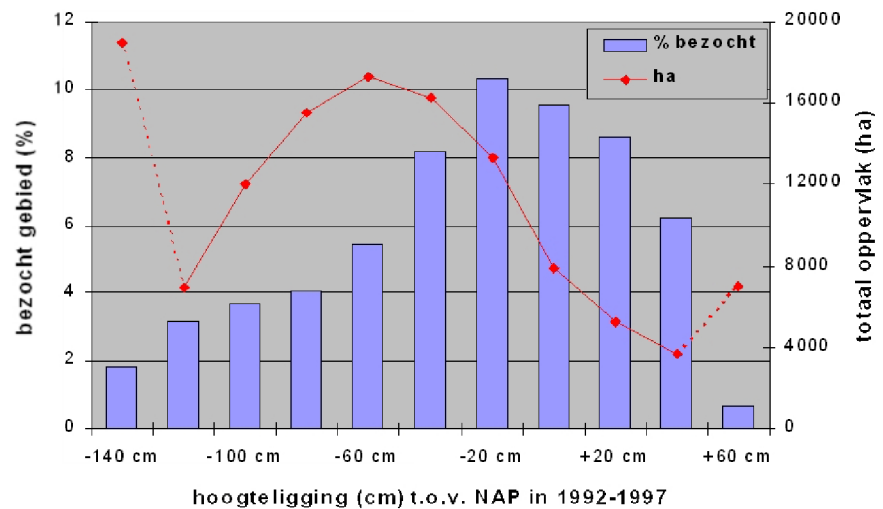


Fig. 7.9 laat zien dat van het wad waar kokkelvisserij mag worden bedreven in de meeste jaren zo'n 8% wordt bezocht. Uit Fig. 7.7 en 7.8 blijkt dat er een grote ruimtelijke variatie is. De keuze van de visplekken zal op de eerste plaats worden ingegeven door de opbrengst per tijdseenheid. Kokkelvisserij mijden plekken waar mosselzaad is gevallen omdat het ondoenlijk is mosselzaad van kokkels te scheiden. Volgens Steins (schrift. med.) wordt bij voorkeur ook niet gevist op kokkels die na het inblikken verkleuren en zou om die reden kokkels uit een deel van de Waddenzee alleen interessant zijn voor de diepvriesmarkt. Het effect van deze factoren op de terreinkeuze van de vissers is niet gekwantificeerd. Wel kan de vraag worden beantwoord in welke hoogtezone en op welk bodemtype het meeste is gevist. In het deel van de Waddenzee dat sinds 1992 door kokkelvisserij mag worden bedreven ligt het merendeel van het wad tussen 80 tot 20 cm onder NAP. De zone -60 cm komt het meeste voor (Fig. 7.10: blauwe staven). Wanneer echter per hoogtezone wordt berekend hoeveel % door de kokkelvisserij is bezocht dan blijkt de piek te liggen bij -20 cm, met 10.3% (Fig. 7.10: rode lijn).

Figuur 7.10

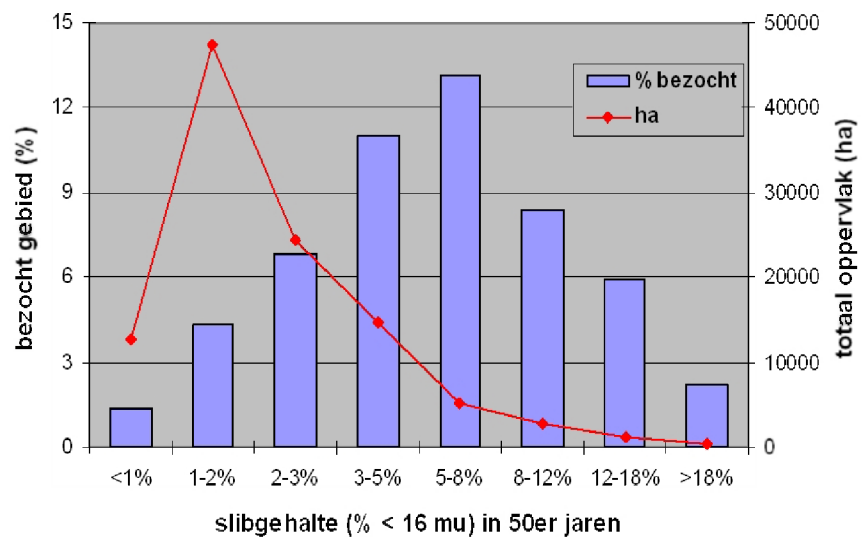
Hoogteligging van het wad binnen het open deel van de Waddenzee: frequentieverdeling van de oppervlakte (staven) en het % van die oppervlakte bezocht door kokkelvisserij (rode lijn) in de jaren 1992-2001. Er is relatief veel zeer laag en zeer hoog wad, omdat voor alle 2.11-vakken de gemiddelde hoogte (Fig. 6.1) is berekend en alle vakken meededen waar minstens een deel boven de laagwaterlijn of beneden de hoogwaterlijn lagen. Veel vakjes die op de laag- of hoogwaterlijn lagen kregen daardoor een extreem laag of hoog gemiddelde. Omdat nabij de hoog- en laagwaterlijn nauwelijks kokkelvisserij plaats vindt is hiervoor niet gecorrigeerd.



Binnen het open gebied heeft ruim 47000 ha wad een slibgehalte van 1-2%, bijna de helft van het totale oppervlak. De meeste kokkelvisserij vindt hier, en in de zone met een slibgehalte van 2-3%, plaats. Maar relatief gesproken vindt de meeste bevissing plaats in de meer slibrijke gebieden. Van de zone met 5-8% slib wordt 13.2% bezocht, tegen slechts 4.3% van het wad met 1-2% slib (Fig. 7.11).

Figuur 7.11

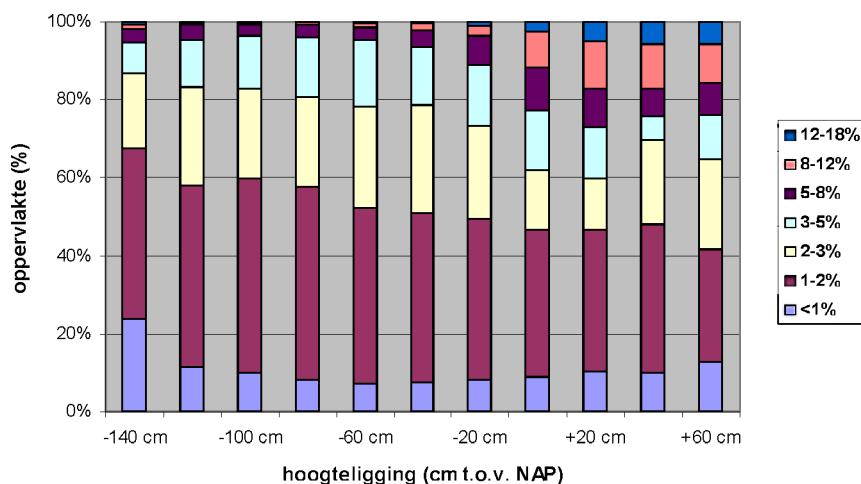
Slibgehalte van het wad binnen het open deel van de Waddenzee: frequentieverdeling van de oppervlakte (staven) en het % van die oppervlakte bezocht door kokkelvisserij (rode lijn) in de jaren 1992-2001.



Slibgehalte en hoogteligging van het wad zijn niet onafhankelijk van elkaar. Wad met een slibgehalte van >5% komt nauwelijks voor beneden NAP, maar boven NAP behoort ruim 20% van het wadoppervlak tot deze categorie (Fig. 7.12). Gaande van laag- naar hoogwaterlijn neemt het aandeel slibarm wad (< 2% slib) binnen elke hoogtezone geleidelijk af van 70% naar 40%. Dat is ook wat verwacht kan worden, want hooggelegen wad is gemiddeld meer beschut en daardoor slibrijker (Fig. 4.8). De consequentie hiervan is dat de trends getoond voor de relatieve bevissing per hoogteligging (Fig. 7.9) en slibgehalte (Fig. 7.11) niet onafhankelijk van elkaar zijn.

Figuur 7.12

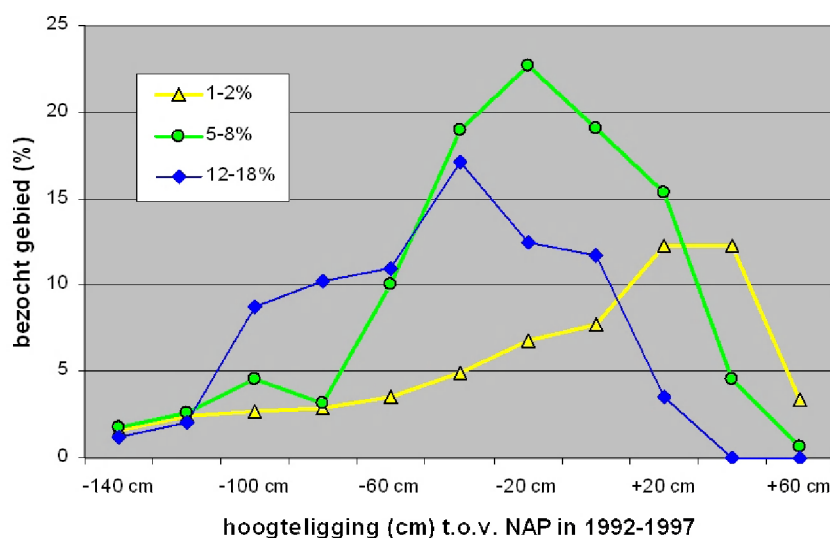
Relatieve frequentieverdeling (%) van de oppervlaktes wad met een verschillend slibgehalte apart gegeven voor verschillende hoogte-categorieën binnen het open deel van de Waddenzee.



Omdat bevissing vooral plaats vindt op wad beneden NAP, zou wanneer substraat er niets toe zou doen, de meeste bevissing op meer zandige bodems plaats moeten vinden. Uit Fig. 7.13 blijkt dat slibgehalte onafhankelijk van hoogteligging een belangrijke verklaring geeft voor de intensiteit van bevissing. Fig. 7.10 liet al zien dat wad op -20 cm het meest wordt bezocht en Fig. 7.11 het wad met een slibgehalte van 5-8%. Volgens Fig. 7.13 wordt de combinatie van die twee categorieën, met 22.7%, het meest frequent bezocht. Voor gemengd wad (5-8% slib) is de voorkeur t.a.v. de hoogteligging niet veel anders dan voor de alle bodemtypes samen, maar als er gevist wordt op heel slibrijk wad (12-18% slib) is er een voorkeur voor laag gelegen wad en als er gevist wordt op zandig wad (1-2%) worden de hooggelegen platen relatief meer bezocht.

Figuur 7.13

Het % van verschillende hoogte-categorieën binnen het open deel van de Waddenzee dat is bezocht door kokkelvisserij tussen 1991-2002, opgesplitst naar slibgehalte.

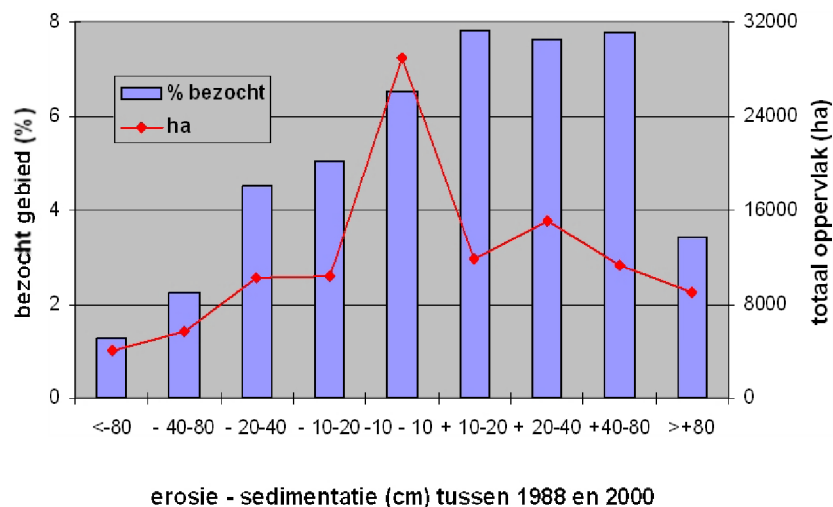


De figuren 7.9, 7.10 en 7.13 kunnen geïnterpreteerd worden als de getoonde voorkeur van de kokkelvisserij voor bepaalde wadtypen. Die voorkeur wordt weer bepaald door de verspreiding en de groeikracht van de kokkels. Kokkels groeien langzaam op hooggelegen wad, maar daarnaast blijkt dat ook een

hoger slibgehalte belemmerend werkt op de groei (o.a. Wanink & Zwarts 1993). Hooggelegen en slibrijk is daarom een te marginale combinatie.

Figuur 7.14

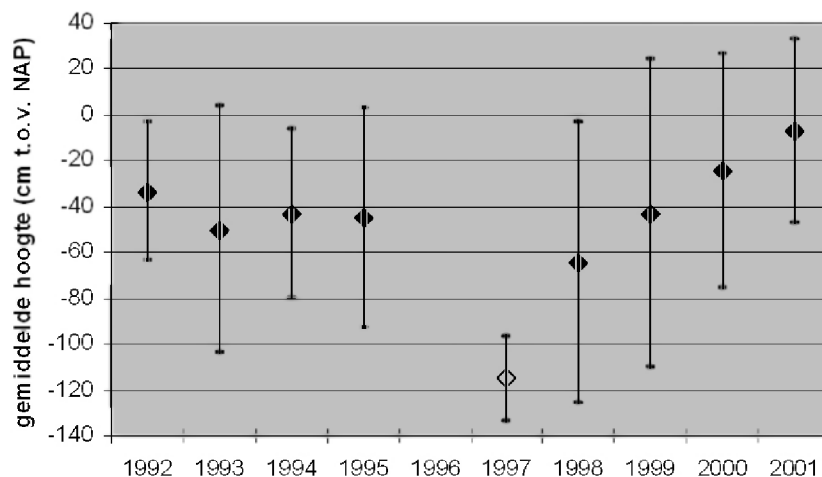
Erosie en sedimentatie van het wad binnen het open deel van de Waddenzee: frequentieverdeling van de oppervlakte (staven) en het % van die oppervlaktes bezocht door kokkelvisserij (rode lijn) in de jaren 1992-2001.



Naast slibgehalte en hoogteligging is er nog een variabele die samenhang vertoont met de mate van bevissing, namelijk de hoogteverandering (Fig. 7.14). Op bijna de helft van het wad heeft er in de jaren 90 geen netto erosie of sedimentatie plaatsgevonden, maar op bijna 13% van de wadplaten is in die 12 jaar 80 cm of meer geërodeerd of gesedimenteerd. Zulke grote hoogteveranderingen komen vooral voor op de zandplaten nabij de zeegaten, - het meest dynamische deel van de Waddenzee (Fig. 6.2). Kokkelvisserij komt daar na 1980 niet voor, dus om die reden is te verwachten dat de bevissing vooral op de platen voor zal komen waar geen grote hoogteveranderingen zijn geconstateerd. Zoals Fig. 7.15 laat zien wordt er sinds 1992 inderdaad weinig gevestigd in gebieden met sterke erosie of sedimentatie.

Figuur 7.15

Gemiddelde hoogteligging (± 1 SD) per jaar van het door kokkelvisserij bezocht wad. In 1997 mocht er boven de laagwaterlijn niet worden gevestigd. In 1996 is er geheel niet gevestigd.

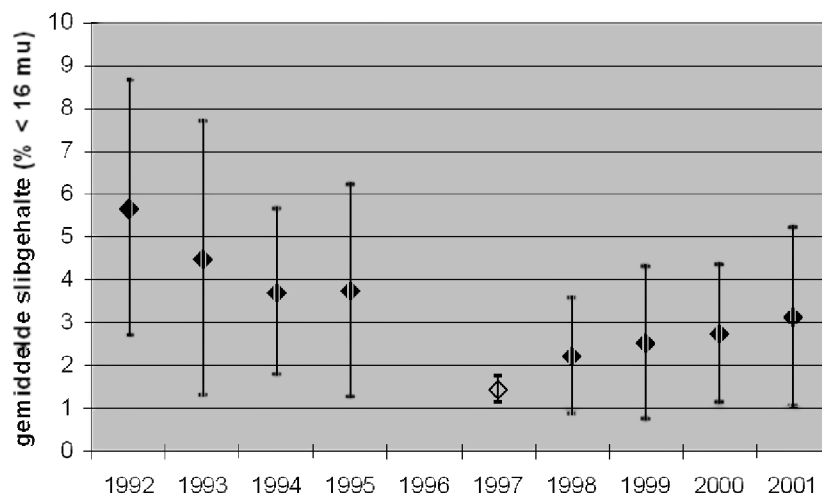


De figuur laat ook zien dat er in gebieden met weinig sedimentatie veel meer wordt gevestigd dan in gebieden met weinig erosie. Vergelijking van de sedimentatie-kaart (Fig. 6.2) en de bevissingskaart (Fig. 7.8) leert dat sinds 1992 veel is gevestigd langs de Friese kust boven Harlingen en dat hier ook sedimentatie plaats heeft gevonden.

Tot zover is de analyse van de bevissing gebaseerd geweest op gemiddelde hoogteligging en slibgehalte van de bezochte kokkelbanken over de jaren 1992-2001. Binnen die periode blijkt de keuze van de kokkelvisser voor hoogteligging en slibgehalte gevarieerd te hebben. In 1997 mocht er alleen beneden de laagwaterlijn gevist worden, dus die metingen kunnen gevoeglijk buiten beschouwing worden gelaten, maar tussen 1998 en 2001 schoof de gemiddelde hoogteligging van door vissers bezochte gebied jaarlijks met 20 cm omhoog, van -65 cm naar -7 cm (Fig. 7.15). Ook het slibgehalte van de bezochte plekken verschilde per jaar, nam in de eerste vier jaar gestaag af om de laatste vier langzamerhand weer toe te nemen (Fig. 7.16).

Figuur 7.16

Gemiddelde slibgehalte (± 1 SD) per jaar van het door kokkelvisser bezocht wad. In 1997 mocht er boven de laagwaterlijn niet worden gevist. In 1996 is er geheel niet gevist.



Uiteraard bezoeken de kokkelvisser de voor hen meest rendabele kokkelbanken. Het ligt voor de hand om de geconstateerde jaar-op-jaar verschuivingen in verband te brengen met jaar-op-jaar veranderingen in de ruimtelijke verspreiding van de kokkelbanken.

Conclusie: Tussen 1992 en 2001 bezochten de kokkelvisser gemiddeld 8% van het opengestelde gebied. Omdat gemiddeld 1/3 van het bezochte gebied daadwerkelijk werd bevist, wordt jaarlijks ruim 2% gevist. Wad nabij de hoog- en laagwaterlijn werd gemeden, evenals zeer slibarm en slibrijk wad. Op wad met netto erosie werd twee maal minder gevist dan in gebieden met netto sedimentatie. De meeste bevissing vond plaats op wad met een slibgehalte van 5-8% en op platen die juist liggen onder NAP.

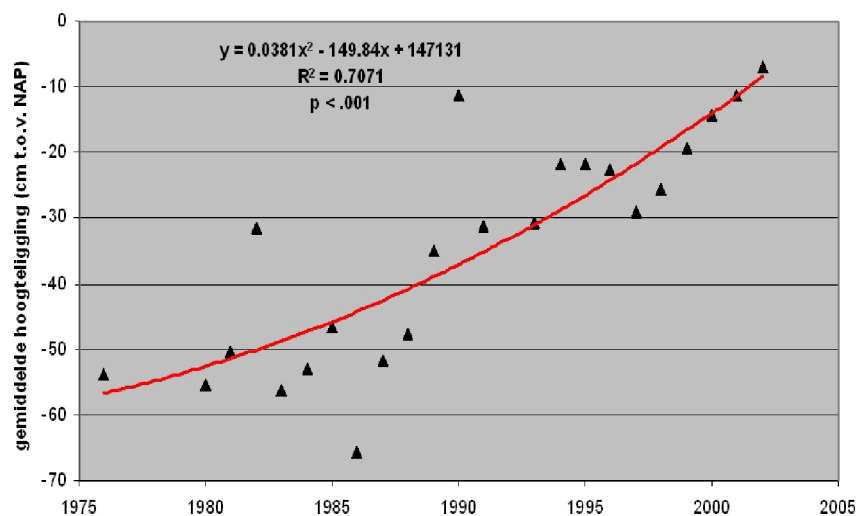
7.4 Lange-termijn veranderingen in de verspreiding van de kokkelbanken

Fig. 7.17 en 7.18 laten zien dat de ingetekende kokkelbanken in de Waddenzee tussen 1976 en 2002 duidelijk zijn verschoven van laag en slibarm naar hoog en slibrijk wad. Op deze grafieken is wel iets af te dingen. Zoals reeds besproken in par. 7.1. werden na 1992 alle banken ingetekend, maar gebeurde dat daarvoor veel minder volledig en ook niet systematisch. Daardoor ontstaat de kans dat de toen ingetekende banken niet representatief zijn voor de in dat jaar aanwezige kokkelbanken. Fig. 7.17 en 7.18 laten zien dat dit probleem misschien geen rol speelt bij deze analyse. Wanneer de periode 1976-2002 wordt opgedeeld vóór en na 1992 is in beide periode de trend hetzelfde: in de loop der jaren verschuiven de kokkelbanken van laag-slibarm naar hoog-slibrijk. Bovendien is er in 1992 bij de verandering in de registratiemethode, geen abrupt verschil geweest in de hoogteligging en slibgehalte van de

kokkelbanken. De conclusie is dan ook dat er tussen 1976 en 2002 een werkelijke verschuiving heeft plaats gevonden in de habitat-selectie van de kokkels. De figuren 7.17 en 7.18 laten duidelijk zien dat er een gestage verschuiving heeft plaatsgevonden. Over de gehele 26 jaar gerekend kan de verandering spectaculair worden genoemd.

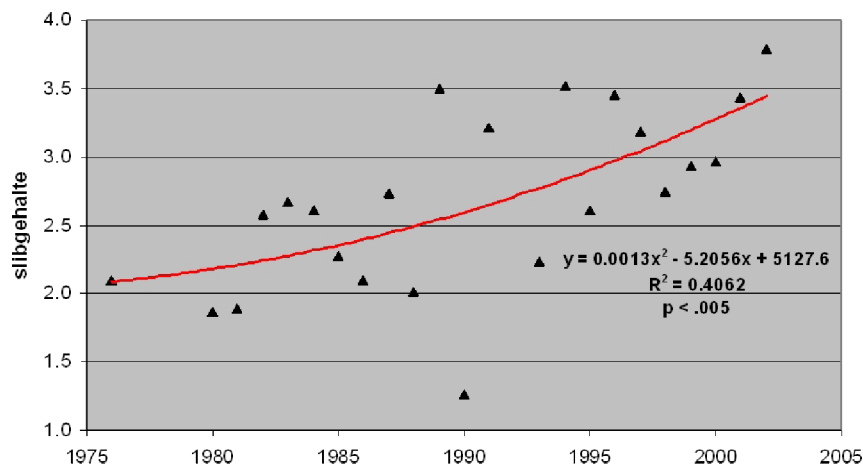
Figuur 7.17

Gemiddelde hoogteligging van de ingetekende kokkelbanken in de Waddenzee (open en gesloten gebied samengenomen) in de periode 1976-2002.



Figuur 7.18

Gemiddeld slibgehalte van de ingetekende kokkelbanken in de Waddenzee (open en gesloten gebied samengenomen) in de periode 1976-2002.



Hoe komen deze veranderingen tot stand? Het is uiterst onwaarschijnlijk dat de jaarlijkse verschuivingen worden veroorzaakt door migratie van kokkels nadat ze zich als larve hebben gevestigd; in de literatuur is daarvoor geen enkele aanwijzing te vinden. Er blijven dan twee verklaringen over. Ten eerste kan de verschuiving zijn veroorzaakt door een verandering in de keuze van de vestigingsplek door de jonge kokkels en/of een systematische verandering in de overleving van de kokkels nadat ze zich als larve hebben gevestigd. Ten tweede kan door selectieve bevissing de overleving van ouderejaars kokkels variëren voor banken met een verschillende hoogteligging en/of slibgehalte. Om beide verklaringen te kunnen onderzoeken, is het nodig om de gegevens op te splitsen naar jaarklassen.

Bij de kokkel is de jaarlijkse aanwas zeer onregelmatig. Massale broedval heeft in de Waddenzee plaats gevonden in 1975, 1979, 1987 en 1997, en in mindere mate ook in 1992 (Beukema 1982, Van Stralen & Kesteloo 1998, Kamermans *et al.* 2003b). Het verloop van de totale biomassa van deze vijf jaarklassen heeft voor een zeer groot deel de variatie in het totale kokkelbestand bepaald, waarbij al 1 jaar na de broedval het bestand zijn maximale omvang bereikt om in de jaren daarna geleidelijk af te nemen. Binnen 3 tot 5 jaar zijn vrijwel alle kokkels dood. Hoe lang het duurt voor een jaarklasse is verdwenen hangt mede af van de begindichtheid: een zeer sterke jaarklasse, zoals die van 1979, werd pas in de strenge winter van 1984-85, dus pas na zes jaar, opgeruimd (Beukema 1989).

Tabel 7.4 geeft gemiddeld voor het jaar na de broedval de hoogteligging, het slibgehalte, de afstand tot de geul en de afstand tot de dichtstbijzijnde, diepe geul (< 5 m). Door deze selectie is het rechtstreekse effect van bevissing geminimaliseerd. Tussen 1976 en 1997 is de gemiddelde hoogteligging van het kokkelbroed 30 cm opgeschoven, slibgehalte toegenomen met 0.82% en de afstand tot de geul 313 m groter geworden. Dat zijn zeer grote veranderingen. Vergeleken met 1976 is het slibgehalte met 39% toegenomen en de afstand van de geul met 69%. De conclusie kan dan ook niet anders zijn dat de kokkels zich de afgelopen kwart eeuw steeds hoger op de platen zijn gaan vestigen.

Er zijn in het verre verleden een aantal uitvoerige studies gedaan aan de ecologie van de kokkel in de Waddenzee (Kreger 1940, Verwey 1952, Baggerman 1953, Kristensen 1957). Uit deze studies komt duidelijk naar voren dat kokkelbanken in het midden van de vorige eeuw het meeste voorkwamen halverwege de laagwaterlijn en gemiddeld zeeniveau. Wat dit betreft is er tussen 1937 en 1980 niets veranderd. De genoemde auteurs hebben ook bodemonsters genomen, maar omdat ze daarbij niet gewerkt hebben met gestandaardiseerde methoden, zijn hun gegevens niet te vergelijken met onze slibgehalten. Uit hun eigen gegevens en geciteerde literatuur blijkt dat kokkels geen duidelijk voorkeur hebben voor een bepaald slibgehalte.

Tabel 7.4

Hoogteligging, slibgehalte, afstand tot geul en afstand tot geul < 5 m van kokkelbanken ingetekend in het eerste jaar na massale broedval. De tabel geeft ook de resultaten van de lineaire regressie-analyse en de berekende gemiddelde toename per jaar. De veranderingen in hoogteligging en afstand tot de geul zijn significant.

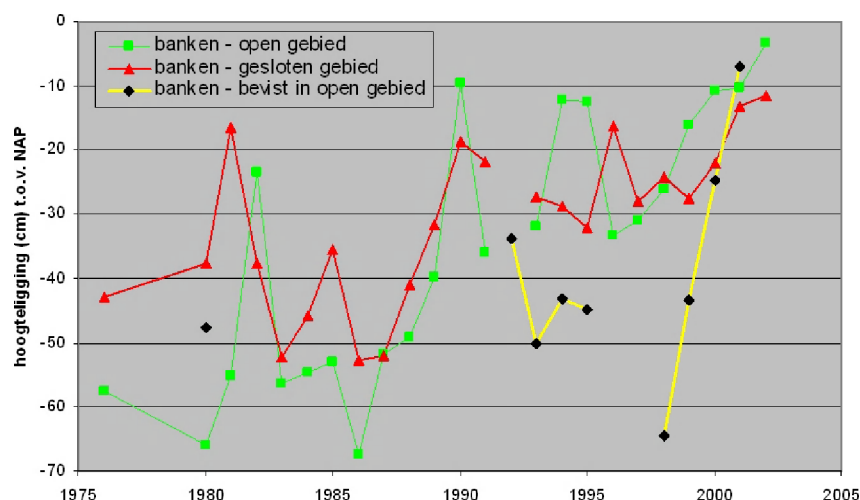
jaar van broedval	hoogteligging (cm)	slibgehalte	afstand tot geul (m)	afstand tot diepe geul (m)
1975	-53.8	2.10	451	652
1979	-55.3	1.87	402	975
1987	-47.6	2.01	570	342
1992	-30.6	2.23	754	1295
1997	-25.6	2.75	698	771
toename/jaar	+1.42	+0.03	+15.2	+7.9
P	0.01	0.12	0.03	0.75
R ²	0.89	0.59	0.82	0.04

Het is duidelijk dat het broedval-patroon is gewijzigd. Dat laat onverlet dat ook door de mechanische kokkelvisserij de verspreiding van de oogstbare kokkelbanken kan zijn veranderd en daardoor een deel van de verandering in hoogteligging (Fig. 7.17) en slibgehalte (Fig. 7.18) kan worden verklaard. Dat is geen onlogische redenering. Immers, de groeisnelheid van kokkels op laag, slibarm wad is zoveel groter dan op hoog, slibrijk wad (Wanink & Zwarts 1992) dat kokkelvisser al na één jaar op laag, slibarm wad kunnen gaan vissen, en pas na enkele jaren op de hoge slikken. Na een jaar met een sterke broedval,

zullen dus eerst de lage, zandige kokkels worden weggevisd en in latere jaren ook de kokkels op de hoge, slibrijke platen. Dat zou betekenen dat er na jaren met een sterke broedval in het beviste deel van de Waddenzee een systematische verschuiving op zal treden in de verspreiding van de kokkelbanken: in de jaren na de broedval verwachten we dat kokkelbanken steeds minder op laag/slibarm wad voor zullen komen. Het niet-beviste deel van de Waddenzee kan daarbij als controle dienen. Daar zou in de jaren na een broedval de genoemde verschuiving, naar verwachting, niet of nauwelijks mogen optreden.

Figuur 7.19

Gemiddelde hoogteligging van alle ingetekende banken in de Waddenzee in de periode 1976-2002, opgesplitst voor het deel dat na 1992 open en gesloten was voor visserij. Ook gegeven de gemiddelde hoogteligging van de door kokkelvisser bezochte (dus alleen in het open gebied gelegen) gebieden.

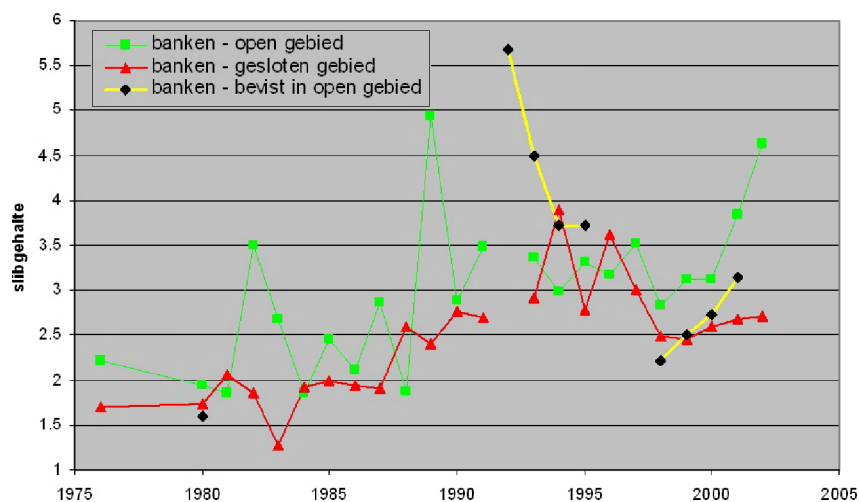


Voordat die systematische verschuiving kan worden onderzocht, moet eerst de vraag worden beantwoord of kokkelvisser selectief vissen. Fig. 7.19 vergelijkt de gemiddelde hoogteligging van de bezochte kokkelbanken (zie Fig. 7.15) met de gemiddelde hoogteligging van de aanwezige banken in het open gebied. In één enkel jaar week de hoogteselectie van de vissers niet af van het aanbod, namelijk in 2001, maar in de zeven overige jaren (1980, 1993-1995, 1998-2000) lag de beviste bank ver onder de aanwezige bank. In 2001 werd er niet meer selectief gevisd omdat de nog resterende kokkelbanken werden weggevisd. Voor het zo ver is, wordt er dus qua hoogteligging zeer selectief gevisd. Hetzelfde kan worden nagegaan voor het slibgehalte (Fig. 7.16). In 1993-1995 was het slibgehalte van de beviste kokkelbanken hoger dan van alle aanwezige banken samen, maar in 1998-2001 was dat andersom. De kokkelvisser vertonen dus geen consistente voorkeur voor slibarme of slibrijke kokkelbanken.

Als kokkelvisser selectief vissen en een (redelijk) groot deel van de aanwezige kokkelbanken wegvisen, kan verwacht worden dat de verschillen in hoogteligging en slibgehalte in het gesloten gebied minder groot zullen zijn dan in het open gebied. Fig. 7.15 en Fig. 7.16 geven vanaf 1976 de gemiddelde hoogteligging en het gemiddelde slibgehalte van de kokkelbanken apart voor het gebied dat sinds 1992 is verdeeld in het open en gesloten gedeelte. In 1997 lag de aanwezige kokkelbank in het open en gesloten gebied gemiddeld even hoog, maar in de vier jaren daarna schoof de hoogteligging in het open, beviste gebied meer omhoog dan in het gesloten gebied (Fig. 7.19). Het verschil in slibgehalte was nog veel groter (Fig. 7.20): in het gesloten gebied bleef het slibgehalte van de kokkelbanken in het gesloten gebied vrijwel constant, maar nam het in het open gebied toe van 2.7 naar 4.6%. Selectieve bevissing heeft dus een duidelijk effect op de ligging van de kokkelbanken.

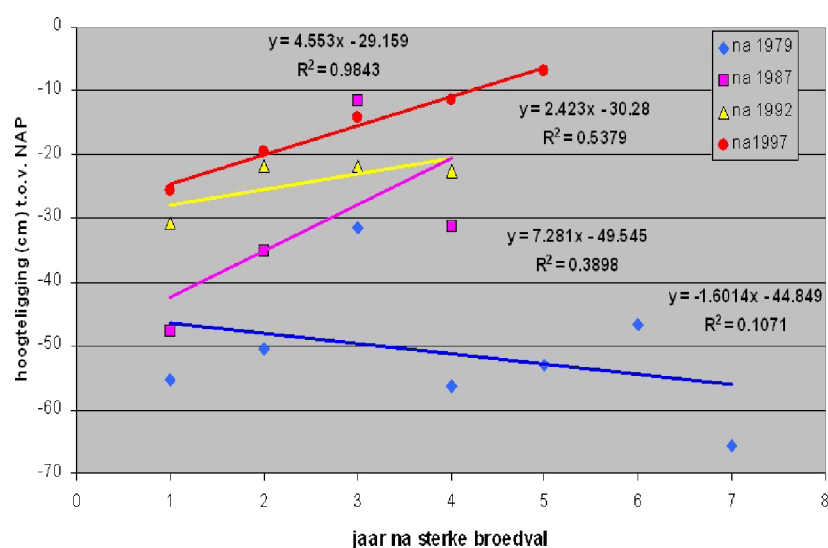
Figuur 7.20

Gemiddeld slibgehalte van alle ingetekende banken in de Waddenzee in de periode 1976-2002, opgesplitst voor het deel dat na 1992 open en gesloten was voor visserij. Ook gegeven het gemiddeld slibgehalte van de door kokkelvisser bezochte (dus alleen in het open gebied gelegen) gebieden.



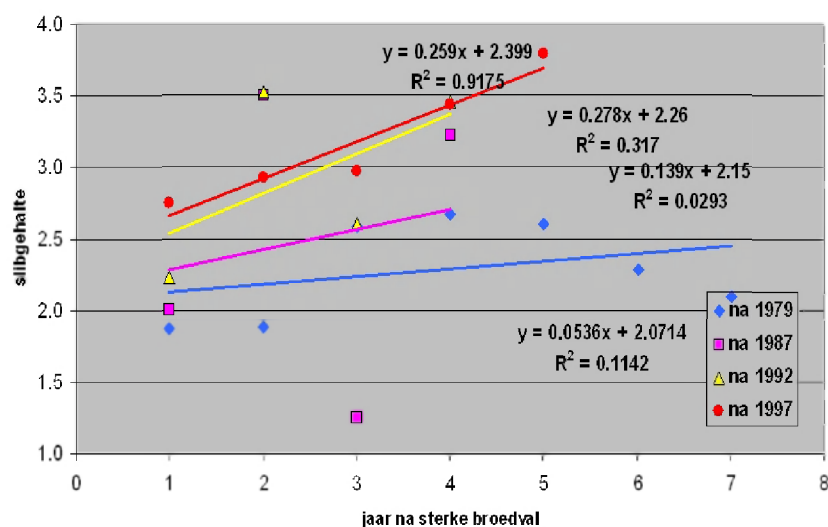
Figuur 7.21

Gemiddelde hoogteligging van de ingetekende kokkelbanken in de Waddenzee uitgezet tegen het aantal jaar verstreken na 1979, 1987, 1992 of 1997 (vier jaar met sterke broedval).



Figuur 7.22

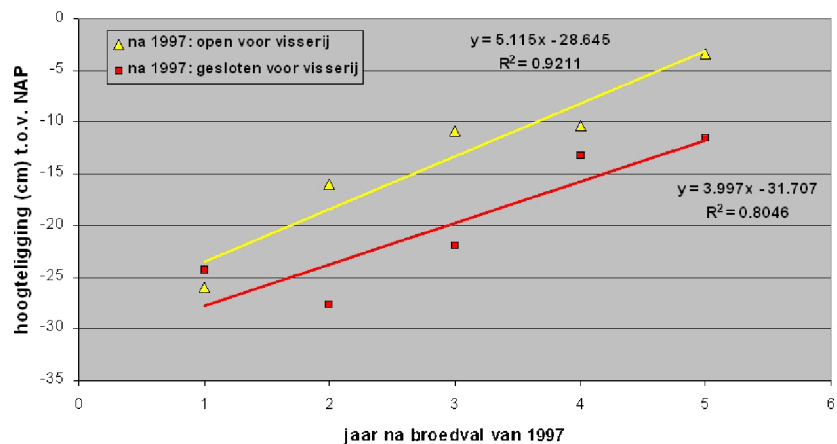
Gemiddeld slibgehalte van de ingetekende kokkelbanken in de Waddenzee uitgezet tegen het aantal jaar verstreken na 1979, 1987, 1992 of 1997 (vier jaar met sterke broedval).



De gegevens uit de figuren 7.19 en 7.20 kunnen worden opgesplitst voor vier periodes: de jaren na de broedval van 1979, 1987, 1992 en 1997. Wanneer de gemiddelde hoogteligging of het gemiddelde slibgehalte van de kokkelbank wordt uitgezet tegen het aantal jaar dat verstreken is na de laatste broedval (Fig. 7.21 en 7.22), blijkt niet alleen dat de hoogteligging en het slibgehalte per jaarklasse verschilt (gevolg van het veranderend broedval-patroon: Tabel 7.4), maar ook dat na de broedval de hoogteligging en slibgehalte geleidelijk toenemen. Dit effect is sterk voor de twee laatste broedvallen en gering voor de broedval van 1979. De verklaring is dat de relatieve bevissingsdruk op de 1979-jaarklasse zeer klein was vergeleken met de jaarklassen 1987, 1992 en 1997 (Van Stralen & Kesteloo 1998). Het effect van bevissing kan voor de broedval 1997 apart worden geanalyseerd door gemiddelde hoogteligging en slibgehalte te splitsen voor het open en gesloten gebied. In het niet-beviste gebied liggen de oudere kokkelbanken gemiddeld hoger op de platen dan de jonge banken (Fig. 7.23).

Figuur 7.23

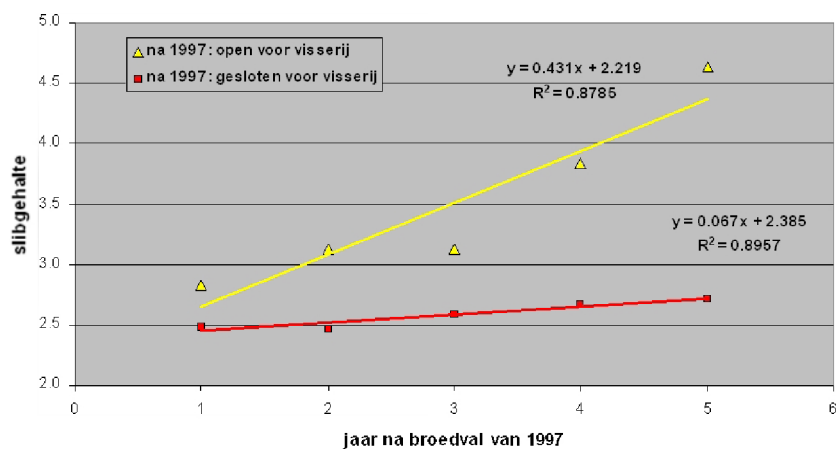
Gemiddelde hoogteligging van de ingetekende kokkelbanken na 1997 in het open en gesloten deel van de Nederlandse Waddenzee.



Blijkbaar zijn ook in een onbevisst, natuurlijk systeem de kokkels op laaggelegen banken eerder opgeruimd door uitspoeling en/of meer predatie dan op het hoge wad. Dat geldt blijkbaar niet voor het slibgehalte: in het voor kokkelvisserij open deel van de Waddenzee liggen de oude banken alleen nog maar op het slik en zijn ze op het zand verdwenen, maar een dergelijk verschuiving is er niet in het gesloten deel (Fig. 7.24).

Figuur 7.24

Gemiddeld slibgehalte van de ingetekende kokkelbanken na 1997 in het open en gesloten deel van de Nederlandse Waddenzee.



In de vorige alinea is de term “veranderd broedval-patroon” gebruikt om de verandering in de verspreiding van eerstejaars kokkels te beschrijven. De meest simpele verklaring is inderdaad dat de kokkelbroedjes zich de afgelopen decennia in toenemende mate op hoge wad zijn gaan vestigen. De alternatieve verklaring is dat de mortaliteit gedurende het eerste levensjaar voor hoog en laag wad de afgelopen decennia zodanig is veranderd dat daardoor ook verspreiding van eerstejaars kokkels die deze predatie hebben overleefd, is gewijzigd. Beide hypothesen roepen weer andere vragen op: waarom zou de broedval zijn veranderd? Zou het habitat (door kokkelbevissing) zijn veranderd en/of is de kokkelpopulatie door de zeer selectieve bevissing op laag, zandig wad veranderd van “zand-kokkels” in “slik-kokkels”, zoals voor het eerst geopperd door Piersma & Koolhaas (1997)? Bij de alternatieve hypothese doet zich de vraag voor welke verschuivingen in de predatie-druk denkbaar zouden kunnen zijn om de waargenomen verandering in de kokkelverspreiding te kunnen verklaren. Het grootste probleem zal echter zijn hoe te achter halen is wat er de afgelopen 20 jaar veranderd zou kunnen zijn in de relatie tussen enerzijds de overleving van jonge kokkels en anderzijds de hoogteligging, bodemgesteldheid en afstand tot de geul.

Conclusie: de kokkelbanken in de Waddenzee zijn de afgelopen 26 jaar verschoven van laag, slibarm wad, dat meestal dicht bij de geul ligt, naar hoger gelegen, slibrijk wad, op grotere afstand van de geul. Die verschuivingen kunnen grotendeels worden toegeschreven aan een wijziging in de verspreiding van jongerejaars kokkels en voor een kleiner deel aan een selectief wegvissen van kokkels die op laag en slibarm wad voorkomen.

8 Lange-termijn effect bevissing op bodemgesteldheid

8.1 Inleiding

Tijdens het mechanisch vissen op kokkels wordt de bovenlaag in suspensie gebracht. Zoals naar voren gebracht door Piersma & Koolhaas (1997) en Piersma *et al.* (2001) leidt dit tot verzanding. Theoretisch is het tegendeel ook denkbaar omdat in de sporen die ontstaan extra slib zou kunnen worden opgevangen. Bij het vissen op kokkels ontstaan immers diepe sporen tot 5 cm, die soms een jaar later nog steeds aanwezig blijken te kunnen zijn en waar met laagwater water in blijft staan. Daardoor zou extra slib kunnen bezinken. Hoe lang die sporen aanwezig zijn en dus hoe lang die extra slibvang op zou kunnen treden, hangt zeer waarschijnlijk af van de bodemgesteldheid ter plaatse. Een slikmonster bestaat voor 70% uit water en 30% uit waddensediment, maar in een zandmonster is dat 20% water en 80% sediment (Zwarts 1988). Een zandige wadbodem is dus "steviger" en ontstaat door golfwerking ribbels. Een slikbodem is vloeibaar en daardoor is de bodem glad. De sporen die kokkelvisserij achterlaten zullen in een zeer slibrijke bodem daarom waarschijnlijk snel weer uitvloeien. Ook op een zeer zandige bodem zijn de sporen misschien minder lang zichtbaar, omdat hier de dynamiek (stroming en golven) zorgt voor een grotere mobiliteit van de bodem. Vermoedelijk zijn de sporen daarom het langst aanwezig op plekken die niet te slibrijk en niet te slibarm zijn. Als dit zo is zou mechanische kokkelbevissing, althans in theorie, op gemengd wad het slibgehalte kunnen verhogen en zou dit effect afwezig kunnen zijn op zand- en slikplaten.

Het lang-termijn effect van bevissing kan worden onderzocht door de verandering in het slibgehalte gedurende de afgelopen 40 jaar te berekenen voor gebieden waarin de jaren voorafgaand aan de recente monsternamenlijst volgens de black-box-gegevens bevissing heeft plaatsgevonden. In een experimentele onderzoeksopzet zou dit een logische aanpak zijn. Nu lopen we echter tegen het probleem aan dat een verandering van het slibgehalte, geïnterpreteerd kan worden als "een direct effect van de kokkelvisserij", maar even zo gemakkelijk ook als "bevissing vindt plaats waar de bodemgesteldheid is veranderd". Oorzaak en gevolg kunnen dus niet worden gescheiden.

Om het nog ingewikkelder te maken, zouden kokkels ook zelf een bijdrage kunnen leveren aan de verandering van de bodemgesteldheid en wel doordat het zeewater wordt gefilterd en als slibrijke pseudo-faeces op het wadoppervlak terecht komt. Het opslibeffect is op kokkelbanken bij lange na niet zo groot als op mosselbanken, maar goede kwantitatieve gegevens ontbreken voor kokkelbanken (Oost 1995). Wanneer kokkels inderdaad in staat zijn om, als gevolg van de productie van slibrijke pseudo-faeces, de bodem ter plaatse slibrijker te maken, compliceert dat de analyse naar het effect van kokkelvisserij. Immers voordat de kokkels worden opgevist, zou de bodem gemiddeld genomen slibrijker moeten zijn in vergelijking met het wad buiten de kokkelbank. Ondanks deze voorbehouden, lijkt het de moeite waard om de analyse naar de verandering van het slibgehalte op plekken die wel en niet bevestigd zijn toch uit te voeren (par. 8.2).

Een tweede benadering is om de verandering in het slibgehalte in open en gesloten gebied te vergelijken (par. 8.3). Omdat de ingetekende kokkelbanken kunnen worden beschouwd als potentiële visgrond, kan de vergelijking verder worden toegespitst door de verandering in slibgehalte te meten op kokkelbanken in open en gesloten gebied (par. 8.4). Door kokkelbanken te vergelijken, kunnen we bovendien verder terug gaan in de tijd en de verandering van slibgehalte meten in gebieden waar de afgelopen decennia kokkelbanken zijn ingetekend (par. 8.5).

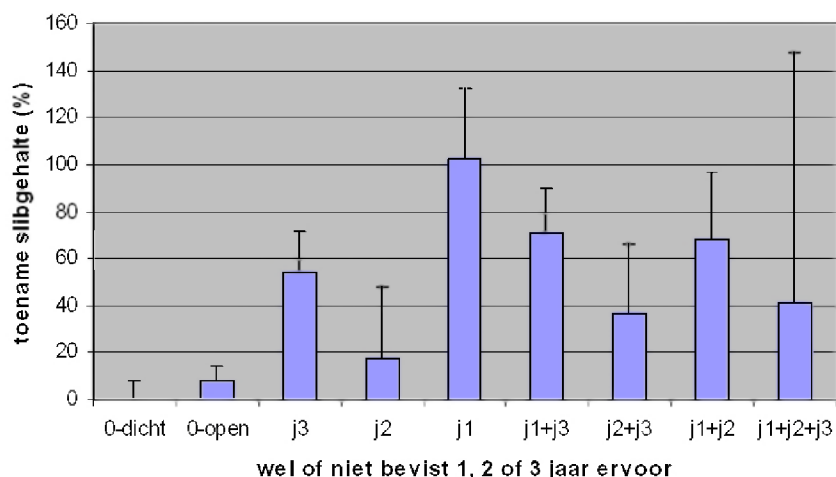
8.2 Vergelijking beviste en onbeviste platen binnen het open gebied

Wanneer kokkelbevissing een lange termijn effect heeft op de bodemgesteldheid, zouden wadplaten die wél zijn bezocht, slib verloren moeten hebben vergeleken met de gebieden die niet bevist zijn. Deze analyse is uitgevoerd aan de hand van de 2.11-ha-vakjes die gelegen zijn in het gebied dat sinds 1992 is opengesteld voor de kokkelvisserij. Voor alle monsters die sinds 1992 binnen het open gebied werden genomen, werd de log(ratio) van het slibgehalte uit de jaren 50 t.o.v. het recente slibgehalte berekend. Daarna werd voor elk monster vastgelegd of er binnen het betreffende 2.11-ha vak een bevissing had plaats gevonden in het voorafgaande jaar (jaar_1), het jaar daarvoor (jaar_2) en twee jaar daarvoor (jaar_3). Vrijwel alle monsters die de afgelopen jaren zijn genomen werden verzameld in de zomermaanden. De mechanische bevissing begon meestal begin september en duurde tot het eind van het jaar. De monsters die in de zomer van 2002 zijn verzameld, werden geordend naar monsters waar in de herfst van 2001, 2000 en 1999 wel of geen bevissing had plaatsgevonden. Op dezelfde manier werden de monsters uit de zomer van 2001 vergeleken met de herfstbevissing in 2000, 1999 en 1998, enz. Omdat de bevissing bekend is vanaf 1992, konden alleen de monsters die gestoken waren in 1995 en later in deze analyse worden betrokken.

De bevissing is uitgedrukt als percentage van het gebied dat is bevist (zie Kamermans *et al.* 2003a). Om het effect van de bevissing in de drie jaar voorafgaand aan de bemonstering te meten, is een multiple regressie uitgevoerd van de log(ratio recent slibgehalte / oud slibgehalte) op de mate van bevissing in jaar_1, jaar_2 en jaar_3. De regressie-vergelijking verklaarde heel weinig variantie ($R^2 = 0.01$), maar omdat de analyse betrekking had op veel metingen ($n = 2745$), was het verband wél significant ($p < 0.001$). Het effect was echter niet negatief maar positief: hoe meer bevissing in jaar_1, jaar_2 of jaar_3 hoe sterker de toename in het slibgehalte in vergelijking met de bodemgesteldheid in de jaren 50 (Fig. 8.1). Van deze toename moet overigens wél 15-20% worden afgetrokken i.v.m. het feit dat de recente monsters 5-10 cm diep zijn gestoken en de RIJP-monsters 25 cm (par. 2.10 en 5.8).

Figuur 8.1

Verandering in slibgehalte (± standaard meetfout) tussen de jaren 50 en 90 voor het gebied dat sinds 1992 is gesloten ("0-dicht"), voor het gebied dat na 1992 opengesteld is geweest voor de visserij maar waar niet is bevist ("0-open") en waar in de drie jaar voorafgaand aan het jaar van de monstername wel of niet is gevist (j1= wel bevissing in voorafgaand jaar en niet in 2 voorafgaande jaren"), (j2= alleen bevissing in 2 jaar voor monstername), enz. Voor het gesloten gebied was er gemiddeld genomen geen enkele verandering. De gemiddelde verandering in slibgehalte is berekend over $\ln(\text{slib}_{90}/\text{slib}_{50})$, maar voor het gemak teruggetransformeerd (zie tabel 8.1 en toelichtende tekst).



Als bevissing een effect zou hebben op de bodemgesteldheid, zou het effect groter moeten zijn als er op een plek meer jaren gevist zou zijn. Fig. 8.1 heeft de bevissing geordend in 7 categorieën, met links op de x-as "alleen drie jaar geleden bevissing" tot geheel rechts "bevissing in alle drie de voorafgaande jaren. Het verwachte effect is echter geheel afwezig.

De analyse is nog eens herhaald voor alleen jaar_1 en jaar_2 omdat daardoor ook de monsters uit 1994 in de analyse konden worden betrokken ($n = 3034$), en ook alleen voor jaar_1 ($n = 3326$, inclusief 1993). Het resultaat bleef hetzelfde: hoe meer kokkelbevissing, hoe slibrijker de bodem lijkt te zijn geworden.

Het zou kunnen zijn dat bevissing wél het veronderstelde negatieve effect zou hebben maar dan alleen op slibarm substraat of plekken die laag in de getijdenzone zijn gelegen. De analyse is daarom nog eens uitgevoerd voor verschillende deelbestanden: alleen monsters waar het slibgehalte in de jaren 50 kleiner was dan 5% of kleiner was dan 3% of waar de hoogteligging minder was dan 40 cm beneden NAP. In deze deelanalyses werd ofwel een toename, ofwel geen effect gevonden.

Vervolgens werd de analyse uitgevoerd voor negen deelgebieden binnen het deel van de Waddenzee dat sinds 1992 open is voor de visserij (Fig. 8.2). Het effect van bevissing in jaar_1 was in 7 van de 9 gevallen positief (dus slibrijker), waarvan 1x significant. Jaar_2 was 5x positief en 4x negatief waarvan 1x significant. Jaar_3 was 6x positief, waarvan 1x significant.

Wanneer binnen het gebied dat opengesteld is voor visserij, de wadplaten die daadwerkelijk bevist zijn, worden vergeleken met de platen waar niet is gevist, zijn de beviste gebieden vergeleken met een halve eeuw geleden zeker niet slibarmer geworden. Integendeel. Het effect, hoewel significant, is echter heel klein vergeleken met de natuurlijke spreiding.

Bij al deze analyses is geprobeerd om het effect van de kokkelvisserij op de bodemgesteldheid te meten door de bodemgesteldheid in de jaren 50 te vergelijken met de bodemgesteldheid zo'n 40 jaar later en te analyseren of het substraat veranderd is als 1, 2 of 3 jaar voor de recente meting bevissing heeft plaats gevonden. Uit de analyse blijkt dat er inderdaad verschil is: als er bevissing heeft plaatsgevonden is het wad, vergeleken met de jaren 50, slibrijker geworden. Dat kan worden uitgelegd als: kokkelbevissing maakt de

bodem slibrijker en in par. 8.1 wordt de theoretische mogelijkheid genoemd dat binnen kokkelsporen extra slib zou kunnen worden ingevangen. De alternatieve verklaring is dat waar nu gevist wordt, de bodem in de 3.5 decennia ervoor blijkbaar gemiddeld slibrijker is geworden. Er zijn een aantal redenen om deze alternatieve verklaring te accepteren. (1) Er is twee maal zo veel kokkelvisserij in gebieden met netto sedimentatie als in gebieden met netto erosie, mogelijk het gevolg van het feit dat de vestigingskans en overleving daarna groter is in gebieden met netto sedimentatie dan in gebieden met netto erosie (Fig. 7.13). (2) Sinds 1992 wordt er veel gevist langs de Friese kust (Fig. 7.6 en 7.7), waar de bodem evident slibrijker is geworden (Fig. 5.9), - een ontwikkeling die los staat van de kokkelvisserij (hoofdstuk 6). (3) Dat kokkelvisserij vooral plaats vindt op plekken die de afgelopen decennia slikkiger zijn geworden, blijkt ook uit de analyse van het slibgehalte op plekken die als kokkelbank zijn ingetekend (zie par. 8.4). Zowel in het open als het gesloten gebied liggen de kokkelbanken in gebieden met een hoger slibgehalte.

De toename in het slibgehalte na kokkelbevissing heeft dus niets te maken met de bevissing op zichzelf maar alles met de terreinkeuze van de kokkels en daarmee van de vissers. Hoe die relatie tot stand is gekomen blijft onduidelijk. Mogelijk zijn de visplekken relatief slibrijker geworden omdat kokkels slibrijke gebieden hebben opgezocht. Maar misschien zijn de visgebieden slibrijker geworden doordat er veel kokkels waren en door de filteractiviteit van de kokkels de bodem slibrijker was geworden.

Conclusie: kokkelvisserij vindt het laatste decennium vooral plaats in gebieden die de afgelopen 40 jaar slibrijker zijn geworden.

8.3 Vergelijking open en gesloten gebied

Sinds 1992 is een deel van de Waddenzee gesloten voor kokkelvisserij (zie de kaarten gegeven in de appendix 1). Het gaat om zeven beschermde gebieden: het Balgzand, de platen nabij de Schorren op Texel, het wad direct onder Terschelling, de Piet Scheveplaat, het wad tussen Rottum en de Groninger kust en de Hond & de Paap nabij Delfzijl. In de Dollard komen kokkels niet voor en vindt geen bevissing plaats. In 1999 zijn opnieuw een aantal beschermd gebieden aangewezen: het wad onder Vlieland, Ameland en Schiermonnikoog (zie de kaarten gegeven in de appendix 1). Om de analyse niet te ingewikkeld te maken, worden deze drie recent gesloten gebieden niet als een apart categorie behandeld. Met gesloten en open gebied wordt bedoeld de gebieden die sinds 1992 al dan niet beschermd zijn.

De gemiddelde hoogteligging en het slibgehalte waren bij de sluiting voor het gesloten en open gebied niet geheel gelijk. Het gebied dat afgesloten is voor kokkelvisserij ligt gemiddeld 14 cm hoger en is ook een fractie slibrijker. Het gemiddeld slibgehalte van de platen in het open gebied was in de jaren vijftig 2.58% tegen 2.68% voor het gesloten gebied.

Wanneer bevissing een lange-termijn effect zou hebben, verwachten we dat het open gebied relatief slibarmer is geworden dan het gesloten gebied. De na 1992 gestoken monsters werden daarom opgesplitst voor het open en het gesloten gebied. Het gemiddelde slibgehalte van de recente monsters is berekend, als ook het slibgehalte van de oude RIJP-monsters, in zoverre die op dezelfde plaats zijn genomen of met de cokriging techniek ruimtelijk zijn geïnterpoleerd op basis van naburige monsters.

Tabel 8.1.

Slibgehalte voor de monsters die na 1992 zijn gestoken, vergeleken met het slibgehalte op dezelfde plekken in jaren 50 (Fig. 4.17). De verandering in slibgehalte is op twee manieren aangegeven: de toename door de gemiddelden waarden met elkaar te vergelijken (kolom 5) en de toename door $\ln(\text{slib50}/\text{slib}>92)$ te berekenen over de individuele metingen en het gemiddelde daarvan (kolom 7) terug te transformeren (kolom 8); verdere toelichting in tekst.

		slibgehalte jaren 50	slibgehalte na 1992	toename, %	aantal monsters	$\ln(\text{slib50}/\text{slib}>92)$	toename, %
Open	gem.	2.49	3.16	26.84	2650	4.71	10.58
	sd	2.11	3.32			0.87	2.38
gesloten	gem.	2.44	3.37	38.20	691	4.78	18.97
	sd	1.55	2.85			0.69	1.99
Totaal	gem.	2.48	3.20	29.10	3341	4.72	12.26
	sd	2.01	3.23			0.83	2.30

Tabel 8.1 suggereert dat de Waddenzee slibrijker is geworden en dat dit verschil groter is voor het gesloten gebied dan voor het open gebied. Zoals al aangegeven in par. 5.8 is de Waddenzee waarschijnlijk echter niet slibrijker geworden. Omdat de recente monsters uit de (iets slibrijker) bovenlaag van de bodem zijn genomen en de oude RIJP-monsters dieper zijn gestoken, moet bij de vergelijking tussen en oud en nieuwe monsters gecorrigeerd worden voor een 15-20% overschatting van de toename in slibgehalte. Het slibgehalte van het gesloten deel van de Waddenzee is daarom gelijk gebleven, maar duidelijk afgenomen in het open gebied. De 15-20%-correctie is ook van toepassing in de rest van deze paragraaf genoemde gemiddelde slibgehaltes.

In open gebied is er, gerekend over de 2650 monsters die hier gestoken zijn, een toename van gemiddeld 2.49 naar 3.16% slib, dat is gemiddeld plus 26.84%. In het gesloten gebied is er, op dezelfde manier berekend, met 691 monsters een toename van 2.24 naar 3.37%, een verschil van 38.2%. In de jaren 50 was het open gebied gemiddeld iets slibrijker dan het gebied dat gesloten was voor de visserij, maar 40 jaar later is dat omgedraaid.

De gemiddelde toename is zojuist berekend als ratio van de gemiddelde waarde. Om de toename statistisch te kunnen toetsen, is het beter om de toename en afname te berekenen over de individuele monsters. In dat geval is een log-transformatie noodzakelijk. Zou dat niet gebeuren dan zou b.v. een toename in het slibgehalte van 1 naar 10 (ratio=10) in de berekening véél zwaarder meetellen dan een afname van 10 naar 1 (ratio 0.1). De één na laatste kolom geeft van de log-getransformeerde ratio het gemiddelde en de standaard deviatie. De mate van toename in het slibgehalte in het open en gesloten gebied verschilt zwak significant ($p = 0.04$). Om de interpretatie te vergemakkelijken geeft de laatste kolom de ratio uit de één na laatste kolom, maar dan terug-getransformeerd. Op deze manier berekend blijkt het open gebied 10.58% slibrijker te zijn geworden tegen het gesloten gebied 18.99%.

Conclusie: In het gebied dat gesloten is voor visserij is het slibgehalte méér toegenomen dan in het open gebied, maar dat verschil is zwak significant. Zoals al aangegeven in par. 2.10 en par. 5.8 is in beide gevallen de toename in het slibgehalte overschat met 15-20%. Wanneer daar rekening mee wordt gehouden, heeft het open gebied wél en het gesloten gebied géén slib verloren.

8.4 Vergelijking open en gesloten gebied per deelgebied

Het is de vraag of de in de vorige paragraaf gemaakte vergelijking tussen open en gesloten gebied werkelijk iets zegt over het effect van kokkelvisserij. In de Waddenzee hebben zich grote veranderingen voorgedaan (par. 6.3) en in feite zouden we het effect van kokkelvisserij willen weten nadat rekening is gehouden met de uitwerking van de afsluiting van de Afsluitdijk en grote opslibbing langs de Fries-Groninger kust. Laatst genoemde effecten kunnen we niet goed kwantificeren. Wat wèl mogelijk is om de Waddenzee op te delen in een aantal deelgebieden en daarna te kijken of het al dan gesloten zijn voor kokkelvisserij statistisch iets betekent.

De Waddenzee is op verschillende manieren in deelgebieden op te splitsen. Het ligt voor de hand om de zeegaten daarbij als grens te gebruiken. De geulen lopen ver genoeg door om de wadgebieden onder de eilanden te splitsen. Dat is niet het geval voor het wad nabij Texel en Vlieland. Dit waddencomplex is daarom niet opgesplitst. Een tweede indeling betreft het slikke wad langs de vaste wal en de rest van de Waddenzee, waarbij de geulen die het wadij doorsnijden als grens wordt aangehouden. De inzet-figuur van Fig. 8.2 laat zien welke deelgebieden zijn onderscheiden. Eenzelfde indeling is in het verleden gebruikt door ornithologen die aan de hand van hoogwatertellingen wilden berekenen in welke dichtheden de vogels tijdens laagwater foerageerden.

Nadat de Waddenzee was ingedeeld in 12 gebieden (de Dollard is buiten beschouwing gelaten), is een variantie-analyse uitgevoerd om te onderzoeken of de verandering in het slibgehalte (d.w.z. $\ln(\text{slib80}/\text{slib50})$) verschilt voor vier variabelen: (1) de deelgebieden (zie Fig. 8.2), (2) het al dan niet gesloten zijn voor kokkelvisserij (zie Fig. 8.2), (3) al dan niet ingetekend als kokkelbank in 1980-1991 (zie Fig. 7.1) en (4) al dan niet ingetekend als kokkelbank in 1993-2002 (zie Fig. 7.1). De variantie-analyse over de 3341 monsters liet zien dat alle vier variabelen zeer significant waren en samen 18.8% van de variantie wisten te verklaren. In deze vier-zijdige variantie-analyse was ook het effect van het al of niet gesloten zijn zeer significant ($p = 0.006$) en dus veel sterker dan in de eenzijdige variantie zoals in de vorige paragraaf besproken. De verandering in het slibgehalte voor gebieden die wel of geen kokkelbank waren in de periodes 1980-1991 en 1993-2002 komt ter sprake in de volgend paragraaf. Nu beperken we ons tot de analyse naar de verandering van het slibgehalte in deelgebieden die wel of niet gesloten zijn voor kokkelvisserij.

Figuur 8.2

Boven: Verandering in slibgehalte in verschillende deelgebieden (zie inzet-figuur), die voor kokkelvisserij wel of niet zijn opengesteld. Vier deelgebieden zijn gedeeltelijk gesloten. De gemiddelde verandering in slibgehalte is berekend over $\ln(\text{slib}_{90}/\text{slib}_{50})$, maar voor het gemak teruggetransformeerd (zie tabel 8.1 en toelichtende tekst). De deelgebieden zijn op het kaartje met diverse kleuren aangegeven.

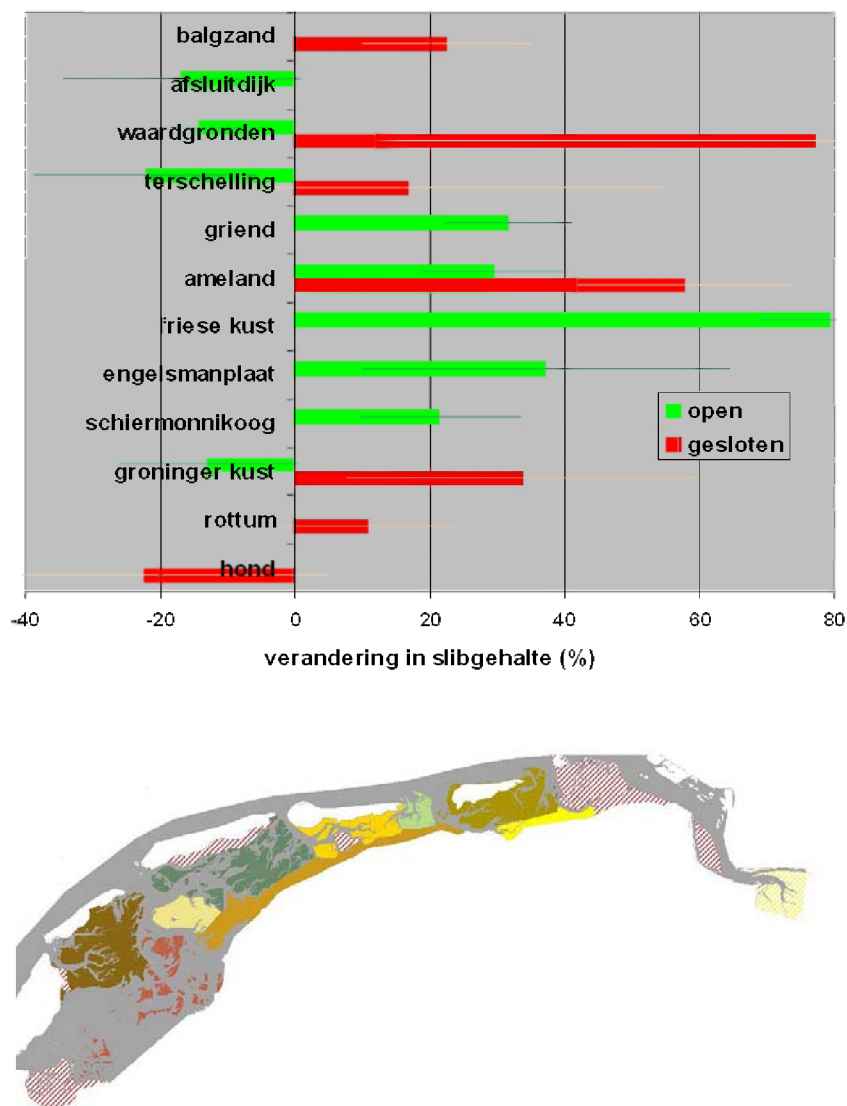


Fig. 8.2 laat zien dat de mate van verandering in het slibgehalte verschillend was voor de deelgebieden in de afgelopen 40 jaren. Het centrale deel van de Waddenzee (Ameland, Friese kust, Engelsmanplaat) is evident slibrijker geworden. Van de 12 onderscheiden deelgebieden, liggen er 5 volledig in het open gebied, 3 in het gesloten gebied, en 4 deels in het open gebied en 4 deels in het gesloten gebied.

In de vijf volledig opengestelde deelgebieden is het slibgehalte 4x toegenomen (Griend, Friese kust, Engelsmanplaat, Schiermonnikoog) en 1x (Afsluitdijk) afgenomen. In de 3 gesloten gebieden is het slibgehalte 2x toegenomen (Balgzand en Rottum) en 1x afgenomen (Hond). In de vier deelgebieden die gedeeltelijk zijn opengesteld, is in drie gevallen (Waardgronden, Terschelling en Groninger kust) het open deel minder slibrijk geworden en het gesloten gebied slibrijker. In een geval (Ameland) is de toename in het open gebied veel sterker dan in het gesloten gebied.

In de westelijke Waddenzee is het open gebied (Waardgronden, Terschelling) slibbarmer geworden, maar dat geldt niet voor Griend. Daarentegen is het gesloten gebied in de westelijke Waddenzee (Balgzand, Waardgronden) slibrijker geworden. Ter relativering moet worden opgemerkt dat de toename in

het gesloten gebied binnen de Waardgronden slechts gebaseerd is op 10 metingen (tegen 40 –540 monsters voor alle andere in Fig. 8.2 gegeven gemiddelden). In de oostelijke Waddenzee is de vergelijking voor het open en gesloten deel van het Groninger wad van belang: het opengestelde, westelijke deel heeft slib verloren maar het gesloten, oostelijke deel heeft slib gewonnen.

De vraag blijft of de vergelijking tussen open en gesloten gebieden, zoals die zojuist is gemaakt voor de 4 deelgebieden, inderdaad iets zegt over het effect van kokkelvisserij. Idealiter zou de vergelijking tussen de open en gesloten gebieden gebaseerd moeten zijn op vergelijkingen waarbij gebieden...

1. een vergelijkbare positie hebben ten opzichte van eilanden en vastelandskust,
2. dicht bij elkaar liggen,
3. vergelijkbaar zijn wat betreft menselijke ingrepen in de afgelopen decennia,
4. beide kokkelbanken bevatten,
5. in het opengesteld deel daadwerkelijk is gevestigd.

Op grond van bovenstaande criteria, zou de eerder gemaakte vergelijking tussen open en gesloten gedeelte van het Terschellinger wad en idem voor de Waardgronden niet geldig zijn omdat het gesloten gebied direct onder het eiland ligt en het open gebied verder naar buiten. Daarentegen zijn enkele andere vergelijkingen tussen deelgebieden wél te maken (tabel 8.2): het gesloten wad onder Terschelling blijkt niet meer te zijn veranderd dan het open wad van de Grienderwaard. Ook de vergelijking tussen het gesloten wad onder Rottum en het open wad onder Schier blijkt geen significant verschil op te leveren.

Tabel 8.2

Relatieve verandering in het slibgehalte (%), gebaseerd op alle monsters die na 1992 zijn gestoken en berekend over ln(slibgehalte in jaren 50 / slibgehalte in jaren 90). De tabel geeft de teruggetransformeerde gemiddelde verandering, als ook de standaard meetfout. De significantie (p) van de paarsgewijze vergelijking wordt gegeven. Om te corrigeren voor het verschil in monstertdiepte (en daarmee samenhangend verschil in slibgehalte) kan van de gegeven gemiddelden 15-20% worden afgetrokken (toelichting in tekst).

Vergelijking gesloten versus open gebieden	Gesloten		Open		p
	Gem.	SE	Gem.	SE	
Gesloten deel Terschelling vs. Griend	25.6	37.9	33.1	9.5	.477
Gesloten vs. open deel Ameland wad	57.8	16.1	29.1	10.9	.025
Rottum vs. Schiermonnikoog	11.4	13.0	19.3	11.9	.328
Gesloten vs. open deel Groninger wad	37.1	26.2	-10.0	13.4	.001

Conclusie: Het middelste deel van de Waddenzee tussen Harlingen en Lauwersoog is slibrijker geworden. Het grootste deel van de westelijke Waddenzee is slibbarmer geworden. De gesloten gebieden zijn in vergelijking met open gebied in de directe omgeving soms slibrijker geworden, maar soms is er ook geen verschil.

8.5 Vergelijking kokkelbanken in open en gesloten gebied

De vorige twee paragrafen vergeleek de verandering in het slibgehalte tussen de jaren 50 en 90 voor het open en gesloten gebied. Omdat we geïnteresseerd zijn in de mogelijke verandering van het slibgehalte in relatie tot de mechanische kokkelvisserij, ligt het voor de hand de analyse toe te spitsen op de gebieden die als kokkelbanken zijn ingetekend. De in par. 8.4 genoemde vier-zijdige variantie-analyse liet zien dat de verandering van het slibgehalte, behalve voor de deelgebieden en voor de open/gesloten gebieden ook significant verschilt voor gebieden die wél en die niet als kokkelbank zijn ingetekend in 1980-1991 en in 1993-2002.

Tabel 8.3 geeft de gemiddelde verandering in slibgehalte voor de gebieden die wel of niet zijn ingetekend als kokkelbank in 1980-1991 of in 1993-2002 (zie Fig. 7.1). De tabel geeft deze waarden voor de gehele Waddenzee, als ook gesplitst voor het open en gesloten gebied. Alleen de monsters die gestoken zijn na 1992 zijn geselecteerd en vergeleken met de slibgehaltenes voor de jaren 50 op de overeenkomstige plekken. De tabel geeft ook het aantal monsters en de standaard meetfout.

Tabel 8.3

Relatieve verandering in het slibgehalte (%) , gebaseerd op alle monsters die na 1992 zijn gestoken en berekend over ln(slibgehalte in jaren 50 / slibgehalte in jaren 90), apart gegeven voor de gebieden die in 1980-1991 en/of in 1993-2002 als kokkelbank zijn ingetekend (zie Fig. 7.1). De tabel geeft de teruggetransformeerde gemiddelde verandering, als ook de standaard meetfout en het aantal monsters. Een drie-zijdige variantie-analyse liet zien dat de drie hoofdeffecten zeer significant zijn en de interactie termen niet ($R^2 = 0.054$, $p < 0.001$). Om te corrigeren voor het verschil in monsterdiepte (en daarmee samenhangend verschil in slibgehalte) kan van de gegeven gemiddelden 15-20% worden afgetrokken (toelichting in tekst).

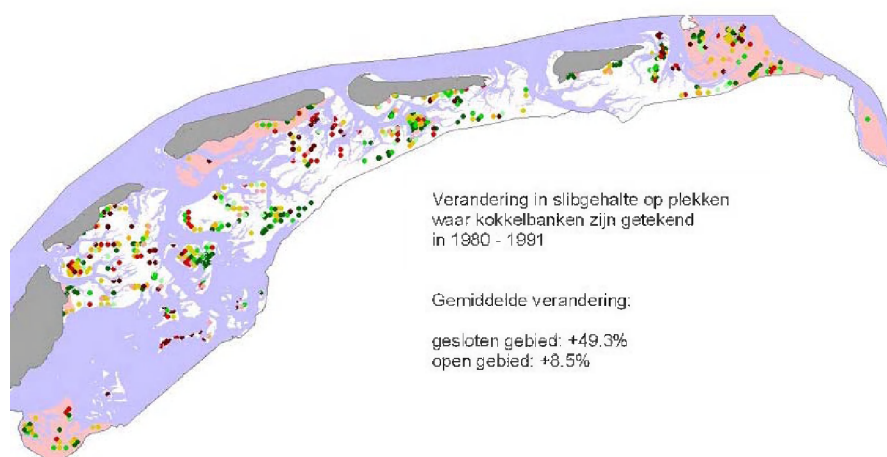
	gem. verandering (%)			standaard meetfout			aantal monsters		
	93-02: nee	93-02: ja	93-02: alles	93-02: nee	93-02: ja	93-02: alles	93-02: nee	93-02: ja	93-02: alles
Open									
80-91:nee	-5.4	44.1	10.9	2.6	2.8	2.0	1255	762	2017
80-91:ja	-3.1	23.2	8.5	5.1	5.5	3.8	229	205	434
80-91:alles	-5.1	39.4	10.5	2.4	2.5	1.8	1484	967	2451
Gesloten									
80-91:nee	-1.3	31.1	8.9	4.0	5.0	3.2	304	160	464
80-91:ja	24.7	69.6	49.3	7.0	4.8	4.2	80	113	193
80-91:alles	3.7	45.8	19.4	3.5	3.6	2.6	384	273	657
Alles									
80-91:nee	-4.6	41.8	10.5	2.3	2.5	1.7	1559	922	2481
80-91:ja	3.4	38.0	19.7	4.3	4.0	3.0	309	318	627
80-91:alles	-3.3	40.8	12.3	2.0	2.1	1.5	1868	1240	3108

De eerste conclusie is dat kokkelbanken vooral voorkomen op plekken die slibrijker zijn geworden. Waar nooit kokkelbanken zijn ingetekend, is het slibgehalte afgenomen met 4.6%, terwijl de gebieden waar in de jaren 80 kokkelbanken lagen het slibgehalte met 19.7% is gestegen en waar dat in de jaren 90 het geval was zelfs met 40.8%. Wanneer er rekening mee wordt gehouden dat de toename van het slibgehalte met 15-20% is overschat, blijft de conclusie dat gebieden waar in de jaren 90 kokkelbanken zijn ingetekend, het wad slibrijker is geworden.

De tweede conclusie is dat de plekken waar in 1980-1991 kokkelbanken zijn ingetekend, in de afgelopen 40 jaar 8.5% slibrijker zijn geworden in het open gebied en 49.3% in het gesloten gebied (Fig. 8.2). Het slibgehalte is daarentegen op gebieden die niet als kokkelbank zijn ingetekend in open en gesloten gebied in dezelfde geringe mate toegenomen (+10.9% in open en +8.9% in gesloten gebied). Na correctie voor de bovengenoemde 15- 20% overschatting, blijken de kokkelbanken uit de jaren 80 in de afgelopen 40 jaar in het open gebied wel en in het gesloten gebied géén slib te hebben verloren. Uiteraard waren er tussen 1980 en 1991 geen gesloten gebieden. Dat er toch een verschil wordt gevonden, zou er op kunnen wijzen dat er na 1992 herstel is opgetreden in het gesloten gebied. De kokkelbanken die in 1993-2002 zijn ingetekend vertonen een sterke toename in het slibgehalte in het gesloten gebied (+45.8%), maar ook, zij het in iets minder sterke mate, in het open gebied (+39.4%). Fig. 8.3 laat de veranderingen in het slibgehalte op de recente kokkelbanken zien. Het is duidelijk dat vooral de kokkelbanken slibrijker zijn geworden die dicht onder de kust liggen van het vasteland en in mindere mate dicht onder de eilanden. De toename in slibgehalte is veel minder groot verder uit de kust.

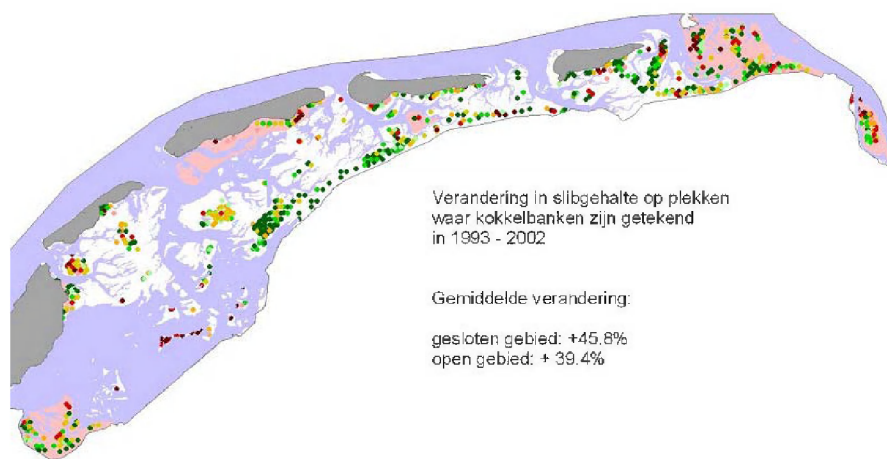
Figuur 8.3

Het relatieve verschil tussen het slibgehalte van de RIJP-monsters en monsters die na 1992 zijn gestoken (als Fig. 5.9) voor de gebieden die in de periode 1980-1991 als kokkelbank zijn ingetekend (zie Fig. 7.1); het gebied dat sinds 1992 is afgesloten is aangegeven.



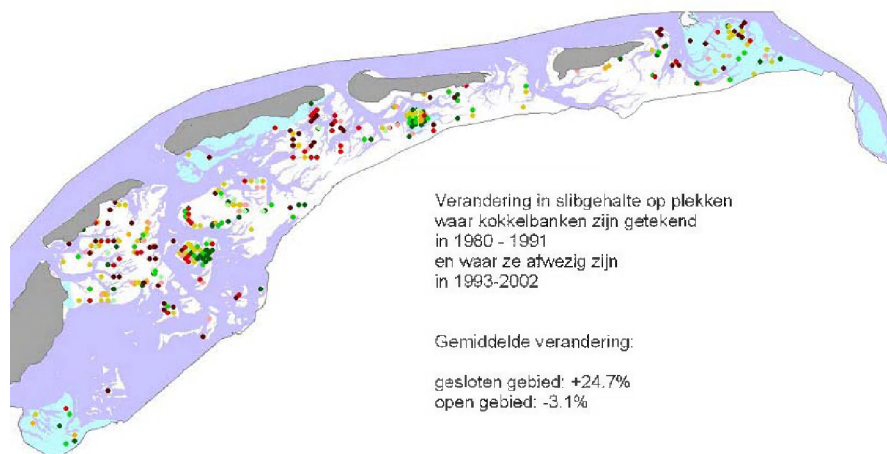
Figuur 8.4

Het relatieve verschil tussen het slibgehalte van de RIJP-monsters en monsters die na 1992 zijn gestoken (als Fig. 5.9) voor de gebieden die in de periode 1993-2002 als kokkelbank zijn ingetekend (zie Fig. 7.1); het gebied dat sinds 1992 is afgesloten is aangegeven.



Figuur 8.5

Het relatieve verschil tussen het slibgehalte van de RIJP-monsters en monsters die na 1992 zijn gestoken (als Fig. 5.9) voor de gebieden die in de periode 1980-1991 wél en in de periode 1993-2002 níét als kokkelbank zijn ingetekend (zie Fig. 7.1); het gebied dat sinds 1992 is afgesloten is aangegeven.



De derde conclusie is dat als de banken uit 1980-1991 worden opgesplitst voor al dan niet kokkelbank zijn in 1993-2002, het slibgehalte op de "verlaten" kokkelbanken in open gebied afneemt met 3.1 % en gesloten gebied toeneemt met 24.7%; voor de plekken die kokkelbank zijn gebleven is dat +23.2% in het open en +69.6% in het gesloten gebied. Gecorrigeerd voor de 15-20% overschatting, blijkt dat het slibgehalte in de Waddenzee niet is veranderd, met 2 uitzonderingen: Waar in het open gebied kokkelbanken zijn verdwenen is het substraat slibbarmer geworden en waar in het gesloten gebieden kokkelbanken zich hebben gehandhaafd is het substraat slibrijker geworden. De

verandering in het slibgehalte van deze “verlaten” kokkelbanken is weergegeven in Fig. 8.4.

Conclusie: de in de par. 8.3 en 8.4 geconstateerde slibverlies in het open gebied, is toe te schrijven aan slibverlies dat heeft plaats gevonden op de gebieden die als kokkelbank ingetekend zijn geweest. Op langere termijn verdwijnen in het open gebied kokkelbanken waar het slibgehalte is gedaald. Waar kokkelbanken in het gesloten gebied vanouds voorkomen is het wad daarentegen slibrijker geworden. Dit wijst erop dat kokkelvisserij, direct of indirect, heeft geleid tot een slibarmere bodem.

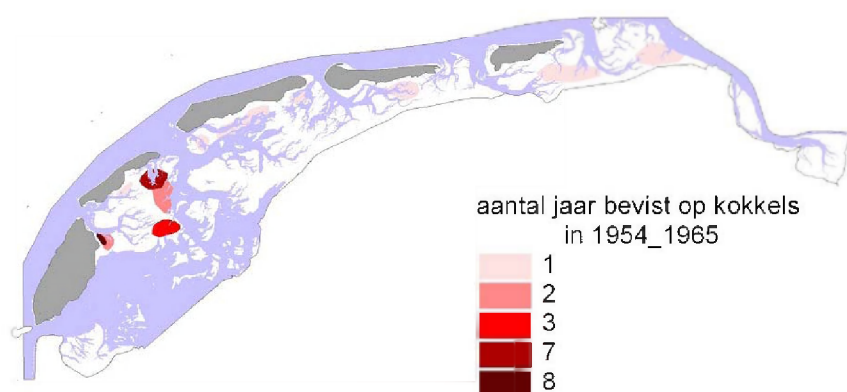
8.6 Verandering in bodemgesteldheid op kokkelbanken die al voor 1980 werden bevist

Blijkens de door de Directie van de Visserijen, Ministerie van Landbouw, uitgegeven verslagen en mededelingen (Jaarcijfers over de visserij 1954-1965 en Jaarverslag Visserij vanaf 1975) werd ook in het verleden op kokkels gevist. Tussen 1958 en 1965 was de visserij geheel geconcentreerd nabij Vlieland en Texel (het Inschot, de Driesprong, platen oost van de Schorren). In het jaarverslag 1961 staat te lezen: “De bekende kokhanenvelden bleken in het laatst van het jaar grotendeels te zijn schoongevist. Het zal dan ook in het komende jaar moeilijk zijn om voldoende grote kokhanen te bemachtigen”. Het jaarverslag 1962 meldt inderdaad dat in dat jaar voor het eerst kokkelvisserij uitweken naar het Groninger wad.

Wanneer alle genoemde bevissingsplekken uit de genoemde verslagen bij elkaar worden gezet, blijkt dat het wad onder Oost-Vlieland en nabij Noord-Texel het vaakst zijn bezocht, namelijk 7, respectievelijk 8 jaar tussen 1954 en 1965 (Fig. 8.5). Tussen 1975 en 1979 werd er nog steeds op de Waardgronden gevist, maar dan meer naar het zuiden. Ook werd er al meer gevist in de rest van de Waddenzee.

Figuur 8.6

Aantal jaar dat verschillende gebieden in de Waddenzee zijn bevestigd door kokkelvisserij tussen 1958 en 1965. Bron: “Jaarcijfers over de visserij” 1958-1965.



Alle plekken die rond 1960 meer dan één jaar zijn bevestigd liggen op de oostelijke en noord-oostelijke Waardgronden en het wad nabij Noord-Texel. Deze plekken liggen gemiddeld 58 cm onder NAP en in de jaren 50 bedroeg het gemiddelde slibgehalte daar 2.51 %. Deze waarde komen goed overeen met de hoogteligging en slibgehalten van de kokkelbanken zoals die voor de jaren 1976-1985 werden berekenend (Figs. 7.16 en 7.17). Vergelijking met de

recente monsters leert dat het slibgehalte de afgelopen decennia op deze plekken is afgenomen met 9%.

Wanneer de selectie wordt gemaakt voor de twee plekken die rond 1960 gedurende 7 of 8 jaar zijn bevist, dan is de gemiddelde hoogteligging –66 cm en was het slibgehalte in de jaren 50 2.98%. Vergeleken met toen is het slibgehalte 14% afgenomen. Omdat zoals aangegeven in par. 5.8, de toename van het slibgehalte met 15-20% overschat, betekent dit dat deze oudste visgronden zeer duidelijk slibarmer zijn geworden.

Wanneer de verandering in het slibgehalte op deze beviste gebieden wordt vergeleken met de rest van de Waardgronden, blijkt dat de afname op de geviste plekken precies even groot is geweest als daarbuiten, namelijk ook – 14%. Omdat de “ontslibbing” van de Waardgronden mogelijk het gevolg is geweest van de aanleg van de Afsluitdijk, kunnen we uit deze analyse niet concluderen dat de reeds in 1960 beviste kokkelbanken onder Texel en Vlieland slibarmer zijn geworden als gevolg van de kokkelvisserij.

Conclusie: De reeds in 1960 beviste kokkelbanken onder Texel en Vlieland zijn veel slibarmer geworden, maar de afname in het slibgehalte op de rest van de Waardgronden is even groot geweest. De analyse geeft dus geen antwoord geeft op de vraag of het slibverlies het gevolg is van kokkelvisserij of van de veranderingen samenhangend met de aanleg van de Afsluitdijk.

9 De ecologische functie van bevist gebied

9.1 Inleiding

De Waddenzee is het belangrijkste natuurgebied in Noordwest-Europa. Miljoenen trekvogels, afkomstig uit een gigantisch gebied dat zich uitstrekt van Oost-Canada tot diep in Siberië, vliegen duizenden km's om zich hier te verzamelen. De meeste van deze vogels verspreiden zich met laagwater over het wad om zich te voeden met bodemdieren: kokkels, maar ook mossels, nonnetjes, wadpieren, zeeduizendpoten, en nog vele andere soorten. De dichtheden waarin de bodemdieren voorkomen en wadvogels voedselzoeken is bekend en kan worden gerelateerd aan hoogteligging en slibgehalte. Diezelfde relatie is in hoofdstuk 7 onderzocht voor de kokkelbevissing. Daardoor is het mogelijk om na te gaan welke ecologische waarde moet worden toegekend aan gebieden die worden bevist.

9.2 Bodemdieren

De verschillende bodemdieren komen niet overal op het wad voor. Beukema (1976) telde het aantal verschillende soorten bodemdieren die hij aantrof in zijn steekbuis. De meeste soorten waren te vinden rond NAP en het minst aantal soorten op wad nabij de hoog- en nabij de laagwaterlijn. Ook wat betreft de bodemgesteldheid waren de extremen (heel slibrijk en heel slibarm wad) minder soortenrijk dan de monsters met gemengd substraat.

Wanneer wordt uitgerekend waar de meeste bodemdieren voorkomen in relatie tot hoogteligging en bodemgesteldheid is de conclusie hetzelfde. Het voorkomen van de bodemdieren wordt daarbij uitgedrukt als "biomassa", - het gesommeerde vleesgewicht van alle soorten samen. Zowel Dankers & Beukema (1984) als Zwarts (1988; ook gegeven in van de Kam et al. 1999: blz. 21-23) laten zien dat de biomassa maximaal is op het wad 20 tot 40 cm beneden NAP en veel lager nabij de laag- en hoogwaterlijn. Ook de relatie met het slibgehalte is klokvormig met een maximum bij 3-8% slib.

Conclusie: de bodemdieren bereiken hun hoogste biomassa in de zone 20 tot 40 cm beneden NAP en in gemengd wad met een slibgehalte van 3 tot 8%.

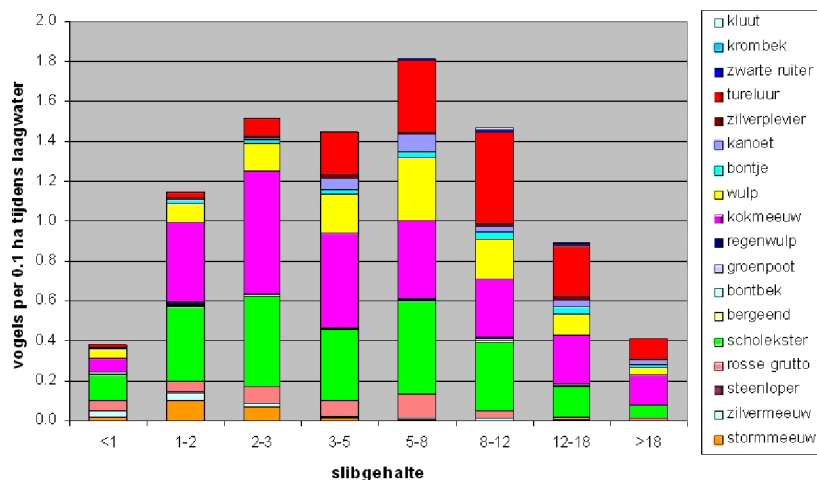
9.3 Vogels

De wadvogels bereiken de hoogste dichtheden waar het meeste voedsel is te vinden. Gegeven de relaties tussen hoogteligging, bodemgesteldheid en de biomassa van de bodemdieren (par. 9.2), kan verwacht worden dat de meeste wadvogels zich zullen concentreren op gemengd wad en in de zone beneden NAP. De figuren 9.1. en 9.2 laten inderdaad zien dat de vogels de hoogste dichtheid bereiken op wad dat een slibgehalte heeft van 2 tot 8% en dat 20 tot 40 cm onder NAP ligt (Zwarts ongepubliceerd, ook gegeven in Blomert 2002). Beide figuren zijn gebaseerd op tellingen die in 1557 onderzoeksveldjes van meestal 0.1 ha zijn verricht tussen 1 juli en 15 september, verspreid over meerdere jaren. Er is daarbij een selectie gemaakt voor de tellingen uit de periode 2 uur voor tot 2 uur na laagwater. Na deze selectie resteerden er nog

ruim 750.000 tellingen waarover de gemiddelde vogeldichtheden per hoogteligging en slibgehalte kon worden berekend.

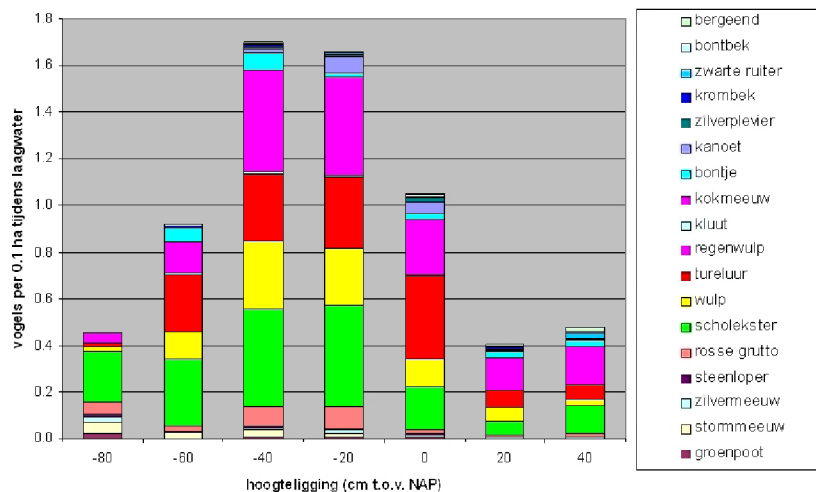
Figuur 9.1

De relatie tussen de foerageerdichtheid van wadvogels en het slibgehalte van het wad. De relatie is gebaseerd op laagwatertellingen verricht in 1536 vakjes van meestal 0.1 ha in de periode 1 juli t/m 15 september (Zwarts ongepubliceerd).



Figuur 9.2

De relatie tussen de foerageerdichtheid van wadvogels tijdens laagwater en de hoogteligging van het wad; zelfde gegevens als Fig. 9.1.



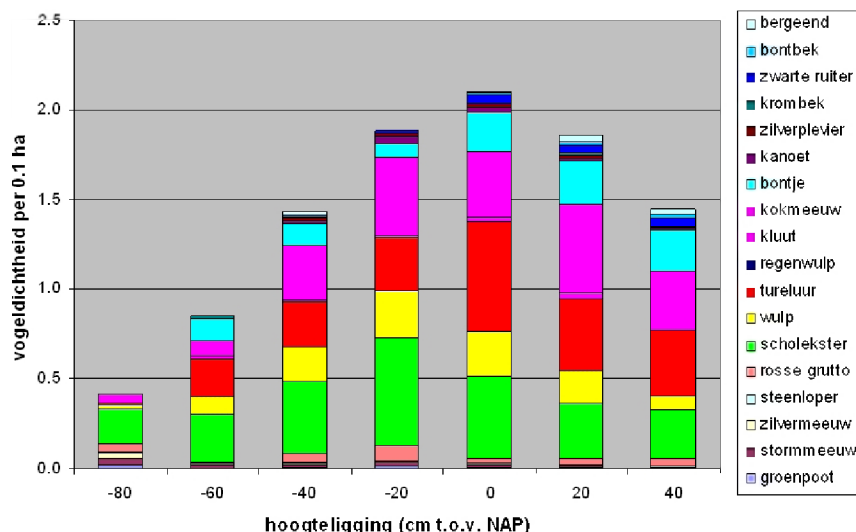
Tijdens opkomend en afgaand water is een deel van het laaggelegen wad onder water en foerageren veel vogels op de hogere platen. Tijdens afgaand water lopen ze min of meer achter de waterlijn om zich met opkomend water terug te laten drijven. Fig. 9.2 is gebaseerd op de laagwatertellingen en onderschat daardoor de betekenis van de hooggelegen platen. Door alle vogeltellingen samen te nemen die zijn verricht tussen het droogvallen en weer onderstromen van de voedselgebieden, kan rekening worden gehouden met het feit dat de vogelverspreiding in de loop van de getijcyclus varieert (Fig. 9.3). Tijdens laagwater blijken de hoogste en laagste delen van het wad even vogelarm te zijn (Fig. 9.2), maar gerekend over de gehele droogligperiode is de vogeldichtheid op het hoge wad drie maal groter dan op het lage wad (Fig. 9.3). Gerekend over de gehele droogligperiode blijkt de zone rond NAP het vogelrijkste te zijn, terwijl tijdens laagwater de zone 20 en 40 cm onder NAP het rijkste is.

Er is een reden om de vogeldichtheid zowel voor laagwater als voor de gehele droogligperiode te geven. De laagwatertellingen onderschatten de betekenis van de hoge wadplaten, maar deze hoge platen worden overschat met de gemiddelde vogeldichtheid berekend over de droogligperiode. De reden van

deze overschatting is dat het voedselaanbod op de hoge platen beperkt is. Als gevolg daarvan is ook de voedselopname van de vogels op de hoge platen over het algemeen minder dan op het lage wad. Wanneer het mogelijk was geweest om de vogelbenutting uit te drukken als predatiedruk, zou een figuur zijn ontstaan die het gemiddelde zou zijn geweest van Fig. 9.2. en 9.3.

Figuur 9.3

De relatie tussen de foerageerdichtheid van wadvogels, berekend over de gehele droogligperiode, en de hoogteligging van het wad; zelfde gegevens als Fig. 9.1, maar nu zonder de selectie voor tellingen uit de periode 2 uur voor tot 2 uur na laagwater.



Conclusie: het wad met een slibgehalte van 3 tot 8% en wad dat ligt op 20 cm onder NAP wordt door de wadvogels het meeste benut.

9.4 De ecologische waarde van beviste gebieden

Tot voor 20 jaar geleden, lagen de meeste kokkelbanken in de Waddenzee ruim onder NAP, met het maximum op 40 tot 60 cm onder NAP. Ook op heel slibarm en heel slibrijk wad kwamen minder kokkels voor dan op gemengd wad. De meeste kokkels waren te vinden in de zone met een slibgehalte van 1.5 tot 2.5% (Figs. 7.16-7.19). Dit was ook de zone waar werd gevist.

Zoals Fig. 7.14 en 7.15 laten zien is de afgelopen jaren de bevissing opgeschoven naar wad dat dicht onder NAP ligt en waarvan het slibgehalte gemiddeld 3% bedraagt.

Conclusie: kokkelbevissing vond voor 1980-1985 plaats op vrij zandig, laaggelegen wad. Het toen beviste gebied kan niet tot het biologische allerrijkste deel van de Waddenzee worden gerekend. De afgelopen twee decennia zijn de kokkelvisserij steeds meer gaan vissen op hoger gelegen en slibrijker platen. Het gevolg is dat de meeste kokkelbevissing nu plaats vindt in het allerrijkste deel van de Waddenzee: de meeste vogels zijn hier geconcentreerd en ook het voedselaanbod is hier maximaal.

10 Samenvatting en conclusies

10.1 Meetfouten en natuurlijke variatie

Het slibgehalte van de wadbodem vertoont een opvallend grote variatie (par. 3.1). Die variatie kan voor een deel worden verklaard door meetfouten. Zo moesten veldtaxaties worden gecorrigeerd (par. 2.4). Daarnaast moet er rekening mee worden gehouden dat de meetfout t.a.v. het slibgehalte absoluut is en niet relatief. Het is daarom veel makkelijker om aan te tonen dat het slibgehalte is gehalveerd van 20 naar 10% dan van 2 naar 1% (par. 2.3 en par. 4.6). Bovendien moesten slibgehalten voor een groot deel van de gegevens worden afgeleid uit het U-cijfer (par. 2.6), uit de zandfracties (par. 2.9), uit bepaling met de laser particle size analyser (Coulter laser: par. 2.7 of Malvern laser: par. 2.8). Dat gaf problemen. Zo moest uiteindelijk worden besloten om één bestand met zandfracties buiten beschouwing te laten (par. 5.6). Een andere meetfout is het gevolg van het feit dat de recente en 50 jaar oude grondmonsters zelden op dezelfde plek zijn genomen. Om toch de oude en nieuwe monsters te kunnen vergelijken, werden de oude monsters gebruikt om een bodemkaart te maken die per ha het voorspelde slibgehalte geeft op basis van monsters die in de nabije omgeving zijn genomen (hoofdstuk 4). Bij die ruimtelijke extrapolatie worden opnieuw fouten gemaakt; die meetfout is geschat (par. 4.6). Aan al die meetfouten is achteraf weinig te doen. Het enige verweer is te zorgen voor zo groot mogelijk aantal steekproeven. Daardoor neemt de kans af dat als gevolg van de niet-systematische meetfouten, het berekende gemiddelde afwijkt van de werkelijkheid. Gelukkig kon de analyse worden uitgevoerd op een zeer groot aantal monsters (par. 2.1 en 2.2).

De juist genoemde meetfouten zorgen voor een grote spreiding van het (gereconstrueerde) slibgehalte. Maar ook al zouden er geen meetfouten zijn geweest, dan is er toch een grote variatie in het slibgehalte van de toplaag van de bodem te verwachten: de Waddenzee is een zeer dynamisch systeem waarbij het bodemslib bij ruw weer en/of sterke stroming voortdurend in suspensie wordt gebracht en het slib uit het water in rustige omstandigheden sedimenteert (par. 2.11). Bovendien filteren kokkel en mossels behalve voedsel ook slib uit het water. Dit uitgefilterde slib wordt uitgescheiden en komt in de vorm van pseudofaeces op het wadoppervlak. Rondom mosselbanken is de bodem om die reden vaak opvallend slibrijk (par. 4.5). Daarnaast is er een voortdurende menging van de bodem in de bovenste 25 cm van het wad. Die menging is het gevolg van de graaf- en eetactiviteit van de in de bodem levende wadpieren en andere wormen (par. 2.10). Deze zgn. bioturbatie zal overigens ruimtelijk variëren als functie van de variatie in wormendichtheid. Ondanks de bioturbatie varieert het slibgehalte van de toplaag, door de juist genoemde uitwisseling met het slib dat in water zweeft, meer dan die van de ondergrond (par. 2.10). Dat is zeker het geval in de wintermaanden omdat de bioturbatie wegvalt door de inactiviteit van wormen bij lage temperaturen. In het winterhalfjaar is de kans op ruw weer en hoge vloed groter dan in het zomerhalfjaar (par. 2.12). Als gevolg daarvan is ook de toplaag van de wadbodem 's winters slibarmer dan in de zomer (par. 3.2). Bijna alle monsters zijn 's zomers genomen, dus het effect op de analyse is beperkt, maar toch nog groot genoeg om de vergelijking tussen oude en nieuwe monsters te compliceren.

De oude RIJP-monsters uit de jaren 50 waren vrijwel allemaal 25 cm diep gestoken (par. 2.1) en de recente monsters meestal slechts 5-10 cm diep (par. 2.2). Omdat de bovenlaag, ook in de zomer, slibrijker is dan de onderlaag (par. 2.10), bemoeilijkt dit de directe vergelijking tussen de oude en nieuwe monsters. Aangenomen moet worden dat de nieuwe monsters, alleen doordat ze ondieper zijn gestoken, gemiddeld 15-20% slibrijker zullen zijn dan de oude RIJP-monsters (par. 5.8).

De bodemdieren woelen de bovenste 25 cm van het wad voortdurend om. Stel dat na een bevissing het slibgehalte in de bovenste 5 cm is gedaald van 10 naar 2% en dat het slibgehalte in de 20 cm daaronder ongewijzigd 10% is gebleven. Het is daarna een kwestie van tijd of het slibgehalte in de toplaag zal, althans in dit theoretische rekenvoorbeeld, als gevolg van bioturbatie weer terug zijn naar een niveau 8.4%. Om die reden is een effect van kokkelbevissing op het slibgehalte niet makkelijk aan te tonen.

10.2 Is de bodemgesteldheid van de Waddenzee veranderd?

Op drie plaatsen in de Nederlandse Waddenzee wordt de bodemgesteldheid al een kwart eeuw gevolgd. Op de Piet Scheveplaat (tussen Ameland en de Friese kust) en de Heringsplaat (noordelijke Dollard) is de wadbodem sinds 1980 langzaam maar zeker slibrijker geworden. Op de Groningse monitoringsplekken werden de afgelopen 30 jaar grote verschillen geconstateerd, maar was er gemiddeld genomen geen toe- of afname van het slibgehalte (par. 3.1).

Een vergelijking van de bodemkaart, gebaseerd op de monsters uit de jaren 50 (par. 4.6), en de recente monsters laat zien dat een groot deel van de westelijke Waddenzee slibarmmer is geworden, maar het grootste deel van de Waddenzee slibrijker. Die verandering hebben al plaats gevonden voor 1990 (par. 5.6). De verandering van de bodemgesteldheid kan in verband worden gebracht met de grootschalige veranderingen in erosie- en sedimentatie patronen (par. 6.2), zoals die teweeg zijn gebracht door (1) waterstaatkundige ingrepen (Amsteldiepdijk, Afsluitdijk, afsluiting Lauwerszee), (2) landaanwinningsswerken langs de Fries-Groninger kust, (3) baggerstort ten noorden van Harlingen en (4) natuurlijke dynamiek (par. 6.3).

De Waddenzee is gemiddeld niet slibrijker geworden wanneer rekening wordt gehouden met het feit dat de oude monsters dieper werden gestoken dan de recente monsters (par. 2.10, par. 5.8).

10.3 Waar liggen de kokkelbanken en waar wordt gevestigd?

Kokkelbanken lagen in het verleden ruim onder NAP op slibarm wad (par. 7.2 en 8.4). Kokkels filteren voedsel uit het water en groeien daardoor het snelst op laaggelegen wadplaten. Hooggelegen platen hebben een korte overspoeling en zijn daarom marginaal voor kokkels: ze groeien er langzaam. Datzelfde geldt in iets mindere mate voor kokkels die leven in een slibrijke bodem. Kokkelbanken zijn de afgelopen jaren verdwenen uit de gebieden waar de groei maximaal is. Dat verschil is erg groot in het deel van de Waddenzee dat altijd bevestigd is geweest en veel kleiner in het deel dat sinds 1992 is gesloten voor de kokkelvisserij.

Kokkelvisseren bezoeken de afgelopen 10 jaar elk jaar gemiddeld ongeveer 6% van het voor hen toegankelijke wad. In de zone juist onder NAP is dat meer dan 10%, maar het is (veel) lager nabij de hoog- en laagwaterlijn. Sinds 1992 vindt er ook weinig bevissing plaats op slibarm en zeer slibrijk wad. Relatief het meest bezocht (12%) wordt het wad met een gemengde substraat. Gemengd wad dat 20 cm beneden NAP ligt, wordt het vaakste bezocht: per jaar gemiddeld 22%. Die voorkeur is niet gelijk, maar varieert tussen de jaren (par. 7.3).

Er is selectieve kokkelbevissing op laaggelegen kokkelbanken (par. 7.4). De kokkels groeien daar harder en zijn dus eerder oogstbaar. Als gevolg daarvan worden binnen eenzelfde jaarklasse de laaggelegen kokkelbanken eerder weggevisst dan de kokkelbanken op hoog wad. De gemiddelde kokkelbanken ligt nu hoger in de getijdenzone dan vroeger, althans in het deel van de Waddenzee dat is opengesteld voor de visserij. In het gebied dat is gesloten voor visserij is dat verschil veel kleiner.

De jaarlijkse kokkelbestand varieert zeer sterk, omdat er gemiddeld slechts 1 op de 5 jaar een nieuwe kokkelgeneratie de Waddenzee bevolkt. De afgelopen 30 jaar was er een broedval van kokkels in 1975, 1979, 1987, 1992 en 1997. Wanneer de vestigingsplekken van deze vijf generaties worden vergeleken, blijken de banken systematisch steeds hoger zijn komen te liggen, op wad met een groter slibgehalte en op wad dat verder van de geul ligt. Daarmee is de opgroeiconditie en daarmee de productiviteit van de kokkels duidelijk verslechterd.

Bodemdieren en wadvogels bereiken de hoogste dichtheden op platen die op NAP liggen en op gemengd wad. Meer dan 20 jaar geleden vond kokkelbevissing plaats op wad dat niet tot het biologisch rijkste deel van de Waddenzee kon worden gerekend: daarvoor was het beviste wad te slibarm en lag het te laag. De kokkelvisserij is de afgelopen twee decennia zodanig opgeschoven naar hoger en slikrijker wad, dat nu wel het voedselrijkste en vogelrijkste deel van de Waddenzee wordt bevestigd (par. 9.1-9.4).

10.4 Effect van mechanische bevissing op het slibgehalte

Het korte termijn effect van mechanische kokkelbevissing werd op een plek onder oost-Ameland onderzocht. Enkele weken na de bevissing was het grootste deel van het slib in de bovenste 7 cm van de bodem verdwenen, maar na een jaar was het slibgehalte weer enigszins hersteld en na twee jaar was het slibgehalte er zelfs iets hoger dan op de controleplek, een niet beviste, naburige kokkelbank (par. 3.5). Het laatste effect kon echter worden verklaard met slibvangst door recent gevestigde mossels.

Het midden-lange termijn kon worden bestudeerd voor de monitoringsplekken op het Groninger wad. Een half jaar na de bevissing was in 6 van de 8 gevallen het slibgehalte afgenomen (par. 3.6).

Het lange termijn werd onderzocht door het slibgehalte van de recente monsters te vergelijken met de slibgehalten ter plaatse uit de jaren 50 en voor alle monsters na te gaan of er in drie jaar voorafgaand aan de recente monsterring het slibgehalte was veranderd (par. 8.1). Op plekken waar gevestigd was geweest, had de bodem een hoger slibgehalte dan 40 jaar geleden. Hieruit volgt niet dat kokkelvisserij een toename van het slibgehalte veroorzaakt. Een

verdere analyse liet zien dat kokkels (en dus ook beviste gebieden) voorkomen waar de bodem in vergelijking met het verleden slibrijker is geworden.

Het lange termijn effect van kokkelbevissing op de bodemgesteldheid kon ook worden nagegaan door de verandering in bodemgesteldheid in het gebied dat sinds 1992 gesloten is voor de visserij te vergelijken met het opengestelde gebied (par. 8.3). Het open gebied was slibarmer geworden, het gesloten gebied niet.

Behalve kokkelvisserij zijn er meer factoren aan te wijzen die effect hebben gehad op locale veranderingen in het slibgehalte. Zo heeft er veel opslibbing plaats gevonden langs de Friese kust (mogelijk veroorzaakt door de landaanwinning) en de westelijke Waddenzee is (mogelijk nog steeds als gevolg van de aanleg van de Afsluitdijk) zandiger geworden. Die effecten zijn niet goed te kwantificeren. Om het lange-termijn effect van kokkelvisserij te onderzoeken, waarbij toch rekening wordt gehouden met de andere, locale effecten, is de Waddenzee verdeeld in deelgebieden en binnen de deelgebieden geanalyseerd of het verschil maakt of het wad is gesloten voor kokkelvisserij of niet (par. 8.4). Ook uit deze analyse komt naar voren dat het open gebied relatief slibarm is geworden in vergelijking met het gesloten gebied. Enkele open en gesloten deelgebieden die voor de rest min of meer vergelijkbaar zijn, bleken echter niet te verschillen.

Het lange termijn effect van kokkelbevissing kon verder worden onderzocht door de verandering in het slibgehalte te onderzoeken voor de gebieden die als kokkelbanken zijn ingetekend en dus voor een groot deel zijn bevestigd (par. 8.5 en 8.6). De bodemgesteldheid is hetzelfde gebleven op de plekken die niet als kokkelbank zijn ingetekend. De juist geconstateerde "ontslibbing" van het open gebied is toe te schrijven aan de afname van het slibgehalte op de gebieden die als kokkelbanken zijn ingetekend. Op langere termijn verdwijnen in het open gebied kokkelbanken waar het slibgehalte is gedaald. Waar kokkelbanken in het gesloten gebied vanouds voorkomen is het wad daarentegen slikrijker geworden.

Eindconclusie: Op basis van de verzamelde gegevens wordt geconcludeerd dat mechanische kokkelbevissing, zowel op korte, midden-lange als lange termijn, leidt tot een slibarmere wadbodem. Het effect is echter gemaskeerd doordat de kokkelvisserij de laatste 10 jaar vooral plaats vond in gebieden die slibrijker zijn geworden.

10.5 Aanbevelingen voor verder onderzoek

1. Ten behoeve van dit rapport zijn grote aantallen bodemonsters en andere gegevens gedigitaliseerd. Het verdient aanbeveling de aangemaakte data-bestanden zodanig te bewerken dat ze toegankelijk zijn voor een ieder die geïnteresseerd is. De toegankelijk gemaakte bestanden dienen daartoe op CD en/of het internet te worden plaatsen¹.
2. Het verdient aanbeveling de nu gedigitaliseerde kokkelbankkaarten nog eens uitvoerig te bestuderen en deze door de vissers gemaakte kaarten te vergelijken met de kaarten die de visserijkundige ambtenaren in het verleden hebben gemaakt.

¹ Deze aanbeveling kan inmiddels vervallen. Aan het rapport is een CD toegevoegd.

-
3. Het is de moeite waard om in dit verslag samengevatte abiotische factoren te koppelen aan de door het RIVO sinds 1990 gemeten kokkeldichtheden per jaarklasse.
 4. Het is duidelijk dat de kokkelbanken de afgelopen 20 jaar verder van de geul zijn komen liggen en ook hoger op de wadplaten. Deze verandering kon in detail worden beschreven. Het is echter nog steeds niet duidelijk waarom de broedval van kokkels hoger op de platen plaatsvindt. Piersma & Koolhaas (1997) en Piersma *et al.* (2001) noemen een aantal mogelijke oorzaken, zoals de door de visserij veroorzaakte selectiedruk op de kokkels om zich hoger op de platen te vestigen: ze groeien daar wel slechter, maar worden wel ouder en kunnen dus veel nakomelingen produceren zo dat 'lifetime success' toch hoger is dan laag op de platen. De hypothese dat zand-kokkels zijn vervangen door slik-kokkels verdient nader onderzoek.
 5. Het meten van de verandering in de bodemgesteldheid bleek ernstig te worden gehinderd door het feit dat de bodemgesteldheid in de bovenste 25 cm van het wad niet volledig homogeen is. Het is de moeite waard om de verandering in de bodemgesteldheid voor verschillende dieptes apart te volgen, zeker in gebieden waar bevissing plaats vindt.
 6. Het verdient aanbeveling om de absolute "bodemdaling" na bevissing exact te meten in gebieden met een verschillend slibgehalte, b.v. met de eenvoudige en door de Vlas (ongepubliceerd) reeds beproefde "waterslang-methode".
 7. De vraag of de Waddenzee slibrijker is geworden of niet, kon niet met zekerheid worden beantwoord. Dat had niets te maken met een gebrek aan gegevens, maar alles met het gebruik van verschillende methodes en analysetechnieken. Bij voortgezet onderzoek, moet daarom zoveel mogelijk worden aangesloten bij gebruikte methoden:
 - a. De tweejaarlijks metingen van het slibgehalte op de monitoringsplekken dient te worden voortgezet. Het verdient aanbeveling daarbij de lang gebruikte methode (graviometrisch bepaald slibgehalte) niet in te wisselen voor een andere analyse-techniek (laser particle size analyser).
 - b. Het verdient aanbeveling om het slibgehalte regelmatig te meten in gebieden waar in het verleden het slibgehalte jarenlang is gemeten.
 - c. De uitgevoerde, globale analyse van het effect van mosselbanken op de bodemgesteldheid liet zien dat mossels een zeer groot effect hebben op de locale slibhuishouding. Hoewel Oost (1995) al tot dezelfde conclusie komt, is het effect zo groot dat een uitgebreid onderzoek naar de aanwezigheid van mosselbanken op de bodemgesteldheid in de Waddenzee meer dan de moeite waard is.

11 Literatuur

Baggerman, B. 1953.

Spatfall and transport of *Cardium edule*. Arch. Néerl. Zool. 10: 315-342.

Beukema, J.J. 1976.

Biomass and species richness of the macrobenthic animals living on the tidal flats of the Dutch Wadden Sea. Neth. J. Sea Res. 10: 236-261.

Beukema, J.J. 1982.

Annual variation in reproductive success and biomass of the major macrozoobenthic species living in a tidal flat area of the Wadden Sea. Neth. J. Sea Res. 16: 36-45.

Beukema, J.J. 1989.

Bias in estimates of maximum life span, with an example of the edible cockle, *Cerastoderma edule*. Neth. J. Sea Res. 39: 79-85.

Blomert, A.-M. 2002.

De samenhang tussen bodemgesteldheid, droogligtijd en foergaerdichtheid van vogels binnen de intergetijdenzone. A&W-rapport 330. Altenburg & Wymenga, Veenwouden.

Boschieter, JR, 1981.

Inventarisatie van ecologisch kwetsbare gebieden langs de Nederlandse kust. Deelproject II: vissen en benthos. Rapport NZ-R-81.33 Directie Noordzee, Rijkswaterstaat, Den Haag.

Brinkman, A.G., N. Dankers & M. van Stralen 2002.

An analysis of mussel bed habitats in the Dutch Wadden Sea. Helgol. Mar. Res. 56: 59-75.

Buurman, P., Th. Pape, J.A. Reijneveld, F. de Jong & E. van Gelder 2001.

Laser-diffraction and pipette-method grain sizing of Dutch sediments: correlations for fine fractions of marine, fluvial and loess samples. Geol. Mijnbouw 80: 49-57.

Cadée, G.C. 1976.

Sediment reworking by *Arenicola marina* on the tidal flats in the Dutch Wadden Sea. Neth. J. Sea Res. 10: 440-460.

Dankers, N. & J.J. Beukema 1984.

Distributional patterns of macrozoobenthic species in relation to some environmental factors. In: W.J. Wolff (ed). Ecology of the Wadden Sea. Vol. 1, part 4: 69-103. Balkema, Rotterdam.

Dapper, R & H.W. van der Veer 1981.

Onderzoek naar de ruimtelijke variatie van de bodemgesteldheid op het Balgzand. NIOZ – Intern verslag 1981-9.

Duiker, J.M.C., E. Nomden & A. Smaal

De invloed van mechanische schelpdiervisserij op de sedimenthuishouding van de waddenzee. Instituut voor marien en atmosferisch onderzoek, Utrecht

Dijkema, K., A. Nicolai, J. de Vlas, C. Smit, H. Jongerius & H. Nauta. 2001.

Van landaanwinning naar kwelderwerken. Rapport RWS

Ente, P.J. 1982.

Verwerkingsmethoden van granulometrische analyse-methode en hun toetsing aan V.N.L. monsters van de Nederlandse wadden. Werkdocument RIJP 1982-69, Lelystad.

Essink, K. 1978.

The effects of pollution by organic waste on macrofauna in the eastern Dutch Wadden Sea. NIOZ publication Series 1: 1-135.

Glopper R.J. de 1967.

Over de bodemgesteldheid van het waddengebied. Van Land tot Zee 43. Uitgeversmaatschappij Tjeenk Willink.

Hartog, G. den & G. Spronk 1997.

Deeltjesgrootte bepaling met voorbehandeling (RIKZ-methode) en zonder voorbehandeling (McLaren-methode). RIKZ-werkdocument 97.0807, Middelburg

Hofstee, J. 1980.

Toelichting op de analysemethoden voor grond, organisch materiaal, water en bodemvocht. Rapport Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.

Hoekstra, H., H.J. Winkels en J.B.M. Gerritsen 1998.

De bodemopbouw van de buitendijkse gronden langs de noordkust van Friesland en Groningen. Flevobericht 414. RWS-Directie IJsselmeergebied, Lelystad.

Jansen, J.H.F. 2002.

Effecten van schelpdiervisserij op het sediment van de Nederlandse Waddenzee: een beoordeling van twee recente rapporten. Ongepubliceerd NIOZ-rapport.

Jonge, V.N., K. Essink & R. Boddeke 1993.

The Dutch Wadden Sea: a changed ecosystem. Hydrobiologia 265: 45-71.

Kam, J.van de, B.J. Ens, T. Piersma & L. Zwarts 1999.

De ecologische atlas van de Nederlandse wadvogels. Schuyt & Co, Haarlem.

Kamermans, P., E. Schuiling, D. Baars & M. van Riet 2003a.

Deelproject A1. Visserij-inspanning. RIVO-rapport.

Kamermans, P., J. Kesteloo & D. Baars 2003b.

Deelproject H2. Evaluatie van de geschatte omvang en ligging van kokkelbestanden in de Waddenzee, Ooster- en Westerschelde. RIVO-rapport.

Kamps, L.F. 1963.

Mud distribution and land reclamation in the eastern Wadden shallows. Rijkswaterstaat communications 4, International Institute for land reclamation and improvement publ. 9. Veenman & zonen, Wageningen.

Kersten, M. (2002).

Effecten van sedimentatie en erosie op de hoogteligging van het wad onder Oost-Ameland. Intern rapport van Natuurcentrum Ameland, in opdracht van de NAM.

Kleef, H.L. 1991.

Het macrozoöbenthos van de Hond-Paap in het Eems-Dollard estuarium in 1988. RWS-DGW. Nota GWA0-91-061.

Konert, M. & J Vandenbergh 1997.

Comparison of laser grain size analysis with pipette and sieve analysis: a solution for the underestimation of the clay content. *Sedimentology* 44: 523-535.

Koning, J.C de & A.J. Wiggers 1964.

Over de bodemgesteldheid van de oostelijke wadden. Rapport Directie van de Wieringermeer, Kampen.

Kreger, D.

On the ecology of *Cardium edule* L. *Arch. Néerl. Zool.* 4: 11-200.

Kristensen, J. 1957.

Differences in density and growth in a cockle population in the Dutch Wadden Sea. *Arch. Néerl. Zool.* 12: 351-453.

Nomden, E., M. Duiker, J.H. van den Berg & A.C. Smaal.

Effecten van kokkelvisserij op sediment en bodemleven. RIVO-rapport C034/99.

Oost, A.P. 1995.

Dynamics and sedimentary development of the Dutch Wadden Sea with emphasis of the Frisian inlet. A study of the barrier islands, ebb-tidal deltas, inlets and drainage basins. Mededelingen van de Faculteit Aardwetenschappen Universiteit Utrecht. *Geologica ultraiectina* No. 126.

Postma, H. 1954.

Hydrography of the Dutch Wadden Sea. *Arch. Néerl. Zool.* 10: 405-511.

Postma, H. 1961.

Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 1: 148-190.

Piersma, T. & A. Koolhaas 1997.

Shorebirds, shellfish(eries) and sediments around Griend, western Wadden Sea, 1988-1996. NIOZ-rapport 1997-7, Texel.

Piersma, T. A. Koolhaas, A. Dekinga, J.J. Beukema, R. Dekker, K. Essink 2001.

Long-term indirect effect of mechanical cockle-dredging on intertidal bivalve stocks in the Wadden Sea. *J. appl. Ecol.* 38: 976-990.

Rakhorst, H.D. 2003.

Verandering in het tijverschil rond de Waddenzee. Rijkswaterstaat Notitie NH-ANV-2003-07.

Runte, K.H. 1989.

Methodische Verfahren zur Quantifizierung von Umlagerungen in intertidalen Sedimenten. *Meyniana* 41: 153-165.

Straaten, L.M.J.U van & Ph.H. Kuenen 1957.

Accumulation of fine-grained sediment in the Dutch Wadden Sea. *Geol. Mijnbouw* 19: 329-354.

Stralen, M.R. & J. Kesteloo-Hendrikse 1998.

De ontwikkeling van het kokkelbestand in de Waddenzee (1971-1997) en in de Oosterschelde (1980-1997). RIVO-DLO Rapport c.005-98, Yerseke/IJmuiden..

Veenstra, K. 1969.

De bodemkartering en het grondonderzoek in de kuststrook gedurende de jaren 1955 t/m. 1955 t/m 1965. *Flevobericht* 63, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolder, Lelystad.

Verwey, J. 1952.

On the ecology of distribution of cockle and mussel in the Dutch Waddensea, their role in sedimentation and the source of their food. *Arch. Néerl. Zool.* 10: 171-239.

de Vlas, J. 1982.

De effecten van kokkelvisserij op de bodemfauna van waddenzee en Oosterschelde. RIN-rapport 82/19, Texel.

Wanink, J.H & L. Zwarts 1993.

Environmental effects on the growth-rate of intertidal invertebrates and some implications for foraging waders. *Neth. J. Sea Res.* 31: 407-418.

Wiggers, A.J. 1951.

De bodemgesteldheid van het westelijke waddengebied. Rapport Directie van de Wieringermeer, Kampen.

Wiggers, A.J. 1953.

Voorlopig rapport over de bodemgesteldheid van de Dollard. Rapport Directie van de Wieringermeer, Kampen.

Zwarts, L. 1988.

De bodemfauna van de Fries-Groningse Waddenkust. *Flevobericht* 294, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolder, Lelystad.

Appendix 1: Ingetekende en beviste kokkelbanken

De appendix geeft de ingetekende en beviste kokkelbanken in 1976 en voor de periode 1980-2002.

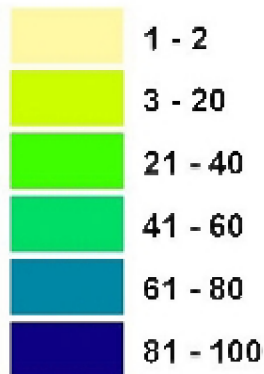
De ingetekende kokkelbanken. Deze zijn aangegeven met rode omlijnen. Geen gegevens waren beschikbaar voor 1992. De 1976 kaart is gebaseerd op Bosschiet (1981). De overige kaarten zijn gebaseerd op jaarlijkse veldsurveys die de kokkelvisserij maakten in de loop van de zomer. Verdere toelichting in par. 7.1.

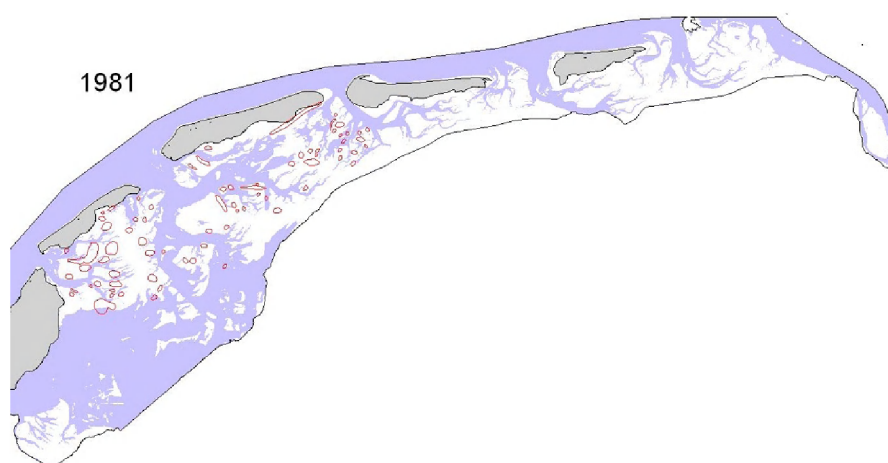
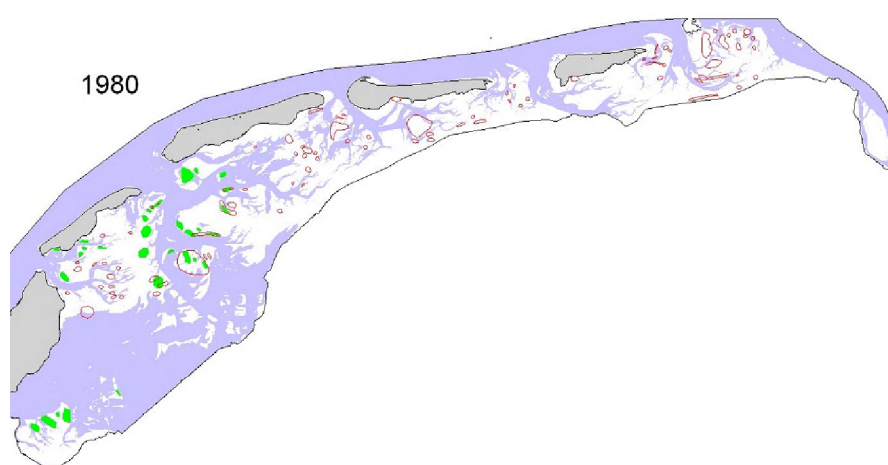
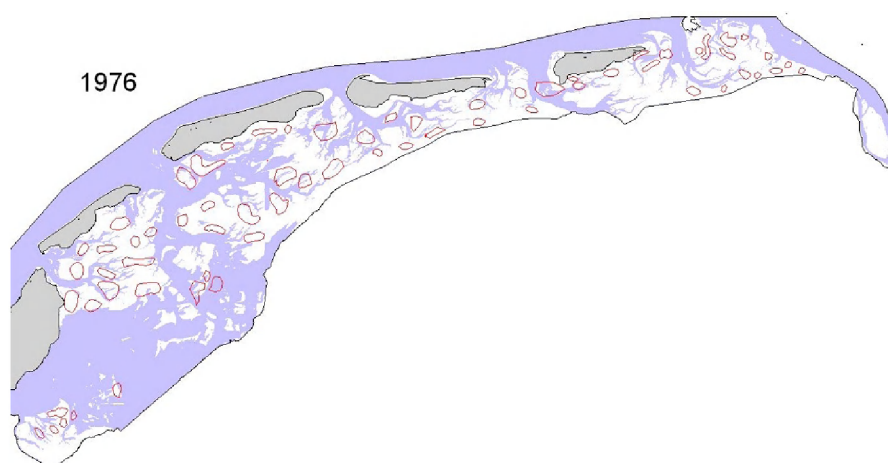
De beviste kokkelbanken. Deze zijn voor 1992-2001 gebaseerd op de GPS-metingen (Kamermans *et al.* 2003a). De jaarlijkse bevissingsintensiteit is weergegeven met een verloop van geel, via groen naar blauw. De beviste gebieden in 1980 zijn als groene vlakken ingetekend (gebaseerd op de Vlas 1982).

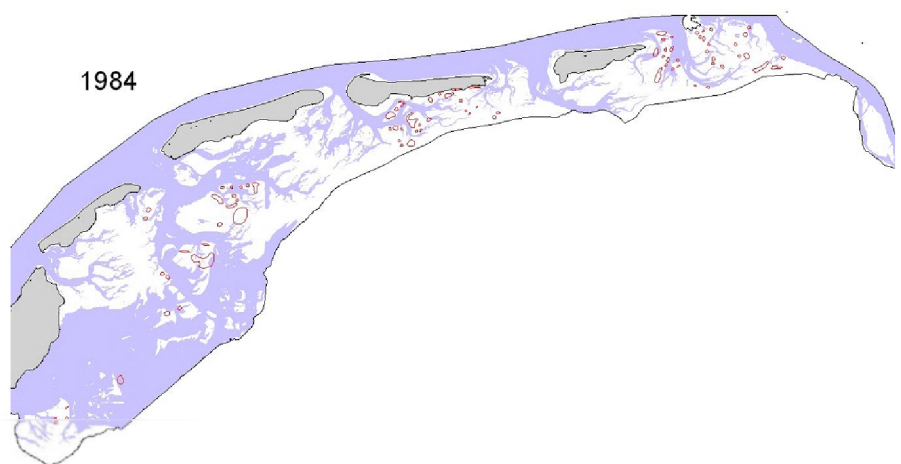
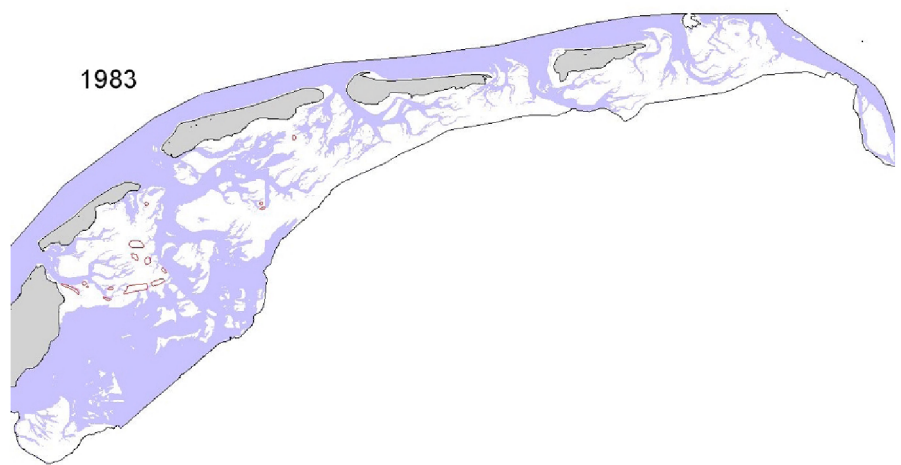
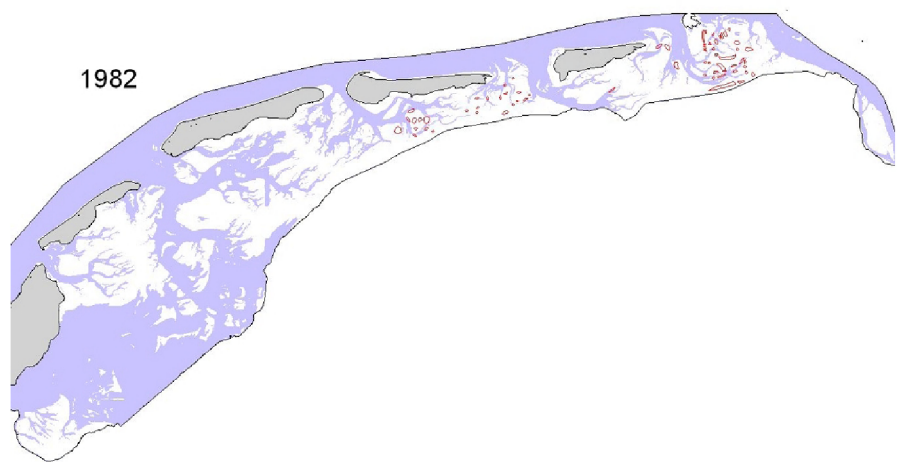
De gesloten gebieden. De gebieden die jaarlijks gesloten waren voor de kokkelvisserij zijn roze aangegeven (gebaseerd op van Stralen & Kesteloo-Hendrikse 1998). Sinds 1992 zijn dezelfde zes gebieden beschermd, maar tussen 1988 en 1991 heeft dat gevarieerd. Geheel geen bevissing was er in de Nederlandse Waddenzee in 1991 en 1996 en in 1997 niet boven de laagwaterlijn. Sinds 1999 zijn een aantal extra gebieden beschermd, te weten het wad onder Vlieland, Ameland en Schiermonnikoog.

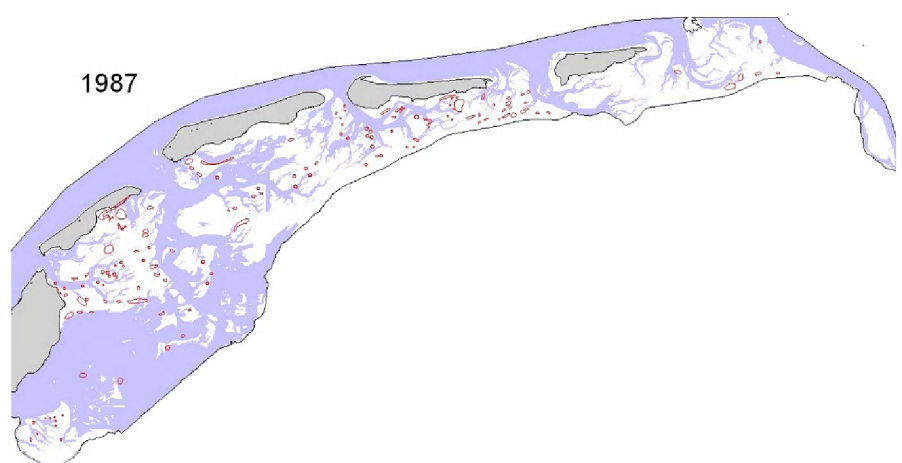
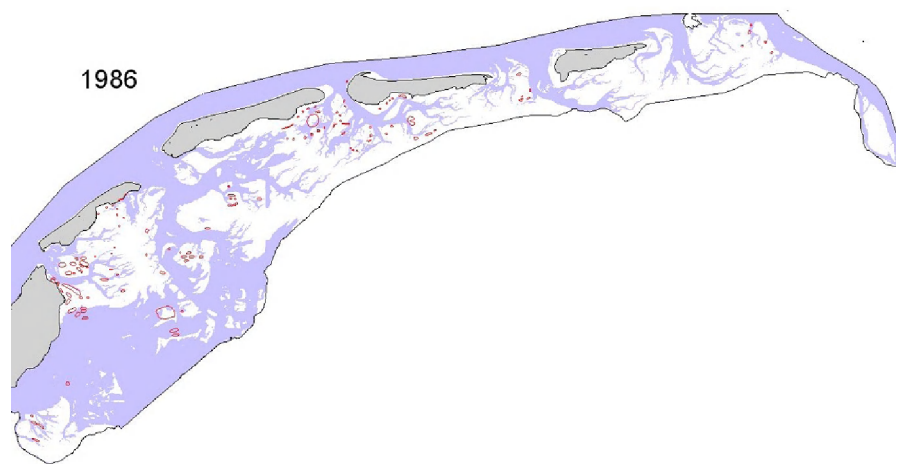
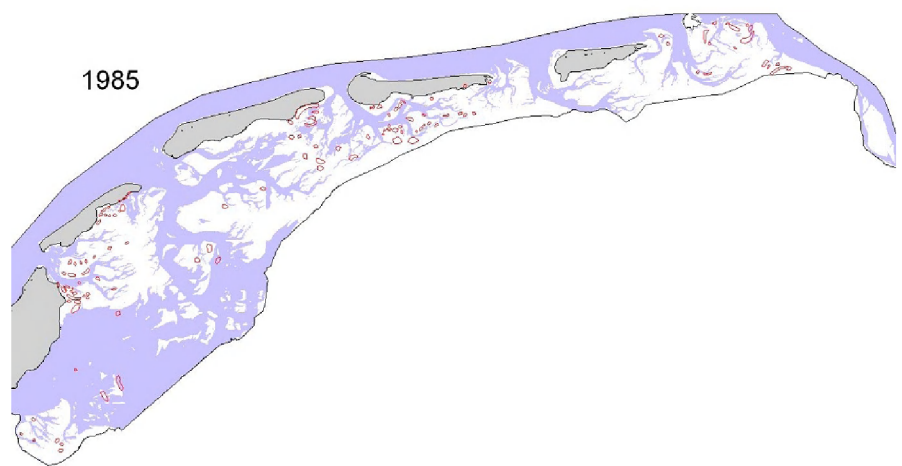
De legenda bij de kaarten zijn hieronder weergegeven:

bevissingsintensiteit

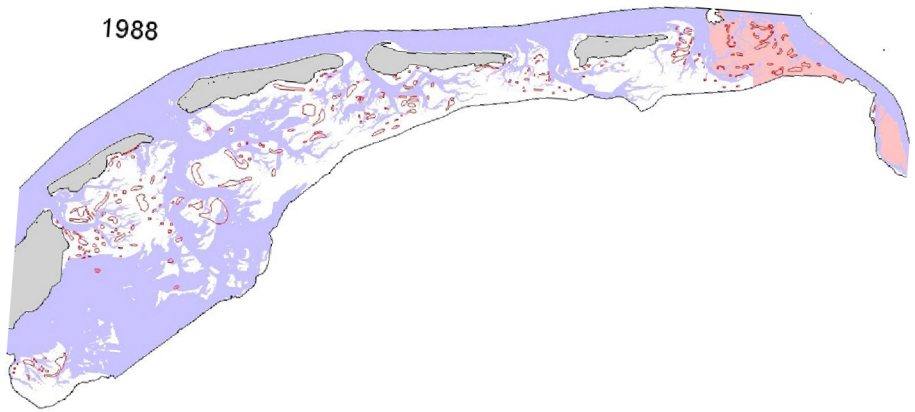




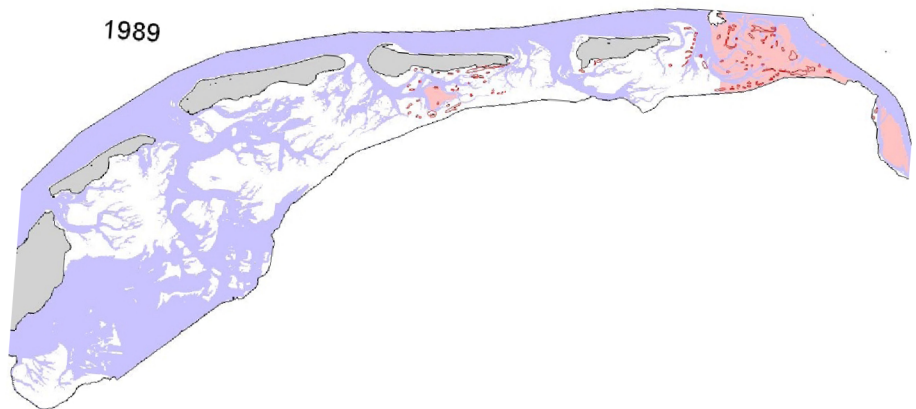




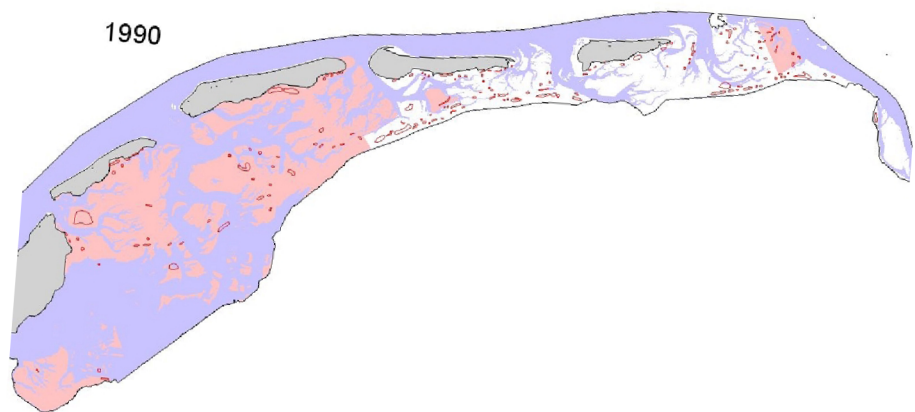
1988



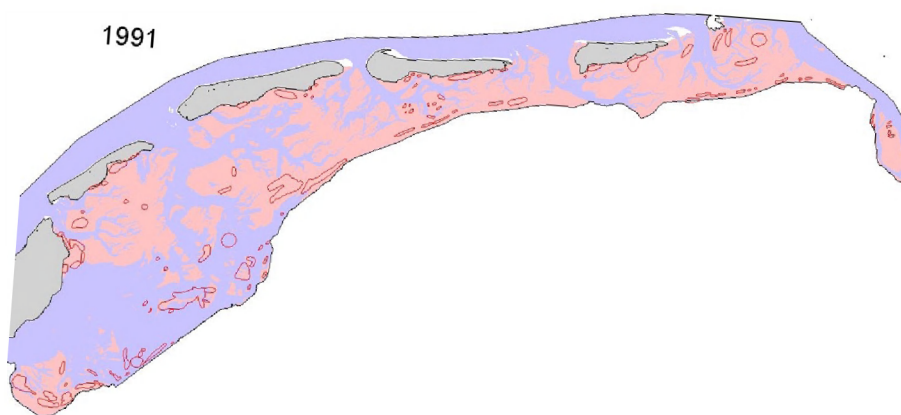
1989



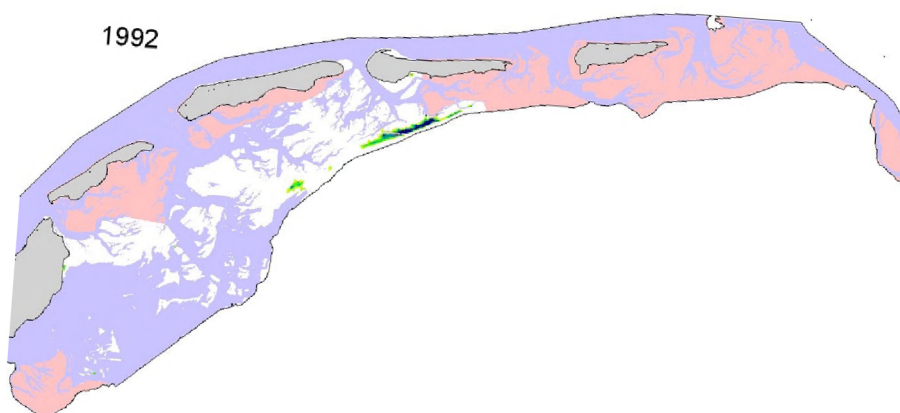
1990



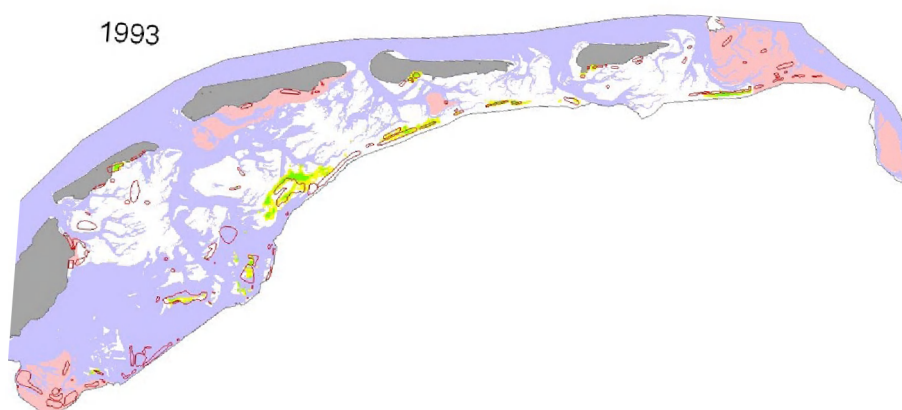
1991

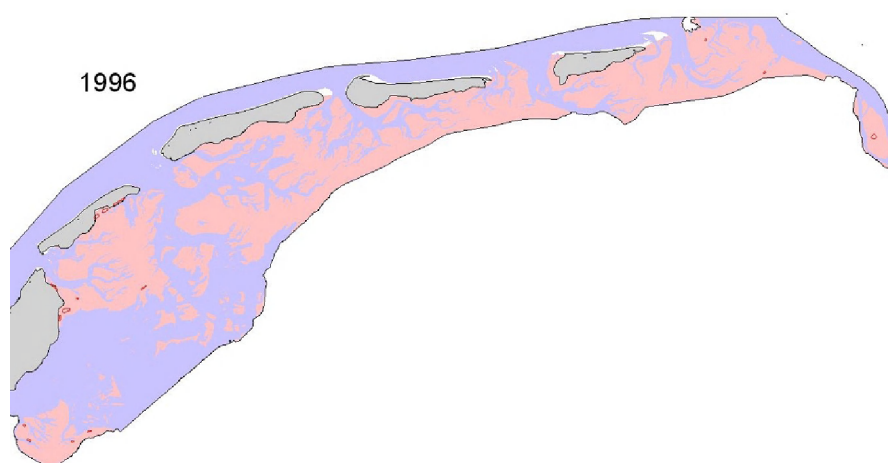
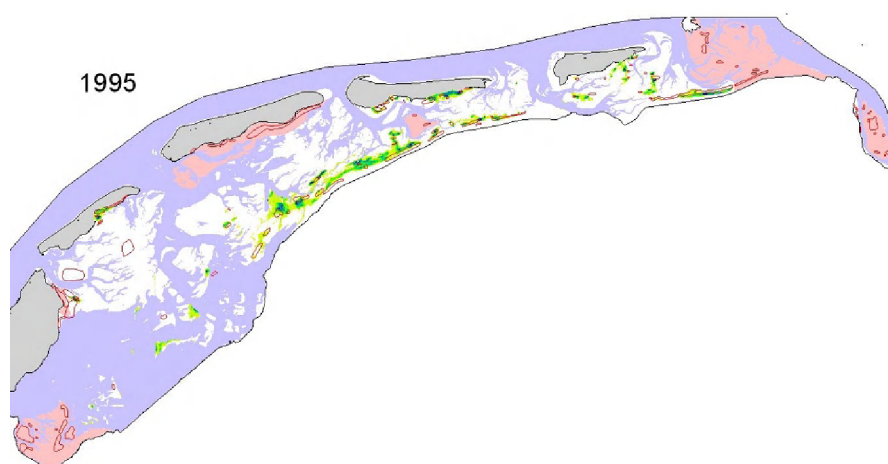
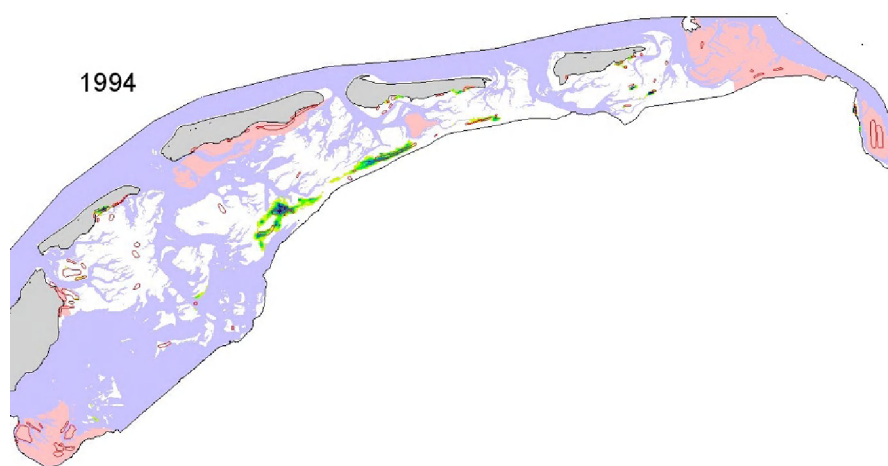


1992

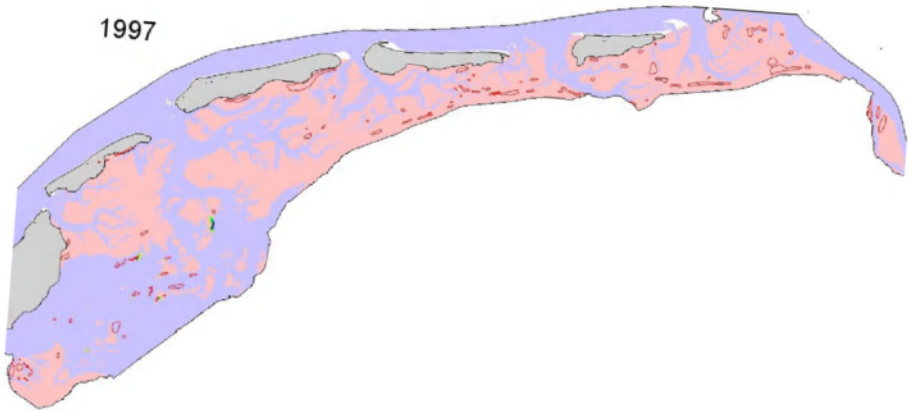


1993

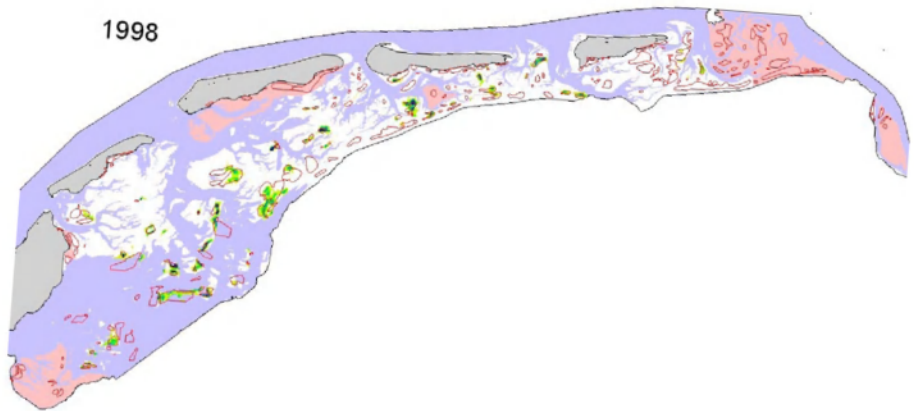




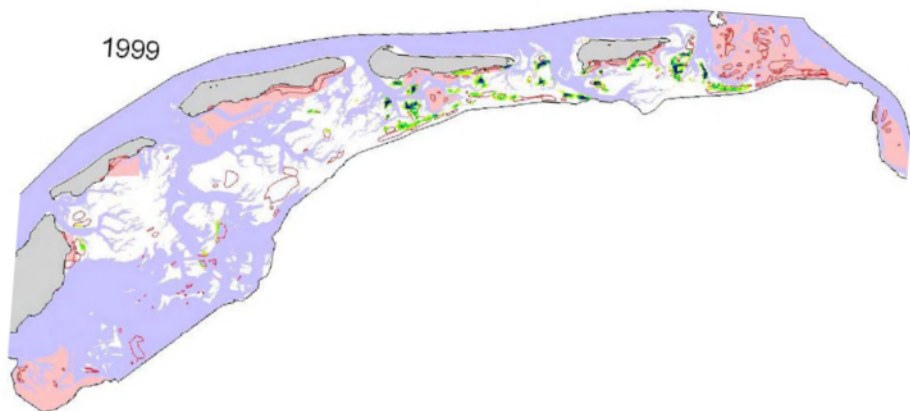
1997

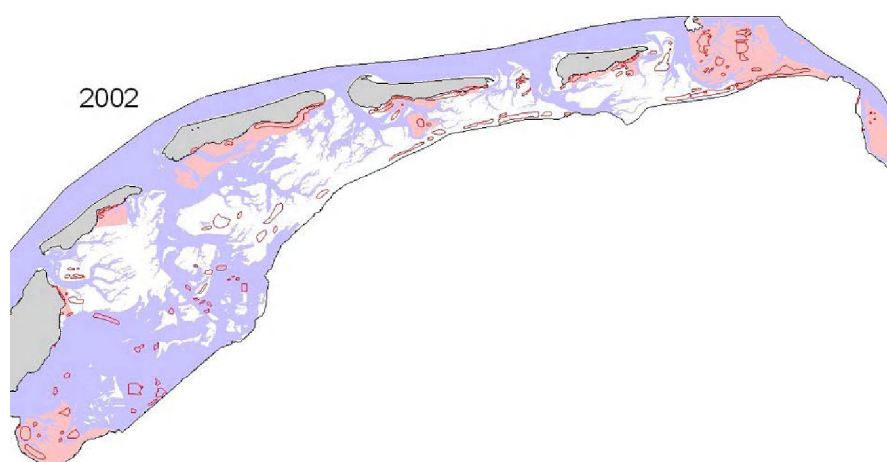
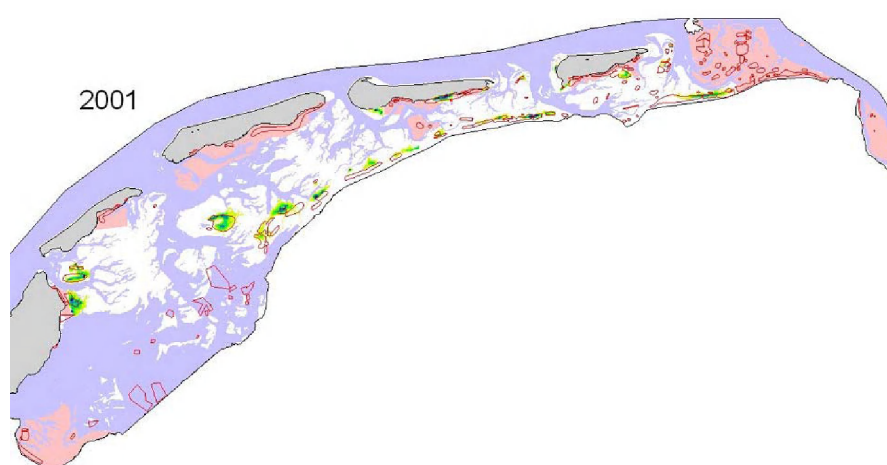
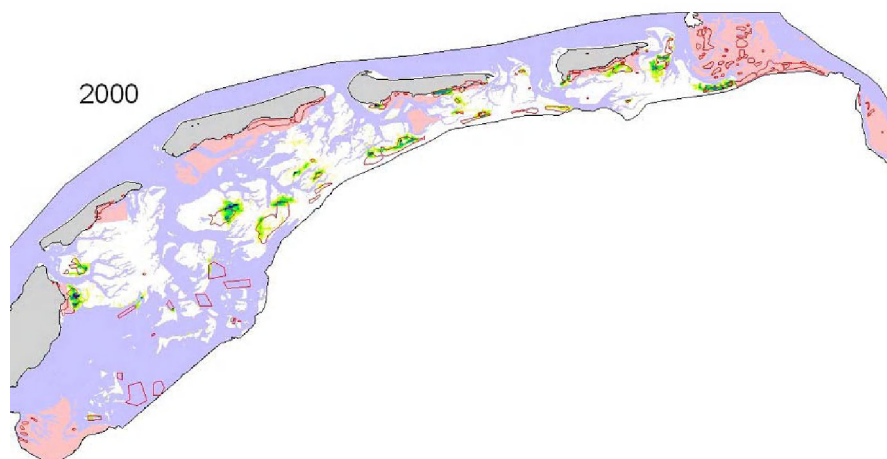


1998



1999





Appendix 2: Het oordeel van de auditcommissie

EVALUATIE VAN DEELRAPPORT G 'BODEMGESTELDHEID EN MECHANISCHE KOKKELVISSERIJ IN DE WADDENZEE'

door L. Zwarts

Deelrapport G 'Bodemgesteldheid en mechanische kokkelvisserij in de Waddenzee' van het EVA II project behandelt de vraag of "mechanische kokkelvisserij ook op langere termijn leidt tot een afname van het slibgehalte van de wadbodem." Het rapport vormt de weerslag van een gedegen en zeer uitvoerige analyse van zeer grote aantallen bodemonsters die in de loop der jaren in de Waddenzee zijn genomen. Het rapport is zeer overzichtelijk geschreven en legt nauwgezet wetenschappelijke verantwoording af van de gemaakte keuzen. Een eerdere versie van het rapport is voor een statistische beoordeling voorgelegd aan Dr. J. van der Meer (Koninklijk NIOZ) en Dr. G.J. Weltje (NITG-TNO). Het oordeel van deze twee specialisten, het commentaar daarop van de auteur van het rapport en een herschreven versie van het rapport zijn aan de auditcommissie voorgelegd. Later ontving de commissie van de stuurgroep nog het verzoek speciaal aandacht te schenken aan de zorgvuldigheid van het gebruik van visserskaarten uit de jaren tachtig en aan de indeling in deelgebieden (voor de paarsgewijze vergelijking) in de extra analyse van de verschillen in sediment tussen open en gesloten gebieden. Ter toelichting was een commentaar van het Productschap Vis bijgevoegd dat met name op deze twee punten inging. De commissie heeft naar aanleiding van het een en ander het volgende commentaar.

In de eerste plaats wil de commissie zijn grote waardering uitspreken voor de omvangrijke hoeveelheid werk die is verzet en voor de zorgvuldige rapportage van het deelproject. De opmerkingen hierna doen daar weinig aan af.

Zoals hierboven reeds aangehaald behandelt deze rapportage de vraag of "mechanische kokkelvisserij ook op langere termijn leidt tot een afname van het slibgehalte van de wadbodem." (paragraaf 1.1). Deze vraagstelling impliceert dat er van wordt uitgegaan dat kokkelvisserij op korte termijn, d.w.z. tijdens en onmiddellijk na het vissen, een afname van het slibgehalte van de wadbodem veroorzaakt. De auteur zelf geeft hiervoor een aannemelijke argumentatie (paragraaf 1.1) maar daadwerkelijke observatie van dit verschijnsel lijkt alleen door Piersma & Koolhaas (1997; zie ook Piersma et al. (2001)) te zijn gedaan, d.w.z. in één gebied rondom Griend (zie ook paragraaf 3.5). Maar aannemende dat de waarnemingen van Piersma en medewerkers bredere geldigheid hebben, houdt de vraagstelling van dit onderzoek een studie in van de processen die op langere termijn het slibgehalte van de wadbodem bepalen. De Waddenzee is een dynamisch gebied en geulen verplaatsen zich in de loop van de tijd. Geografisch identieke monsterlocaties kunnen dus in de loop van de tijd anders zijn komen te liggen t.o.v. geulen. Daarbij is de Waddenzee ook een systeem dat in ontwikkeling is als gevolg van natuurlijke processen en zeker ook als gevolg van menselijke ingrepen, zoals de aanleg van de Afsluitdijk in de jaren '30 waarvan de effecten nog steeds najlen. Evenzeer draagt de storting in de Noordzee van baggerspecie uit de haven van

Rotterdam (tenminste sinds 1970) bij aan de aanvoer van slib naar de Waddenzee. Een beschouwing van deze processen wordt in het rapport gemist; enkele observaties in hoofdstuk 2 geven niet meer dan een aanzet. Overige vragen die zich op diverse plaatsen in het rapport aandienen en niet dan wel slechts gedeeltelijk worden beantwoord betreffen 1) de basis waarop indertijd een keuze voor de te sluiten gebieden is gemaakt en 2) de invloed die kokkelbanken hebben op het slibgehalte in de bodem. M.b.t. 1) Was de keuze van de gesloten gebieden aselekt? Zoniet, verklaren de gemaakte keuzen eventuele verschillen in de latere ontwikkeling? M.b.t. 2) Her en der in het rapport krijgt de lezer de indruk dat kokkels volgend zijn en hogere slibgehalten prefereren en wordt voorbij gegaan aan het feit dat kokkels zelf actief bijdragen aan de sedimentatie van slib.

In paragraaf 3.5 worden de korte-termijneffecten van een experimentele bevissing van een kokkelbank bij Ameland besproken. Hierop is door Dr. J. van der Meer in zijn statistische beoordeling zwaarwegende kritiek geleverd. Naar aanleiding hiervan heeft de auteur de tekst van het rapport verduidelijkt. Niettemin sluit de auditcommissie zich aan bij de kritiek van Van der Meer; de opgevoerde 12 onderzochte veldjes moeten worden gezien als pseudo-replicatie. De aan het eind van deze paragraaf getrokken conclusie is dus niet bewezen (dit geldt overigens ook voor de hierboven aangehaalde conclusie van Piersma en medewerkers).

Paragraaf 3.6 onderzoekt de effecten van kokkelvisserij op een termijn van ongeveer een half jaar. Ook hierop is door Dr. J. van der Meer kritiek geleverd. Naar aanleiding hiervan heeft de auteur de tekst iets bijgesteld en geschreven dat zijn benadering gebaseerd op het volgen van een monitoringgebied aan de Groninger kust gedurende 9 jaar leidt tot de conclusie "dat de afname van het slibgehalte na bevissing nauwelijks (moet volgens auditcommissie zijn "niet") afwijkt van toeval". De auteur gaat echter voorbij aan de kritiek van Van der Meer dat toe- en afname van de slibgehalten in de vijf onderzochte monitoringgebieden zonder kokkelvisserij niet geheel onafhankelijk van elkaar zullen voorkomen. Daarom is ook zijn conclusie gebaseerd op de drie visjaren (slibgehalte neemt significant af bij bevissing) niet juist. Van der Meer meldt dat een door hem uitgevoerde permutatietest leidde tot een niet-significante uitkomst; helaas geeft het rapport daarover geen nadere informatie. Hoewel de conclusie van de auteur op zich een logische is, concludeert de auditcommissie dat de aan het einde van deze paragraaf getrokken conclusie onvoldoende wordt hard gemaakt. Overigens zijn in de tekst daarboven de woorden "toename" en "afname" een keer verwisseld.

Paragraaf 5.8: de aan het einde van deze paragraaf geformuleerde conclusie is verwarrend geformuleerd. De eerste zin stemt niet overeen met de conclusie de de lezer trekt aan het einde van deze tekst. Kennelijk moet de conclusie zijn dat niet is aangetoond dat de Waddenzee als geheel de laatste 40 jaar slibrijker is geworden, afgezien van de gebieden in de buurt van stabiele mosselbanken.

De auditcommissie heeft geen opmerkingen over hoofdstuk 7. Hiermee is de hierboven gestelde vraag over de visserskaarten uit de jaren 80 beantwoord.

Hoofdstuk 8: Dr. J. van der Meer stelt in zijn statistische beoordeling dat de benaderingen in de paragrafen 8.2, 8.3 en 8.5 mank gaan aan het feit dat de analyse is gebaseerd op de afzonderlijke bodemonsters waarvan vrijwel zeker is dat die niet onafhankelijk van elkaar variëren. Hierdoor zijn de uitspraken over significantie van de geconstateerde effecten niet hard. De auditcommissie onderschrijft deze constatering waarbij wordt aangetekend dat het bezwaar

vooral de significantie van de uitkomsten betreft; de richting van de uitkomsten zal over het algemeen wel juist zijn.

In paragraaf 8.2 worden beviste en onbeviste gebieden binnen het voor de visserij opengestelde gebied vergeleken. De uiteindelijk getrokken conclusie dat kokkelvisserij het laatste decennium vooral plaats vindt in gebieden die de afgelopen 40 jaar slibrijker zijn geworden, is niet hard in die zin dat niet kan worden aangegeven hoe significant deze uitkomst is (d.w.z. in hoeverre deze uitkomst afwijkt van "geen verschil"). Het lijkt echter onwaarschijnlijk dat een verbeterde analyse zou opleveren dat de kokkelvisserij nu plaatsvindt in gebieden die slibarmer zijn geworden.

Paragraaf 8.3 en 8.4 vergelijken de open en gesloten gebieden. Opnieuw zijn conclusies over de significantie van de uitkomsten niet hard, ook niet na de aanpassingen die de auteur heeft doorgevoerd na de kritiek van Van der Meer., Eén en ander laat onverlet dat de richting waarin de conclusies wijzen een logische lijkt. Omwoeling van de bodem bij het vissen naar kokkels geeft op korte termijn een verarming aan slib en op de iets langere termijn maakt het verwijderen van kokkels dat minder slib door filterfeeding wordt vastgelegd. Met betrekking tot de vergelijking van het oostelijke en het westelijke gebied verdienen de ontwikkelingen als gevolg van natuurlijke processen en menselijk ingrijpen aandacht: opslibbing is een proces dat van nature voorkomt in gebieden zoals de Waddenzee. Na de aanleg van de Afsluitdijk lijkt de westelijke Waddenzee nog steeds in een proces van ontwikkeling/aanpassing zoals ondermeer blijkt uit het voortdurend dieper worden van het Marsdiep in de laatste 70 jaar. De toenemende stroomsnelheden die daarmee gepaard gaan verklaren wellicht (een deel van) het slibarmer worden van de westelijke Waddenzee (8.4).

Paragraaf 10.2: De conclusie dat de Waddenzee niet slibrijker is geworden is mede afhankelijk van de juistheid van de correctie van de RIJP-monsters!

Paragraaf 10.4: De auditcommissie meent dat de eindconclusie op basis van het huidige rapport moet luiden: **"De verzamelde gegevens suggereren dat mechanische kokkelbevissing, zowel op korte, midden-lange als lange termijn, leidt tot een slibarmere wadbodem. Het effect is echter gemaskeerd doordat de kokkelvisserij de laatste 10 jaar vooral plaats vindt in gebieden die slibrijker zijn geworden. De statistische analyse staat niet toe om genoemde uitspraken met meer dan 95% zekerheid te doen. Het is nauwelijks te verwachten dat meer analyses van de bestaande gegevens en/of meer statistische bewerkingen het beeld ingrijpend zullen veranderen."**

De commissie herhaalt zijn bovenstaande uitspraak dat het rapport de weerslag is van een gedegen en zeer uitvoerige analyse van zeer grote aantallen bodemonsters die in de loop der jaren in de Waddenzee zijn genomen. De auteur is uitermate kritisch t.a.v. het gebruikte materiaal en ook ten aanzien van zijn eigen conclusies. Hier en daar worden daardoor, naar de mening van de commissie, onnodig twijfels opgeroepen t.a.v. voor de hand liggende conclusies en aannames, zoals boven aan blz 15 ("maar of dit een correcte aanname is"), blz. 25 Conclusie ("althans niet in zoverre"), blz. 41 eind 1^{ste} alinea ("..... zou misschien verdwijnen als"),

De verwerking van de oude bestanden heeft heel wat inspanning gekost en is kritisch gedaan, waarbij de problemen niet zijn weggemoffeld. Hier ligt dan ook een schat aan informatie die voor verder onderzoek kostbaar is. De

auditcommissie ondersteunt daarom van harte de aanbeveling in paragraaf 10.5 om deze gegevens digitaal beschikbaar te maken.

Detailopmerkingen

Paragraaf 2.2: Laatste zin is onvolledig

Paragraaf 2.9: verwezen zou moeten worden naar 2.12

Paragraaf 2.10, tweede alinea: er lijkt iets niet te kloppen met de nummering van de figuren.

Paragraaf 2.10, derde alinea: De formule boven aan pag. 18 is in strijd met de tekst onder aan blz. 17.

Paragraaf 2.10, 5e alinea: verschil 27%; t.o.v boven- of onderlaag?

Paragraaf 2.10, op een na laatste alinea: hoog en laag verwisseld? De eerste zin meldt "slibgehalte in toplaag systematisch lager", verderop blijkt het slibgehalte in de toplaag hoger te zijn.

Paragraaf 2.11: Hier en verderop in het rapport wordt het effect van wind en windkracht op de resuspensie van slib in verband gebracht met de waterhoogte. Echter, vooral de golflengte en de daaraan gekoppelde golfhoogte zijn van belang. NW winden zijn i.h.a. het meest krachtig en leiden daarmee tot de grootste verhogingen van de waterstand. Het in suspensie brengen van slib is evenwel niet het gevolg van de waterstand als zodanig, zoals bij oppervlakkige lezing zou kunnen worden geconcludeerd, maar van de golven die daarmee gepaard gaan. De strijklengte van de wind over het water in de Noordzee is het grootst bij NW wind en als gevolg daarvan worden dan golven met een grote golflengte gevormd. Beroering van de bodem is 1:1 gerelateerd aan de golflengte. Bovendien komt golfaanval vanuit het NW optimaal via de zeegaten de Waddenzee binnen. De conclusie dat de waterstand een doeltreffende maat is, is op zich niet onjuist, maar de directe oorzaak zijn de golven.

Paragraaf 2.11, tweede alinea en figuur 2.14: in welke tijd van het jaar vonden de 53 metingen van Kamps (1963) plaats?

Paragraaf 2.12, eerste alinea: 250 cm hoger dan wat?

Paragraaf 3.1, eerste alinea: De lange-termijnontwikkeling van het slibgehalte op verschillende dicht bij elkaar gelegen stations (meetpunten) kan volgens fig. 3.1. zeer verschillend zijn. Een discussie van deze verschillen in relatie tot hun geografische ligging zal wellicht verhelderend zijn. Het middelen van de waarden op deze stations voor verdere analyse vindt de commissie gewaagd.

Paragraaf 3.2, verwijzing naar fig. 3.3 ontbreekt.

Paragraaf 3.4: hoeveel kaarten zijn er nu voor de hele Waddenzee?

Paragraaf 4.2: het is verwarrend dat r en R^2 worden door elkaar worden gebruikt. Bij "aanzienlijk meer variantie" moet worden opgemerkt dat 0.118 en 0.066 weinig blijven.

Paragraaf 5.4: De tweede zin volgt niet logisch op de eerste.

Paragraaf 5.8: Deze paragraaf zou kunnen beginnen met het kort noemen van de natuurlijke trend van opslibbing welke dit soort systemen kenmerkt.

Paragraaf 5.8, laatste alinea: de conclusie in de 1^{ste} zin wordt min of meer (geheel of gedeeltelijk?) weerlegd in de volgende.

Paragraaf 6.1, eerste en tweede alinea: kan het zetten van stokken (betonijzers) op zichzelf de erosie niet bevorderen? Had Kersten ook stokken in de grond en hoe werd er dan gevist?

Paragraaf 6.1, tweede alinea: is laatste zin wel nodig? Dit roept de vraag op of dit dan alsnog zou moeten worden gedaan, hetgeen de commissie gelet op de degelijkheid van het rapport niet nodig acht.

Paragraaf 6.1, laatste alinea (Conclusie): wellicht zinvol dit als algemene opmerking in de algemene inleiding (blz. 6) te noemen, aangezien veel lezers zich niet zullen realiseren dat dit ook van nature gebeurt.

Paragraaf 6.3, tweede alinea, laatste zin: "oostkant" moet zijn "westkant".

Paragraaf 7.2 top blz. 51: " ... en op een grotere afstand ". Dit is gekoppeld, dus beter "in samenhang met" i.p.v. "en".

Blz. 52: Met betrekking tot het opschuiven van de kokkelbanken doet zich hier en verderop in het rapport de vraag voor of ook competitie met/door andere organismen een rol zou kunnen spelen. Mogelijk dat daarop geen antwoord kan worden gegeven, maar de mogelijkheid zou kort kunnen worden genoemd.

Paragraaf 7.3: Nummering figuren lijkt niet helemaal te kloppen, bijv. midden op blz. 55 fig. 7.9, 7.10 moet zijn 7.10 en 7.11. Verderop 7.15.

Paragraaf 7.4, blz. 59 midden: "kokkels op laaggelegen banken worden eerder opgeruimd dan op het hoge wad"; gelet op de dynamiek van het systeem is dit niet meer dan logisch; lage banken liggen i.h.a. dicht bij de geulen en door hogere stroomsnelheden zal daar meer zand worden verplaatst waarbij kokkels worden "opgeruimd" dan wel verplaatst naar elders.

Paragraaf 8.1, tweede alinea: Hier wordt "verandering slibgehalte" direct gekoppeld aan "..... direct effect visserij," en aan ".... bevissing waar bodemgesteldheid is veranderd ..". Toegevoegd zou moeten worden dat kokkels zelf door de filtering van zeewater aan het slibgehalte kunnen bijdragen en dus een rol in deze processen spelen.

Paragraaf 8.2: laatste alinea voor de conclusie: niet alle potentiële verbanden worden hier duidelijk genoemd:

- "als bevissing heeft plaats gevonden is het wad slibrijker geworden": heeft bevissing plaatsgevonden omdat kokkels slibrijke gebieden hebben opgezocht of zijn gebieden slibrijker geworden door toegenomen activiteit van kokkels hetgeen ook bevissing heeft uitgelokt?
- "er is tweemaal zoveel kokkelvisserij in gebieden met netto sedimentatie als in gebieden met netto erosie"; komt dit omdat kokkels bij erosie ook worden opgeruimd en bij sedimentatie meer overlevingskansen hebben?

Paragraaf 8.3, tabellen 8.1 en 8.2: In tabel 8.1 wordt de toename berekend uitgaande van een logaritmische transformatie van de verhouding van het percentage slib in 1950 en later. Hierbij wordt de SD gegeven. In tabel 8.2. wordt hetzelfde gedaan maar wordt de SE gegeven. Is de analyse correct gebeurd?

Paragraaf 8.3, eerste alinea: vraag is wederom of de keuze voor open en gesloten gebieden aselekt is geweest of dat hier factoren in hebben meegespeeld die ook de latere ontwikkeling van de gebieden hebben beïnvloed.

Paragraaf 8.3, tweede alinea: "hoogteligging en slibgehalte voor gesloten en open gebied niet gelijk": voor of na sluiting?

Paragraaf 8.4, blz. 69: als punt 6. ware toe te voegen "aselekt zijn gekozen".

Paragraaf 8.5, einde op één na laatste alinea: wat is oorzaak en wat is gevolg?

Paragraaf 8.6, Laatste alinea: Bij de conclusie "kokkelbanken onder Texel en Vlieland zijn slibbarmer geworden" dient rekening te worden gehouden met dat met het dieper worden van het Marsdiep mogelijk de stroomsnelheden in dit gebied zijn toegenomen.

Paragraaf 9.4: Hoofdstuk 9 is zeer kort en daardoor een beetje uit de toon vallend. De conclusie lijkt wat voorbij te gaan aan het feit dat blijkbaar slechts 2 % van het opengestelde gebied ook effectief bevist wordt. De consequentie hiervan ware toe te lichten.

Paragraaf 10.1, einde eerste alinea: Dat een groter aantal monsters de invloed van meetfouten verkleint is natuurlijk alleen maar juist indien de accuraatheid niet door de methode wordt beïnvloed. Indien een methode een systematische afwijking heeft wordt die niet weggewerkt door meer monsters te nemen.

Paragraaf 10.1, tweede alinea, eerste zin: "grote spreiding van het *gereconstrueerde* slibhalte".

Paragraaf 10.1, tweede alinea: Indien bioturbatie belangrijk is, kan men ook verwachten dat het slibgehalte in de bodem homogener wordt. In hoeverre is dan de 15-20 % correctie van de RIJP monsters nog gerechtvaardigd voor de zomermonsters? De toplaag is ook slibrijker in het voorjaar doordat het slib wordt vastgehouden door microphytobenthos

Paragraaf 10.5: uiteraard roept ieder onderzoek weer nieuwe vragen op. De hier gedane aanbevelingen voor verder onderzoek dienen niet te worden gelezen als een noodzaak om dit rapport nog verder te verbeteren.

Utrecht / Yerseke / Haren, 25-11-2003

Prof.dr. P.L. de Boer
Prof.dr. C.H.R. Heip
Prof.dr. W.J. Wolff

inleiding

Een groot deel van de gegevens die in dit rapport zijn samengevat stonden op lijsten die in allerlei ordners en stamboeken waren te vinden en moesten worden gedigitaliseerd. Het invoeren van alle gegevens is een reusachtig werk geweest. Om een optimaal gebruik van al deze data mogelijk te maken, is aan dit rapport een CD toegevoegd met alle basis-gegevens, maar ook met de bewerkte analyse-bestanden. De kaarten zijn gemaakt met ArcView. De kaarten zijn gebaseerd op shapefiles of gridfiles en soms op beide. Alles is gegeven in Parijs-coördinaten.

bodem_shapefiles

De bestanden die ten grondslag liggen aan de figuren zijn in aparte subdirectories samengenomen. Wanneer nodig is de door ArcView gebruikte dbf-file (gedeeltelijk) gekopieerd als excel-file met een identieke naam om toelichting en aanvullende informatie te kunnen geven.

De directory *bodem-shapefiles/waddenkaart* geeft drie shapefiles (eilanden, gebieden, hwlw), die in dit rapport zijn gebruikt om de Waddenzee-kaarten te tekenen. Om de hoog- en waterlijn te kunnen bepalen, werden de gemiddelde hoog- en laagwaterstanden bij springtij voor alle meetstations in de Waddenzee digitaal op de kaart gezet en daarna de hoog- en laagwaterstanden voor het tussenliggende gebied ruimtelijk geïnterpoleerd. Door deze getallen te combineren met de door RIKZ verstrekte dieptekaart konden de hoog- en laagwaterlijnen worden bepaald. Het resultaat daarvan is te vinden in de de shapefile "hwlw", ook gegeven als gridfile in *bodem_gridfiles/hw_lw-lijn*.

Het bestand *bodem-shapefiles/waddenkaart/wadoppervlak_hwlw.xls* is gebaseerd op de hwlw-shapefile en geeft het wadoppervlak met springtij voor verschillende deelgebieden (zie shapefile "gebieden").

Door de hwlw-shapefile te combineren met de shapefiles die zijn opgenomen in *bodem-shapefiles/afsluiting* is per jaar af te lezen welke gebieden voor kokkelvisserij gesloten waren, - in het rapport weergegeven in de kaarten die opgenomen zijn in appendix 1.

Door de hwlw-shapefile te combineren met de shapefile *bodem-shapefiles/gebieden* ontstaat de kaart gegeven bij figuur 8.2.

De bevissingsintensiteit is vanaf 1992 met een blackbox aan boord van de kokkelschepen vastgelegd. Deze gegevens zijn samengenomen voor vakken van 0.1 maal 0.1 minuut, dat is ongeveer 112 bij 186 meter, met een oppervlak van 2.11 ha. Nadat dit "visnet" was gecombineerd met hwlw-bestand bleven er 81183 vakjes over die geheel of gedeeltelijk samenvielen met het gebied dat door de hoog- en laagwaterlijn was omgrensd. Daarvan lagen 6932 vakjes op de stranden van de Waddeneilanden of op het Duitse wad, zodat er voor de Nederlandse Waddenzee 74251 vakken overblijven, dat is 156.670 ha. Blijkens *bodem-shapefiles/waddenkaart/hwlw* ligt er in de Nederlandse Waddenzee echter niet meer dan 131.768 ha wad (zie: *bodem-*

shapefiles/bevissing/wadoppervlak_hwlw.xls . Het wadoppervlak in de bevissings-shapefile wordt overschat omdat alle vakken op de grens van de hoog- en laagwaterlijn voor 100% als wad worden gerekend ; voor details zie: *bodem-shapefiles/bevissing/wadoppervlak_hwlw.xls*.

Voor de 2.11 ha-vakjes werd de gemiddelde diepte en het gemiddelde slibgehalte berekend; zie *bodem-shapefiles/bevissing*; de daar opgenomen shapefile geeft per jaar de bevissingsintensiteit (% bevist). Toelichting wordt gegeven in *bodem-shapefiles/bevissing/toelichting_visnetkok92_01hwlwrd.xls*.

bodem-shapefiles/fig401 geeft het slibgehalte van 4621 punten die voor 1980 zijn verzameld. De shapefile is identiek aan *bodem_basisbestanden/ oude monsters samen/ slib_alles_vroeger_enkel.dbf* ; zie aldaar voor een verantwoording hoe de file tot stand is gekomen.

bodem-shapefiles/fig415 geeft de shapefile van de 126 stabiele mosselbanken en een shapefile met afstanden vanaf de rand van deze 126 mosselbanken (opgesplitst per 50 meter, vanaf 50 t/m 1000 meter).

bodem-shapefiles/ fig502_510+803_805 geeft het slibgehalte van de monsters die na 1980 zijn verzameld. De shapefile is aangemaakt op basis van twee veel groter bestanden: voor de bodemmonsters zie *bodem_basisbestanden/ nieuwe monsters samen/ analyse_monstersna80_bank.xls*; voor de kokkelbanken zie *bodem-shapefiles/bevissing/toelichting_visnetkok92_01hwlwrd.xls*. Zie aldaar voor een verantwoording hoe de files tot stand zijn gekomen.

bodem-shapefiles/ fig701_3+7+8 geeft voor 74136 2.11-ha-vakjes het aantal maal dat een vakje als kokkelbank is ingetekend tussen 1980-1992 en 1993-2002. De gegevens zijn ontleend aan de visserkaarten (zie *bodem_shapefiles/app1976 t/m _bodem_shapefiles/app2002*). Deze 24 shapefiles werden samengenomen en gelegd over het "visnet" (zie toelichting bij *bodem-shapefiles/bevissing*).

bodem-shapefiles/ fig806 geeft het beviste gebied tussen 1958 en 1965.

De ingetekende kokkelbanken –de zogenaamde visserskaarten- zijn voor elk jaar apart in 24 verschillende directories gegeven (*bodem_shapefiles/app1976 t/m _bodem_shapefiles/app2002*). De visserskaarten zijn in appendix 1 afgedrukt. Die kaarten geven ook per jaar de afgesloten gebieden (zie *bodem_shapefiles/afsluiting*) en de bevissing zoals geregistreerd door de blackbox (zie *bodem_shapefiles/bevissing*).

bodem_gridfiles

Vijftien kaarten in het rapport zijn gebaseerd op gridfiles:

figuur	onderwerp	resolutie (m)
402	stroomsnelheid	500
403	orbitaal NW	50
404	orbitaal W	50
405	orbitaal NO	50
406	orbitaal ZW	50
407	orbitaal "Golfwad"	250
408	droogligtijd	50

409	afstand geul	50
410	voorspeld slibgehalte	50
412	afstand tot diep water	50
414	gecorrigeerd voorspeld slibgehalte	100
417	slibgehalte bepaald met cogriging	100
418	meetfout bij bepaling slibgehalte in fig. 417	50
601	lodingskaart 1991-1997	50
602	hoogteverandering tussen 1985-90 en 1997-2002	50

Om figuur 602 te kunnen construeren, moesten drie hoogteverschil-kaarten op elkaar worden gelegd. De gridfiles worden apart gegeven in *bodem_gridfiles/fig602-00-87*, *bodem_gridfiles/fig602-00-94* en *bodem_gridfiles/fig602-94-87*.

bodem_exelfiguren

Alle grafieken in dit rapport zijn gemaakt met Excel. De directory *bodem_exelfiguren* geeft per figuur de excel-bestanden. De meeste bestanden bevatten behalve de in het rapport opgenomen figuren ook nog andere figuren. De in het rapport opgenomen figuur is altijd aangeduid met het figuur-nummer op een geel gemerkte veld. Behalve de figuren bevat elke excel-bestand ook de data-bestanden. M.b.v. ingevoegde "Comments" wordt de structuur van het bestand uitgelegd.

bodem_jpg-kaarten

Een digitale versie van alle kaarten is te vinden in de directory *bodem_jpg-kaarten*.

bodem_basisbestanden

De basis-bestanden zijn samengenomen in 7 directories. De bestanden uit "1950-1955 slib" en "1955-1980 slib" zijn samengevoegd in "oude monsters samen". De bestanden uit "1999-2002 coulter", "1993-1996 malvern", "1980-2000 slib" en "1998-99 IBN-zeef" zijn samengevoegd in "samen nieuwe monsters". Daarnaast is er een bestand dat niet is gebruikt: "niet opgenomen".

1950-1955 slib

De gegevens zijn overgenomen uit twee handgeschreven boeken die werden gevonden in het bodemkundig archief van RIZA. De shapefile *1950-1955 slib/glopper_allelagen* geeft alle gegevens, inclusief de diepe boringen. In *1950-1955 slib/glopper_laag=0* zijn de ondiepe monsters geselecteerd. Het bestand *1950-1955 slib/glopper_laag=0+toelichting.xls* is een kopie van de dbf-file, en geeft m.b.v. comments en extra kopjes een nadere uitleg.

1955-1980 slib

De RIJP-gegevens zijn overgenomen uit de zogenaamde stamboeken en samengevat in drie excel-bestanden: *1955-1980 slib/RIJP-divers.xls*, *1955-1980 slib/RIJP-essink.xls* en *1955-1980 slib/RIJP-zwarts.xls*. De twee eerst genoemde bestanden bevatten honderden punten zonder exacte coördinaten; deze punten zijn niet opgenomen in de verzamelbestanden.

1980-2000 slib

De analyses van de RIKZ-monsters zijn gedaan door IB en BLGG. De gegevens werden overgenomen uit staten die door RIKZ zijn bijgehouden. 191 van de 1156 monsters die opgenomen zijn in *1980-2000 slib/ib+blgg.xls* zijn niet opgenomen in de verzamelbestanden, omdat de exacte locatie ontbrak.

Onder oost-Ameland werden in de herfst van 1999 op een aantal onderzoeksveldjes 98 monsters genomen: *1980-2000 slib/touw.xls*. Het bestand geeft geen datum en locatie; deze zijn wel opgenomen in het verzamelbestand (*samen 1980_2002/alles na80.xls*).

1993-1996 malvern

De originele gegevens zijn te vinden op een CD die door RIKZ is uitgegeven. Het bestand *1993-1996 malvern /malvern_alles.xls* geeft de originele gegevens van alle 7503 monsters. De phi in regel 1 is in regel 2 omgerekend in um. Het bestand *1993-1996 malvern /malvern_wad.xls* is een selectie van 2287 monsters die boven de laagwaterlijn zijn gestoken.

1998-1999 IBN-zeef

De directory geeft de shapefile en een excel-file gebaseerd op de dbf-file. De file *1998-1999 IBN-zeef/zeef_ibn+analyse.xls* geeft verschillende manieren waarop het slibgehalte geschat zou kunnen worden.

1999-2002 coulter

Het bestand *1999-2002 coulter/coulter_alles.xls* geeft alle 1681 monsters die met de Coulter zijn geanalyseerd. Een serie grondmonsters was gesplitst in de laag 0-5 en 5-25 cm beneden het maaiveld. In het bestand *1999-2002 coulter/coulter_select.xls* zijn van deze serie alleen de ondiepe monsters opgenomen. Ook de monsters waar geen locatie van bekend was werden verwijderd.

Later ontvingen we van het NIOZ nog de uitkomsten van een (her)analyse van monsters die rond Griend waren verzameld. Deze gegevens zijn opgenomen in het bestand *1999-2002 coulter/griend.xls*.

niet opgenomen

Twee bestanden werden wel gedigitaliseerd, maar niet opgenomen. Het ene niet opgenomen bestand betreft een groot aantal bodemmonsters die door bodemkundigen van de toenmalige RIJP op CD zijn gezet. Dit grote aantal monsters is gesplitst voor de oostelijke en de westelijke Waddenzee (respectievelijk: *niet opgenomen/RWS_wad_oost_bewerkt.xls* en *niet opgenomen/RWS_wad_west_bewerkt.xls*). Daarna is uit beide bestanden een selectie gemaakt voor monsters uit de ondiepe laag: *niet opgenomen/RWS_wad_oost+west_bewerkt.xls*. Het bestand is niet gebruikt omdat niet meer kon worden achterhaald welke monsters waren voorbehandeld en welke niet.

Ook niet opgenomen zijn de metingen van het NIOZ op het Balgzand in 1980 (bestand *niet opgenomen/sediment-balgzand-nioz1980.xls*).

samen 1950-1980

Het bestand *samen 1950-1980/alles.xls* neemt de 5078 monsters samen uit vier bestanden:

1955-1980 slib/RIJP-divers.xls,

1955-1980 slib/RIJP-essink.xls

1955-1980 slib/RIJP-zwarts.xls

1950-1955 slib/glopper_laag=0+toelichting.xls.
De herkomst is gegeven in kolom A.

In het bestand *samen 1950-1980/alles_wad.xls* zijn 328 monsters verwijderd die beneden de laag- en boven de hoogwaterlijn lagen en telt daarom nog 4750 monsters. Aan dit bestand zijn toegevoegd verschillende abiotische variabelen.

Het bestand *samen 1950-1980/alles_enkel.xls* is gebaseerd op *alles.xls*, maar geeft voor alle plekken waar in de loop van de jaren meer dan een monster zijn genomen alleen nog de gemiddelde waarde van de slibbepalingen. Het bestand telt daardoor nog slechts 4947 metingen.

Het bestand *samen 1950-1980/alles_wad_enkel.xls* is een selectie van 4598 wadmonsters uit *alles_enkel.xls*. In het *alles_wad_enkel.xls* bestand is het voorspeld slibgehalte gegeven op basis van de relatie tussen slibgehalte en abiotische variabelen.

samen 1980-2002

Het bestand *samen 1980-2002/slib na80.xls* is gebaseerd op zes bestanden:

1980-2000 slib/ib+blgg.xls

1980-2000 slib/touw.xls

1993-1996 malvern /malvern_wad.xls

1998-1999 IBN-zeef/zeef_ibn+analyse.xls

1999-2002 coulter/coulter_select.xls

1999-2002 coulter/griend.xls

De herkomst van de 6024 monsters is gegeven in kolom A.

Het bestand geeft het gemeten of afgeleide slibgehalte, maar ook het slibgehalte op dezelfde plek in de jaren vijftig. Daarnaast is de jaarlijkse bevissingsintensiteit vanaf 1992 gegeven, als ook of de plek sinds 1976 viel binnen een kokkelbank.

Het bestand *samen 1980-2002/slib na80 enkel.xls* is gebaseerd op *slib na80.xls*, maar de metingen volgens de diverse methoden staan niet meer onder, maar naast elkaar. Bovendien is elke plek maar een maal opgenomen. Wanneer er op een plek meerdere monsters zijn genomen, zijn die gemiddeld. Daardoor is het aantal metingen afgenomen van 6024 naar 4399.