

Inventarisatie brandingszone

J.A. van Dalfsen

Rapport C138/07



IMARES Wageningen UR

Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat/Waterdienst
W. Dulfer
Postbus 17
8200 AA Lelystad

Publicatiedatum:

Oktober 2009

IMARES is:

- een onafhankelijk, objectief en gezaghebbend instituut dat kennis levert die noodzakelijk is voor integrale duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van de zee en kustzones;
- een instituut dat de benodigde kennis levert voor een geïntegreerde duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van zee en kustzones;
- een belangrijke, proactieve speler in nationale en internationale mariene onderzoeksnetwerken (zoals ICES en EFARO).

© 2009 IMARES Wageningen UR

IMARES is geregistreerd in het Handelsregister Amsterdam nr. 34135929, BTW nr. NL 811383696B04.

De Directie van IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van IMARES; opdrachtgever vrijwaart IMARES van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

Samenvatting

In Nederland vormt de kustzone een belangrijk deel van onze leefomgeving, waarbij de bescherming tegen het water een belangrijk aandachtspunt is. Door de stijging van de zeespiegel zal de veiligheid voor de kuststrook en het achterland steeds belangrijker worden. Rijkswaterstaat heeft, als beheerder van de rijkswateren, verantwoordelijkheden op het gebied van het gebruik, onderhoud en de bescherming van de kust. Hierin zullen echter ook aspecten ten aanzien van de natuurwaarden van het kustgebied dienen te worden meegenomen, waarbij de kust als een samenhangend geheel van zee- en landgedeelten moet worden beschouwd. In de afgelopen jaren is verschillende keren geconstateerd dat vooral kennis over het ecologisch functioneren van de Nederlandse strand- en brandingszone als onderdelen van het kustfundament nog onvoldoende is. Hierdoor loopt Rijkswaterstaat het risico om de effecten van grote kustwerken op het kustecosysteem onvoldoende te kunnen beoordelen.

Door het RIKZ is een aanvang gemaakt met het vergroten van de kennis over de ecologie van het strand en de brandingszone. Recentelijk uitgevoerde studies in de brandingszone waren niet direct gericht op het beschrijven van de mogelijke effecten op de korte en lange-termijn van vooroeversuppleties, zoals verandering van de habitat. Habitat veranderingen kunnen onder meer optreden door veranderingen van korrelgrootte, minerale samenstelling, slibfractie en eigenschappen met betrekking tot penetreerbaarheid en stabiliteit.

Ten behoeve van het onderzoek dat Rijkswaterstaat uitvoert naar de ecologie van de Nederlandse kustzone heeft het Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ aan IMARES gevraagd een veldinventarisatie in de brandingszone uit te voeren om de kennis over de natuurwaarde van de ondiepe kust verder te vergroten en om mogelijke aanvullende onderzoeksmethoden te testen. Daarnaast is het onderzoek gericht op het op een efficiënte wijze detecteren van habitatstructurende soorten als *Ensis sp.* en *Lanice conchilega*. Dit onderzoek maakt onderdeel uit van het Stuurboordproject van Rijkswaterstaat. Hierin wordt door Rijkswaterstaat onder andere onderzoek verricht naar de "Ecologie van de zandige kust-brandingszone".

Het voorliggende onderzoek richt zich op een beschrijving van de huidige situatie in een drietal voorbeeldgebieden langs de Nederlandse kust, te weten de ondiepe kust en brandingszone van Schiermonnikoog en Ameland als voorbeelden van de eilandenkustzone, en de ondiepe kust en brandingszone bij Egmond als voorbeeldgebied voor de Noord-Hollandse kust. Om mogelijke beïnvloeding van zandsuppleties op de ecologie van de ondiepe kust te bestuderen zijn zowel suppletielocaties als referentielocaties onderzocht.

In het onderzoek zijn meerdere technieken gebruikt om de ondiepe kustzone zowel fysisch/geomorfologisch als ook biologisch te beschrijven. Hierbij is aandacht gegeven aan de bruikbaarheid van de bestaande technieken en is geprobeerd om het gebruik verder te ontwikkelen om zo te komen tot een efficiënte wijze om data te verzamelen.

De brandingszone in de verschillende gebieden is zowel fysisch/geomorfologisch als ook biologisch beschreven. Voor de geomorfologisch karakterisatie zijn akoestische en geofysische meettechnieken als side scan sonar en het MEDUSA systeem gebruikt waarmee een aantal transecten dwars en parallel op de kust zijn opgenomen. Aanvullend is informatie verkregen over de bodem van de onderzoeksgebieden door het nemen en analyseren van sediment- en biologische monsters met behulp van een Van Veen happer. Hiervoor is op basis van de geomorfologische informatie ter plaatse een gestratificeerd bemonsteringsplan opgesteld waarmee het sediment en de macrofaunagemeenschap is bemonsterd. Er is daarbij rekening gehouden met de aanwezige morfologie, dieptezonering en met op de sonarbeelden waargenomen afwijkende reflecties, die mogelijk duiden op aanwezigheid van concentraties van organismen (schelpen of woonbuizen van kokerwormen) of sedimentverschillen.

In alle gebieden is een systeem van parallel aan de kust lopende brekerbanken aanwezig, waarbij de tweede (buitenste) brekerbank bij Egmond minder duidelijk geprononceerd is dan boven de Waddeneilanden. Deze resultaten komen overeen met de lodingen van RWS in 2006 (Jarkus-profielen). Alleen bij Ameland lijkt de tweede brekerbank iets afgevlakt en zeewaarts verschoven te zijn.

De sedimenteigenschappen voor de kust van Ameland en Schiermonnikoog laten een iets grotere variatie zien dan in de drie deelgebieden bij Egmond. Met het MEDUSA systeem is een duidelijke relatie gevonden tussen de grootschalige morfologie en de verspreiding van zware mineralen en de mediane korrelgrootte. Op de toppen van de brekerbanken is het sediment iets grover en is het gehalte aan zware mineralen verhoogd.

Voor de Waddeneilanden Ameland, waar suppleties zijn uitgevoerd, en Schiermonnikoog, waar geen suppleties hebben plaatsgevonden, is geen duidelijk verschil gevonden in de sedimentsamenstelling dat gerelateerd kan worden aan de mogelijke gevolgen van uitgevoerde suppletiewerkzaamheden. Bij Egmond is er een klein verschil gevonden in de sedimentsamenstelling tussen het gebied waar gesuppleerd is en de referentiegebieden waar geen suppletie heeft plaatsgevonden. Op de twee referentiegebieden lijkt de korrelgrootte in de ondiepe zone vlak voor de kust verhoogd te zijn, terwijl dit minder duidelijk is voor het gebied waar gesuppleerd is.

De macrofaunagemeenschap van de ondiepe kust en brandingszone van Schiermonnikoog, Ameland en Egmond is niet gelijk. De verspreiding van het macrofauna in de drie gebieden vertoont wel een zelfde patroon, waarbij de dichtheid en de soortenrijkdom toeneemt met de waterdiepte en de afstand tot de kust en dan vooral vanaf de buitenste brekerbank. Bij Schiermonnikoog is de diversiteit het hoogst, bij Ameland komen de hoogste dichtheden voor. In de onderzoeksgebieden bij Egmond zijn diversiteit en dichtheden het laagst.

Voor Schiermonnikoog, Ameland en Egmond zijn in de bodemonsters respectievelijk 44, 45 en 59 macrofaunasoorten of soortgroepen aangetroffen. In alle gebieden vormen de polychaete wormen de belangrijkste groep, gevolgd door de kreeftachtigen.

In dit onderzoek is alleen bij Schiermonnikoog een relatie gevonden tussen het voorkomen van macrofauna-organismen en verschillen in de geomorfologie en de daarmee samenhangende bodemsamenstelling. Bij Egmond en Ameland is deze relatie minder duidelijk.

Bij Egmond is geen duidelijk verschil gevonden in de soortensamenstelling van het macrofauna tussen gesuppleerde en niet gesuppleerde gebieden. Mogelijk zijn de effecten van de suppleties op de macrofaunagemeenschap in hoog dynamische gebieden slechts van korte duur.

In het onderzoek is door de afwezigheid van verhoogde concentraties van de doelsoorten *Ensis sp.*, *Lanice conchilega* of *Owenia filiformis*, het gebruik van remote sensing voor een efficiënte detectie van deze habitatstructurende soorten in de ondiepe kust en brandingszone niet aangetoond. De inzet van een door TNO-IMARES ontwikkeld videosysteem om in water met een gering doorzicht opnames te kunnen maken bleek goede aanvullende informatie op te leveren over de bodem en de daarop voorkomende organismen.

Inhoudsopgave

	Pagina
Samenvatting.....	3
1 Inleiding	7
1.1 Doel.....	9
2 Werkwijze	11
2.1 Veldinventarisatie	11
2.2 Bepaling fysische en morfologische parameters	13
2.3 Remote sensing technieken	14
2.4 Sediment en bodemfaunabemonstering	16
2.5 Sediment en bodemfauna analyse	16
3 Surveyrapportage	19
3.1 Noordelijke kustgebied: Ameland en Schiermonnikoog	19
3.2 Noord-Hollandse kust: Egmond	21
4 Resultaten remote sensing technieken.....	23
4.1 Diepteprofiel van de brandingszone	23
4.2 Side scan sonar	26
4.3 Medusa systeem.....	27
4.4 Vergelijk van de locaties	28
5 Sedimentsamenstelling	31
5.1 Schiermonnikoog	32
5.2 Ameland.....	32
5.3 Egmond	32
6 Macrofaunagemeenschap.....	35
6.1 Schiermonnikoog	35
6.2 Ameland.....	38
6.3 Egmond	40
6.4 Remote sensing en detectie van macrofauna.....	43
7 Discussie	45
7.1 Uitvoering en technieken.....	45
7.2 Bodemsamenstelling en structuur.....	45
7.3 Macrofaunagemeenschap	46

7.4	Detectie van organismen met side scan sonar en het Medusasysteem.....	48
8	Conclusies	49
9	Referenties	51
	Kwaliteitsborging	53
	Verantwoording.....	55

1 Inleiding

In Nederland vormt de kustzone een belangrijk deel van onze leefomgeving, waarbij de bescherming tegen het water een belangrijk aandachtspunt is. Naast veiligheid heeft het kustgebied als belangrijkste functie die van woonwerkgebied. De stranden en duingebieden vormen daarnaast belangrijke natuur- en recreatiegebieden. In de toekomst is een verdere toename van het gebruik van het kustgebied te verwachten. Bestaande activiteiten zoals visserij, scheepvaart, stedelijke bebouwing en recreatie staan ter discussie of worden juist uitgebreid, terwijl nieuwe gebruiksfuncties als opwekking van windenergie een steeds grotere ruimteclaim leggen.

De wenselijkheid en noodzaak van allerlei activiteiten en ontwikkelingen staan steeds meer ter discussie. Het belang van de Europese regelgeving ten aanzien van de zee wordt steeds groter. De implementatie van de KRW en de implementatie van de EU Marine Strategie en de Vogel- en Habitatrichtlijn spelen een belangrijke rol in de beoordeling van de wenselijkheid van activiteiten en ontwikkelingen.

Rijkswaterstaat wordt in toenemende mate geconfronteerd met natuuraspecten bij de uitvoering van haar beheertaken. Zowel de huidige wet- en regelgeving (o.a. KRW, Natura 2000 en VHR), als onvermijdelijke ontwikkelingen (klimaatveranderingen en toenemende druk op het ruimtegebruik in de kustgebieden) versterken de behoefte aan gedegen kennisbasis over de actuele toestand van de kustgebieden. Tegelijkertijd is meer inzicht nodig in de interacties tussen het mariene ecosysteem en de menselijke en natuurlijke invloeden. Dit vooral ook over de grootschalige en eventueel cumulatieve effecten van maatregelen voor kustverdediging waaronder zandsuppleties, op het ecosysteem.

Door de stijging van de zeespiegel zal de veiligheid voor de kuststrook en het achterland steeds belangrijker worden. In een aantal gebieden langs de Nederlandse zandige kust vindt structurele erosie plaats. Kustafslag hoort –periodiek– bij dit type kust, maar is tegenwoordig ongewenst vanwege de grote economische waarde van de kust zelf en van het directe en verder landinwaarts gelegen achterland. In het kader van de mogelijke uitbouw en aanpassing van de zwakke schakels in de kust in de toekomst heeft de kustveiligheid hoge prioriteit.

Het huidige beleid van de kustlijn zorg is erop gericht om met natuurlijke materialen (zand) de kusterosie tegen te gaan en de kustlijn te handhaven. Hiervoor wordt door middel van zandsuppletie materiaal in het bedreigde kustvak gebracht. Dit kan zijn direct op het strand of in de vooroever waarbij het zand dicht onder het bedreigde kustvak in zee wordt aangebracht. Door extra zand in het “zanddelend systeem” van de kustzone te brengen, worden aanrollende golven gebroken voor ze (veel) schade aan strand en duinvoet kunnen doen en komt er nieuw zand beschikbaar voor de opbouw van strand en duinen. Bij een vooroeversuppletie wordt het zand tussen de brekerbanken in gebracht, of wordt het zand tegen de buitenste brekerbank aan gelegd. De laatste suppletiemethode wordt steeds vaker gehanteerd. Een bijkomend voordeel van vooroeversuppleties is dat deze goedkoper zijn dan strandsuppleties. Het transport van gesuppleerd sediment is nauwkeurig onderzocht. Observaties van onderwatersuppleties laten zien dat er vooral transport plaatsvindt naar de kust toe en in mindere mate langs de kust (Ahrens & Hands, 1998; Steijn 2005; Van Duin *et al.*, 2004).

Rijkswaterstaat heeft, als beheerder van de rijkswateren, verantwoordelijkheden op het gebied van het gebruik, onderhoud en de bescherming van de kust. Hierin zullen echter ook aspecten ten aanzien van de natuurwaarden van het kustgebied dienen te worden meegenomen, waarbij de kust als een samenhangend geheel van zee- en landgedeelten moet worden beschouwd.

De bodemfauna in de 1^e zeemijl voor de kust wordt beschermd via de Kaderrichtlijn Water. De Voordelta en de kustzone benoorden de Wadden (zuidelijk tot aan Petten) zijn bij de Europese Commissie aangemeld onder de Vogel- en Habitatrichtlijn, maar ook het tussengelegen deel van de kust kent belangrijke ornithologische waarden,

alsmede een rijk bodemleven en relatief hoge diversiteit aan vis en functioneert ook als kinderkamer voor vis (Lindeboom *et al.* 2005). Significante verstoringen van de ecologische ontwikkeling en kwaliteit van de kustzone is dus ongewenst, zelfs als deze veroorzaakt zouden worden door activiteiten die van groot nationaal belang zijn, zoals suppleties in het kader van de kustlijn­zorg.

In de afgelopen jaren is echter verschillende keren geconstateerd dat vooral kennis over het ecologisch functioneren van de Nederlandse strand- en brandingszone als onderdelen van het kustfundament nog onvoldoende is. Hierdoor loopt Rijkswaterstaat het risico om de effecten van grote kustwerken op het kustecosysteem onvoldoende te kunnen beoordelen.

Recentelijk is uit meerdere studies gebleken dat in de ondiepe (zandige) kustzone verschillende macrofaunagemeenschappen onderscheiden kunnen worden in relatie tot diepte en verschillen in sedimentsamenstelling (Van Hoey *et al.*, 2004; Degraer *et al.*, 2003, Speybroeck *et al.*, 2003, Kaag *et al.*, 2005, Van Dal­fsen, 2006). Vooral op het Belgisch Continentaal plat is veel onderzoek verricht. Verschillen in stroming, getij, sedimentsamenstelling, bodem­morfologie en expositie maken dat deze informatie niet zomaar vertaald kan worden naar de ondiepe Nederlandse kustzone. De onderscheiden macrofaunagemeenschappen laten een trend zien met toenemende diepte en afstand tot de kust van relatief lage diversiteit naar een steeds hogere diversiteit. Een sterke toename treedt op vanaf een diepte van circa 6 m. Zo worden door Van Hoey *et al.*, (2004) vier macrofaunagemeenschappen onderscheiden: (1) de *Abra alba* - *Mysella bidentata* gemeenschap in de wat meer slibrijke gebieden met een hoge dichtheid en diversiteit; (2) de *Nephtys cirrosa* gemeenschap in goed gesorteerde zandige sedimenten met een lage dichtheid en diversiteit; (3) de *Ophelia limacine* - *Glycera lapidum* gemeenschap in grof zandige sedimenten, ook met lage diversiteit en dichtheid en (4) de *Eurydice pulchra* - *Sco­lelepis squamata* gemeenschap die typisch is voor bovenste zone van de intergetijdezone van het strand.

Door het RIKZ is een aanvang gemaakt met het vergroten van de kennis over de ecologie van het strand en de brandingszone. In 2002 is onderzoek uitgevoerd naar het voorkomen van macrobenthos op het strand (Janssen & Mulder, 2004). Tevens is in dit onderzoek op twee locaties in de brandingszone voor de kust bij Egmond en Castricum het macrobenthos geïnventariseerd. Aanvullend op dit onderzoek is in 2005 een inventarisatie uitgevoerd naar het voorkomen van macrobenthos in de brandingszone voor de kust van Noord Holland en bij de Waddeneilanden (Van Dal­fsen, 2006). Deze studie was erop gericht om vast te stellen of de resultaten van het door het RIKZ uitgevoerde onderzoek bij Egmond en Castricum representatief waren voor de gehele Nederlandse kust. Het in 2005 uitgevoerde onderzoek wees echter uit dat de macrofaunagemeenschappen bij Egmond en Schiermonnikoog niet zonder meer vergelijkbaar waren. Wel bleek er in beide gebieden een duidelijke relatie te bestaan tussen de bodemfaunagemeenschap, de geomorfologie en de bodemsamenstelling.

Naast de verschillende gemeenschappen is het belang van soorten die een structurerende werking op hun omgeving hebben (bio-engineers) onderkend. In de Noordzee en de kustzones zijn mosselen, oesters, Sabellaria en andere kokerwormen voorbeelden van dergelijke soorten die door het vormen van banken of riffen van grote invloed zijn op de diversiteit en ecologische functie van een gebied. Ook concentraties van Mesheften (*Ensis* sp.) zouden, doordat de individuen voor een deel uit de bodem steken, van invloed kunnen zijn op hun omgeving. Juist in de ondiepe brandingszone, in het gebied van de brekerbanken zouden soorten als *Ensis* sp. en de Schelpkokerworm *Lanice conchilega* in hoge dichtheden kunnen voorkomen (Janssen en Mulder, 2004). Deze soorten zouden dan een habitatstructurende werking kunnen hebben waardoor specifieke gemeenschappen kunnen ontstaan. De aanwezigheid van deze soorten zou tevens een positieve invloed kunnen hebben op de erosiegevoeligheid van de bodem door hun invloed op de waterbeweging, sedimentatie en erosie van sediment. Het is dan ook van belang inzicht te hebben in het voorkomen van deze habitatstructurende soorten.

Er is weinig onderzoek gedaan naar veranderingen in het benthos in de ondiepe kustzone als gevolg van vooroeversuppleties. Monitoring van de eerste vooroeversuppletie uitgevoerd in 1993 voor de kust wees uit dat

de bodemfauna ter plaatse negatief werd beïnvloed, maar dat de bodemgemeenschap zich snel kon herstellen vooral als gevolg van vestiging van larven (Van Dalfts en Essink 1997).

De recentelijk uitgevoerde studies in de brandingszone waren niet direct gericht op het beschrijven van de mogelijke effecten op de korte en lange-termijn van vooroeversuppleties, zoals verandering van de habitat. Habitat veranderingen kunnen onder meer optreden door veranderingen van korrelgrootte, minerale samenstelling, slibfractie en eigenschappen met betrekking tot penetreerbaarheid en stabiliteit.

Onderzoek in de kust en brandingszone is lastig. Het gebied is ondiep en de combinatie met golven en stroming maken het lastig voor schepen om in het gebied te werken, terwijl vanaf het strand het gebied om dezelfde redenen maar zeer beperkt bereikbaar is. De traditionele benadering in macrofaunaonderzoek waarbij vooral veel bodemonsters worden genomen is dan ook minder geschikt. Er wordt dan ook gezocht naar efficiëntere methodieken die aanvullende informatie kunnen leveren over het ecosysteem in deze zone, onder meer door de verwachte vraag naar informatie naar aanleiding van toekomstige suppleties. In 2005 is hiervoor een eerste aanzet gegeven door naast het nemen van bodemonsters gebiedsdekkende informatie te verkrijgen over sedimentsamenstelling en textuur en bodemmorfologie (Van Dalfts, 2006). Daarvoor is gebruik gemaakt van side scan sonar opnames en het Medusa systeem. Beide systemen zijn toen beperkt ingezet waarbij geprobeerd werd om op basis van afwijkende patronen in de bodemstructuur gericht aanvullende informatie te verkrijgen. De verkregen resultaten maakten duidelijk dat beide methodes mogelijkheden boden voor het ecologisch onderzoek in de kustzone, maar dat uitgebreider testen gewenst was.

Ten behoeve van het onderzoek dat Rijkswaterstaat uitvoert naar de ecologie van de Nederlandse kustzone heeft het Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ aan TNO IMARES gevraagd een veldinventarisatie in de brandingszone uit te voeren om de kennis over de natuurwaarde van de ondiepe kust verder te vergroten en om mogelijke aanvullende onderzoeksmethoden te testen. Daarnaast is het onderzoek gericht op het op een efficiënte wijze detecteren van habitatstructurende soorten als *Ensis* sp. en *Lanice conchilega*. Dit onderzoek maakt onderdeel uit van het Stuurboordproject van Rijkswaterstaat. Hierin wordt door Rijkswaterstaat onder andere onderzoek verricht naar de "Ecologie van de zandige kust-brandingszone".

1.1 Doel

Het uitgevoerde onderzoek heeft als doel bij te dragen aan het vergroten van de kennis van het ecosysteem van de brandingszone zodat uiteindelijk een beter begrip ontstaat van de kenmerkende ecologische processen die het voorkomen van organismen in de brandingszone van de Nederlandse kust verklaren. Tegelijkertijd wordt hiermee informatie verkregen die gebruikt kan worden om de mogelijke gevolgen van grootschalige zandsuppleties voor het kustecosysteem te beschrijven.

Het voorliggende onderzoek richt zich op een beschrijving van de huidige situatie in een drietal voorbeeldgebieden langs de Nederlandse kust, te weten de ondiepe kust en brandingszone van Schiermonnikoog en Ameland als voorbeelden van de eilandenkustzone, en de ondiepe kust en brandingszone bij Egmond als voorbeeld gebied voor de Noord-Hollandse kust.

In het onderzoek zijn meerdere technieken gebruikt om de ondiepe kustzone te beschrijven. Hierbij is aandacht gegeven aan de bruikbaarheid van de bestaande technieken en is geprobeerd om het gebruik verder te ontwikkelen om zo te komen tot een efficiënte wijze om data te verzamelen.

2 Werkwijze

2.1 Veldinventarisatie

Om inzicht te krijgen in het ecosysteem van de brandingszone van de Nederlandse kust is in drie gebieden langs de Nederlandse kust een veldinventarisatie uitgevoerd. Voor een mogelijk toekomstig onderzoek naar eventuele effecten van zandsuppleties is bij de keuze van de gebieden ook rekening gehouden met reeds uitgevoerde en toekomstige suppleties.

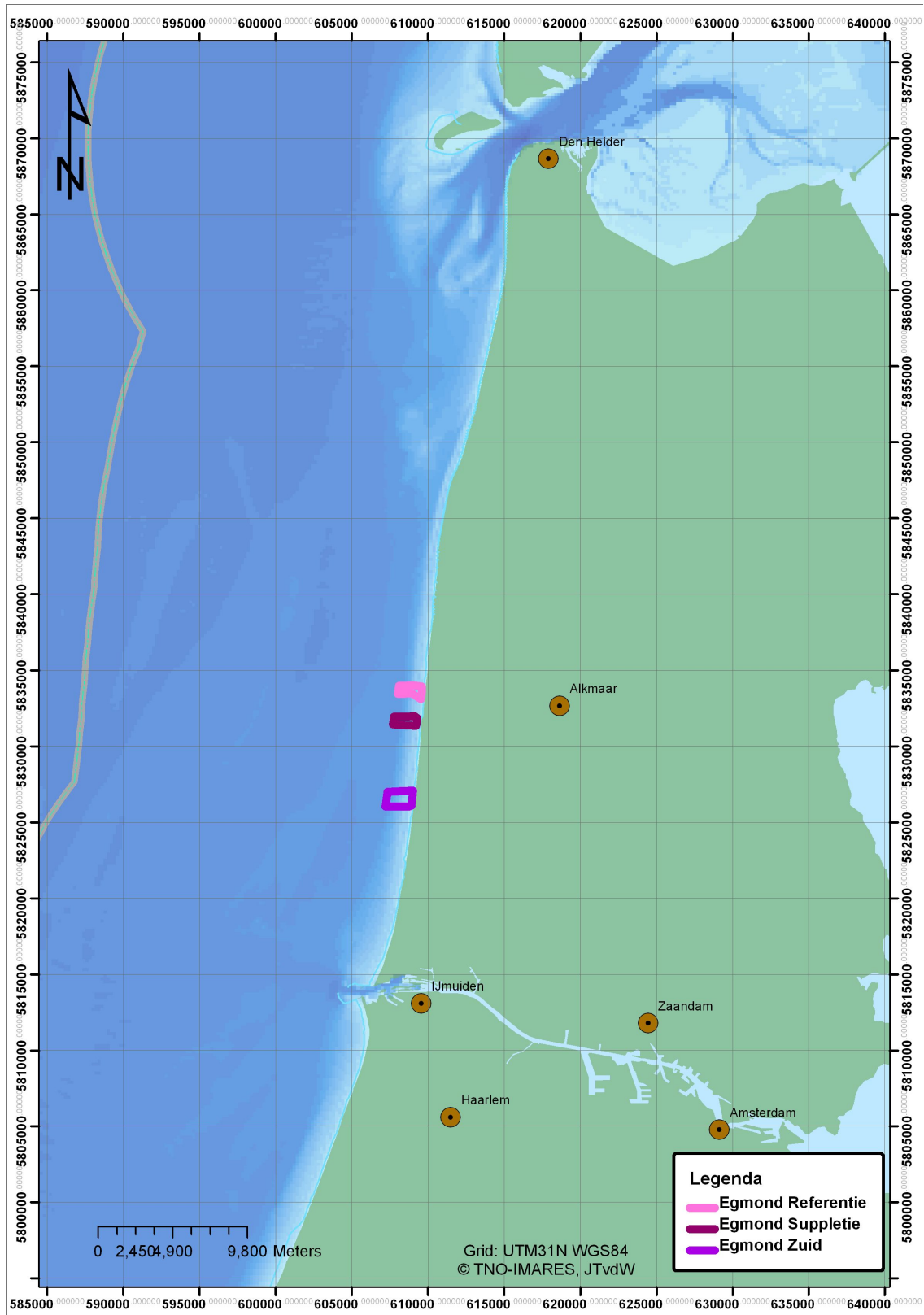
2.1.1 Locatiekeuze

Het onderzoek heeft plaatsgevonden langs de Hollandse kust en op 2 plaatsen aan de Noordzee-zijde van de Waddeneilanden (Figuur 1). Om aan te sluiten bij eerder uitgevoerde studies (Janssen en Mulder, 2004; Van Dalssen, 2006) is als representatief voor de Hollandse kust een brandingszonegebied gekozen ter hoogte van Egmond. Als representatief voor de Waddenkust zijn brandingszonegebieden gekozen bij de eilanden Schiermonnikoog en Ameland. Voor alle gebieden is de keus van de locaties gebaseerd op van gegevens over de diepte, morfologie en suppletiewerkzaamheden verstrekt door het RWS.



Figuur 1 Locaties voor de kust van Ameland en Schiermonnikoog (Medusa Explorations BV, bron Google Earth)

Om mogelijke beïnvloeding van zandsuppleties op de ecologie van de ondiepe kust in de toekomst vast te stellen zijn op basis van de suppletiegeschiedenis en de suppletieplannen voor 2007 en 2008 bij Egmond drie locaties voor de kust geselecteerd, Egmond suppletie (EGS), Egmond Zuid (EGZ) en een referentiegebied Egmond Referentie (EGR) (Figuur 2). In het gebied ter hoogte van Egmond Suppletie hebben al suppleties plaatsgevonden in 2002, 2004 en 2005. Bij Egmond Referentie zijn geen suppletie uitgevoerd of binnen afzienbare tijd voorzien.



Figuur 2 Ligging van de onderzoeksgebieden EDR, EDS en EDZ bij Egmond

Bij Schiermonnikoog zijn tot dusver geen suppleties uitgevoerd zodat de vooroever hier als referentie is genomen voor een niet beïnvloed brandingszonegebied van de noordelijke kust. Strand en vooroeversuppleties worden met enige regelmaat uitgevoerd bij de eilanden Texel, Vlieland en Ameland. Behalve bij Texel vinden deze meestal niet plaats aan de zeezijde van de eilanden. Texel wordt gerekend tot de Noord-Hollandse kust terwijl de andere eilanden worden gerekend tot het noordelijke kustgebied. Aan de westkop van Ameland is een klein gebied met een sterke kustachteruitgang. In dit gebied is in 2004 nog gesuppleerd en in 2007 zal hier zowel in de vooroever als op het strand gesuppleerd worden. Op midden Ameland vindt ook een achteruitgang van de kustlijn plaats. Om deze reden is in 2006 tussen strandpaal 11 en 17 een gecombineerde strand- en vooroeversuppletie uitgevoerd.

Door het ontbreken van recentelijk uitgevoerde strand- of vooroeversuppleties bij de eilanden is een vergelijk tussen een recent beïnvloede en niet beïnvloede brandingszone aan de zeezijde van de eilanden niet goed mogelijk. Om toch een eventuele effect van de zandsuppleties te kunnen traceren is een bij Ameland een gebied gekozen dat wat de morfologie betreft overeenkomt met Schiermonnikoog, maar dat zo dicht mogelijk bij de suppletielocatie aan de westkop ligt.

Voor Schiermonnikoog is een gebied onderzocht dat zich bevindt tussen de strandpalen 11,0 en 12,0 . Voor Ameland is een gebied onderzocht gelegen tussen de strandpalen 13,4 en 15,4. De gebieden die bij Egmond zijn onderzocht bevinden zich tussen de strandpalen 34,5 en 43,0 en sluiten aan bij het gebied dat in 2006 door Van Daltsen is beschreven. Het gebied dat in dit onderzoek bij Schiermonnikoog is geïnventariseerd ligt 1 km oostelijker dan het gebied dat in 2005 is bemonsterd (Van Daltsen, 2006).

2.2 Bepaling fysische en morfologische parameters

De brandingszone in de verschillende gebieden is zowel fysisch/geomorfologisch als ook biologisch beschreven. Tijdens de veldinventarisaties is de kust van Ameland geomorfologisch gekarakteriseerd met behulp van akoestische en geofysische meettechnieken. Hiervoor is gebruik gemaakt van side scan sonar en het MEDUSA systeem. Bij Schiermonnikoog heeft alleen een beschrijving plaatsgevonden met het MEDUSA systeem. De drie gebieden bij Egmond zijn fysisch en geomorfologisch beschreven met side scan sonar en het MEDUSA systeem. Aanvullend op de geofysische beschrijving met deze remote sensing technieken is aanvullende informatie verkregen over de bodem van de onderzoeksgebieden door het nemen en analyseren van sediment- en biologische monsters van de bodem.

Met de uitvoering van de veldinventarisaties is gestart in week 25 van 2007. Dit om de bemonstering zoveel mogelijk te laten aansluiten bij de resultaten van het onderzoek dat eerder is uitgevoerd (Janssen en Mulder, 2004).

De inventarisatie met behulp van akoestische en geofysische meettechnieken bij Schiermonnikoog, Ameland en Egmond heeft plaatsgevonden door een aantal transecten dwars en parallel op de kust op te nemen. Op basis van de op deze wijze verkregen geomorfologische informatie is ter plaatse een gestratificeerd bemonsteringsplan opgesteld waarmee het sediment en de macrofaunagemeenschap is bemonsterd.

Deze detailbeschrijving is uitgevoerd door op een aantal locaties bodemonsters te nemen. Deze locaties zijn gelegen op posities in zowel ondiep water (HW) als in dieper water tot ruim voorbij de buitenste brekerbank. Hierbij is de aandacht uitgegaan naar het beschrijven van mogelijke verschillen in het sediment en het macrobenthos die gerelateerd zouden kunnen worden aan verschillen in de geomorfologie zoals het voorkomen van brekerbanken en troggen.

De zeezijde van de buitenste brekerbank heeft daarbij extra aandacht gekregen omdat Rijkswaterstaat heeft aangegeven dat vooroeversuppleties zoveel mogelijk tegen de buitenste brekerbank zullen worden uitgevoerd.

Naast het gebruik van de side scan sonar en het MEDUSA systeem om de geomorfologie te beschrijven, zijn deze technieken getest op de bruikbaarheid om concentraties (velden) van kokerwormen (vooral *Lanice conchilega*) en of concentraties van schelpdieren (*Ensis* sp.) te detecteren, als vervolg op de studie in 2005 (Van Dalssen, 2006). Beide soorten zijn in principe herkenbaar doordat een deel van het organisme, respectievelijk een deel van de woonbuis en een deel van de schelp, uitsteekt boven het substraatoppervlak. *Ensis* sp. kan zich echter zeer snel ingraven en is dan niet meer duidelijk herkenbaar.

Bij Egmond is de habitat van de ondiepe kustzone in kaart gebracht met behulp van het MEDUSA systeem, de side scan sonar en door middel van een bemonstering van de bodem.

De veldinventarisatie is in de verschillende gebieden uitgevoerd op opeenvolgende dagen. Allereerst is een geomorfologische karakterisering uitgevoerd. Op basis van de verkregen informatie is ter plaatse een gestratificeerd bemonsteringsplan opgesteld voor het nemen van de monsters voor de analyse van de sedimentsamenstelling en de macrofaunagemeenschap. De coördinaten van de monsters zijn gekozen rekening houdend met de aanwezige morfologie (bijvoorbeeld brekerbanken en daar tussen liggende verdiepingen) of dieptezonering enerzijds en anderzijds met op de sonarbeelden waargenomen afwijkende reflecties, die mogelijk duiden op aanwezigheid van concentraties van organismen (schelpen of woonbuizen van kokerwormen) of sedimentverschillen. Geprobeerd is om de gebieden zo dicht mogelijk tegen het strand aan te bemonsteren door met hoogwater de tegen het strand aan gelegen locaties te bereiken. Aansluitend is de bodembemonstering uitgevoerd.

De gebruikte methodieken komen overeen met die uit eerder uitgevoerd onderzoek (Janssen en Mulder, 2004; Van Dalssen, 2006).

2.3 Remote sensing technieken

2.3.1 Side scan sonar

Een side scan sonar bestaat uit een sonarvis (Figuur 3) met daarin een transducer, die een akoestische bundel met een bepaalde frequentie uitzendt dwars op richting waarin de meetvis door het water wordt getrokken. Deze bundel wordt na reflectie op de zeebodem, weer ontvangen door de meetvis. De intensiteit van het terug ontvangen signaal en de tijdsduur die verstreken is voordat het geluid ontvangen is, leveren informatie over de samenstelling van het materiaal en de afstand van het materiaal tot aan het schip. Op basis hiervan wordt een beeld van de bodem opgebouwd, gebaseerd op schaduwwerking. De gebruikte frequentie is bepalend voor het bereik (de breedte van het pad) en voor de resolutie van de informatie. Voor gedetailleerd onderzoek wordt een hoge frequentie (500 kHz t/m 1 MHz) gebruikt waarmee het pad smaller wordt. Lagere frequenties van 50 kHz t/m 100 kHz geven een veel groter bereik, maar minder resolutie. De kwaliteit van de sonarinformatie wordt mede bepaald door de wind en stromingen in het onderzoeksgebied. De sidescan sonar metingen zijn uitgevoerd met een CM2 systeem van C-Max. De side scan sonar meetvis van dit systeem heeft een middelhoge frequentie van 325 kHz, waarmee een voldoende grote resolutie kan worden bereikt

Tijdens de veldkarakterisatie bij Ameland en bij Egmond is de meetvis aan de stuurboordzijde van het schip de "WR76 Herman Simon" bevestigd waarbij de sonarvis ongeveer 0.5 m onder het schip uitstak. Bij Ameland kon door het relatief rustige weer en hoogwater tot dicht onder het strand worden gevaren. Bij Egmond waren de weersomstandigheden suboptimaal om goede beelden te verkrijgen. De range van de sonar was bij Egmond ingesteld op 50 m, zodat de breedte van de sonartracks 100 m bedraagt. De afstand tussen de vaarlijnen is bij

benadering ook op 100 m gezet teneinde een vrijwel volledige bedekking van de onderzoeksgebieden te verkrijgen.

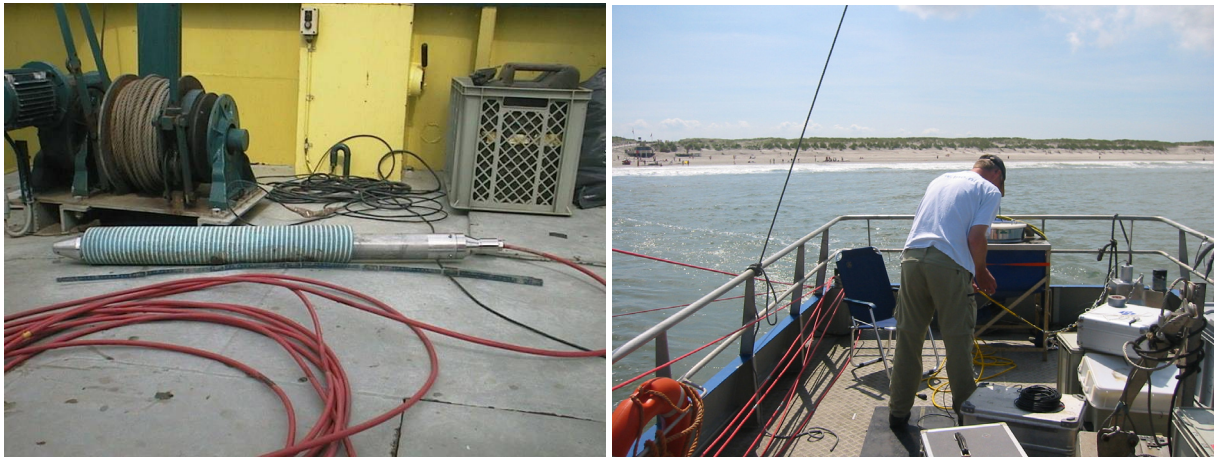


Figuur 3 De side scan sonarvis gebruikt tijdens het onderzoek.

2.3.2 MEDUSA

Het MEDUSA meetsysteem (Multi-Element Detector for Underwater Sediment Activity) is een geofysisch meetsysteem ontwikkeld voor de bepaling van de textuur, korrelgrootte en chemische samenstelling van de toplaag (bovenste 50 cm) van de waterbodem. Het meet de natuurlijke radioactiviteit van sedimenten. Met een sensor kan de concentratie radionucliden in de toplaag van de bodem in kaart worden gebracht. Uit de geochemie en de geologie is bekend dat er een directe relatie bestaat tussen natuurlijke radioactiviteit (de concentratie radionucliden) en de minerale samenstelling van sedimenten. De sterkte van de natuurlijke radioactiviteit varieert van plaats tot plaats afhankelijk van de bodemsamenstelling. Hierdoor is natuurlijke radioactiviteit een goede indicator voor de bodemsamenstelling. Naast de sensor voor natuurlijke straling bevat het systeem ook een sensor voor bodemruwheid op basis van geluid en een sensor voor waterdiepte. Binnen bepaalde randvoorwaarden kan men daarom MEDUSA metingen vertalen naar sedimentkaarten. Met behulp van veldmetingen waarbij de sensor achter een schip wordt aangesleept en laboratoriumanalyse van enkele sedimentmonsters ter kalibratie van de veldmetingen, worden gebiedsdekkende kaarten van de sedimentsamenstelling van de waterbodem gemaakt. Een beschrijving van het MEDUSA systeem wordt gegeven door Roberti (2001) en De Vries & Koomans, (2007) . De resultaten van de metingen uitgevoerd door Medusa Explorations BV zijn beschreven in bijlage F (De Vries & Koomans, 2007).

Tijdens de veldkarakterisatie bij Ameland en bij Egmond is het MEDUSA meetsysteem (Figuur 4) achter het schip de "WR76 Herman Simon" over de waterbodem heen gesleept. Tijdens de kartering is met het MEDUSA systeem informatie verzameld over de samenstelling van de bodem. De positie van de sensor is bepaald met behulp van een DGPS systeem.



Figuur 4 a) De MEDUSA-detector in een gedeelte van de blauwe beschermende PVC-buis. B). Zichtbaar zijn de kabels waarmee de detector achter het schip wordt voortgetrokken

2.4 Sediment en bodemfaunabemonstering

De sedimentsamenstelling en de macrofaunagemeenschap is in de verschillende gebieden op alle geselecteerde locaties beschreven aan de hand van bodemmonsters. De selectie van de locaties heeft plaatsgevonden op basis van de door Rijkswaterstaat verstrekte lodingdata en de resultaten van het onderzoek met de sonar en het MEDUSA systeem. De bodembemonstering is uitgevoerd met een Van Veen happer met een bemonsteringsoppervlak van 0,1 m² (Figuur 5). Op elke locatie is 1 monster genomen voor het beschrijven van de sedimentsamenstelling en de bodemfauna. De geografische positie en diepte t.o.v. NAP is voor elke locatie vastgelegd met behulp van DGPS..

Uit elk monster is een klein submonster genomen voor de bepaling van de sedimentkarakteristieken. Het sediment is verzameld in een plastic zak en voorzien van een unieke code. Het resterende deel van het monster is gebruikt voor bodemfauna-analyse. De monsters zijn daartoe aan boord gezeefd over een zeef met een maaswijdte van 1 mm. Het residu is verzameld in een plastic pot voorzien van een unieke code en geconserveerd in een borax-gebufferde oplossing van 4-6% formaldehyde in zeewater. De monsters zijn tot aan de analyse in het laboratorium bewaard op kamertemperatuur. De gebruikte bemonsteringmethode en de wijze van analyseren is overeenkomstig met eerder uitgevoerde onderzoek in de brandingszone door Janssen en Mulder (2004) en Van Dalfsen (2006).

Tevens zijn op een aantal locaties extra sedimentmonsters genomen voor de validatie van de metingen met het MEDUSA systeem. Deze monsters zijn geanalyseerd door Medusa Explorations BV.

2.5 Sediment en bodemfauna analyse

De sedimentmonsters zijn door TNO geanalyseerd op de korrelgrootteverdeling en het gehalte aan slib. De korrelgrootte analyse is uitgevoerd met een Malvern Master Sizer 2000. De monsters zijn daarvoor gedroogd en vervolgens afgezeefd op 2 mm. De fracties >2 en >4 mm zijn apart gewogen. Het koolstofgehalte is bepaald door na droging de monsters stapsgewijs te verhitten tot een maximum van 1000°C en de procentuele gewichtafname te meten (LOI 105 –1000).

De bodemfaunamonsters zijn in het laboratorium gespoeld om de formaldehydeoplossing te verwijderen. Het residu is vervolgens uitgezocht met behulp van een stereomicroscop. De organismen zijn zoveel mogelijk gedetermineerd tot op soortniveau, waarbij voor elk soort de aantallen individuen per monsters zijn genoteerd.

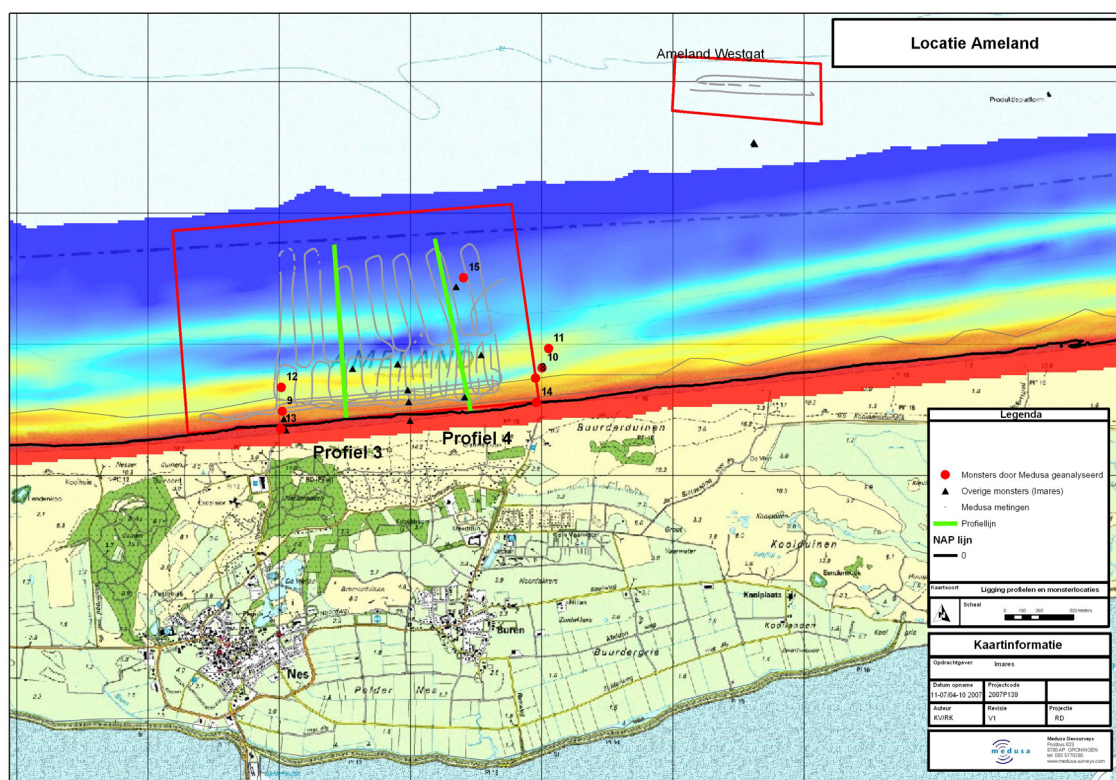


Figuur 5 De gebruikte van Veen happer met een bemonsteringsoppervlak van 0.1 m²

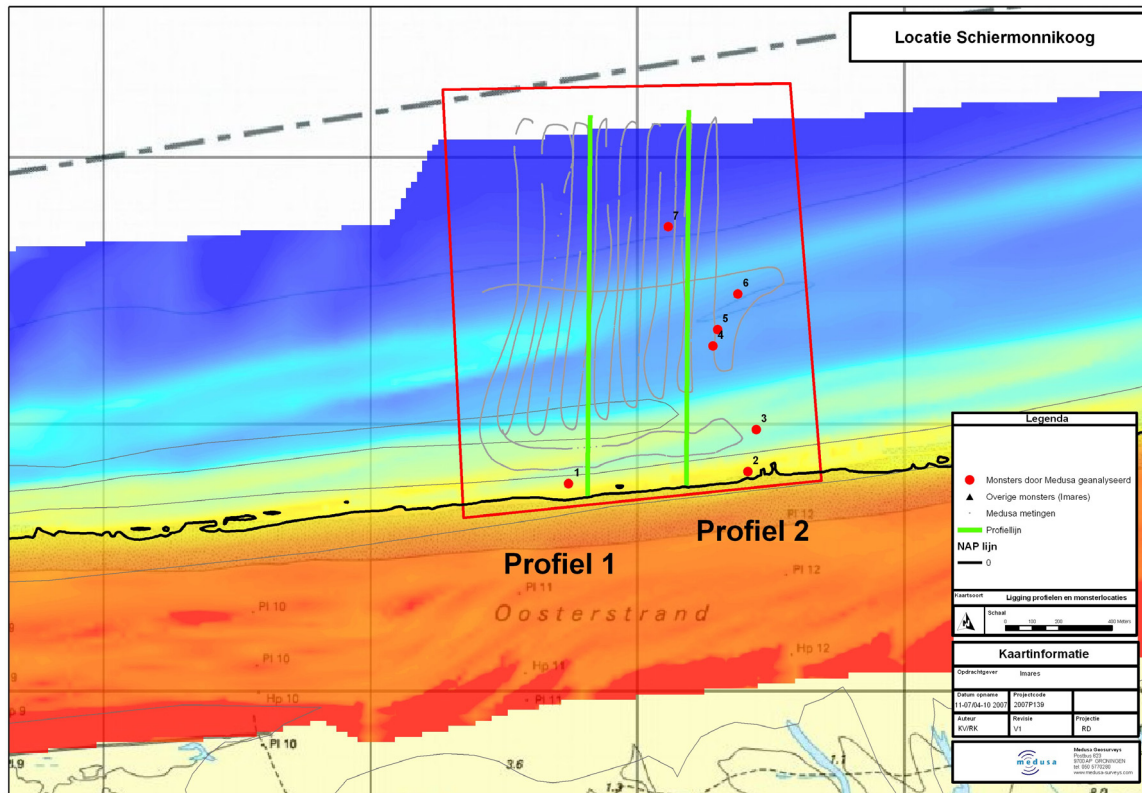
3 Surveyrapportage

3.1 Noordelijke kustgebied: Ameland en Schiermonnikoog

De veldinventarisaties bij Ameland en Schiermonnikoog zijn uitgevoerd in de periode 19 - 21 juni 2007. Op 19 juni heeft allereerst een geofysische beschrijving plaatsgevonden bij Ameland, gevolgd door een geofysische beschrijving en een bodembemonstering bij Schiermonnikoog op 20 juni. Op 21 juni heeft de bodembemonstering bij Ameland plaatsgevonden. Als gevolg van de goede weersomstandigheden konden de geofysische opnames bij Ameland en Schiermonnikoog tot dicht onder het strand worden uitgevoerd. Het side scan sonar systeem werkte echter niet geheel naar behoren waardoor uiteindelijk geen gebiedsdekkende opname is verkregen voor Ameland. Bij Schiermonnikoog heeft de geofysische beschrijving alleen plaatsgevonden met het MEDUSA systeem. Als gevolg van het technische storingen in het side scan sonar systeem is hier geen sonaropname uitgevoerd.



Figuur 6 Ligging van de onderzoeksgebied bij Ameland. De twee brekerbanken voor de kust zijn duidelijk zichtbaar. Aangegeven zijn de met het MEDUSA systeem gevaren raaien, de ligging van de daarmee gemaakte diepteprofielen 3 en 4 en een aantal locaties waar sedimentanalyses zijn uitgevoerd (Medusa Explorations BV, 2007).

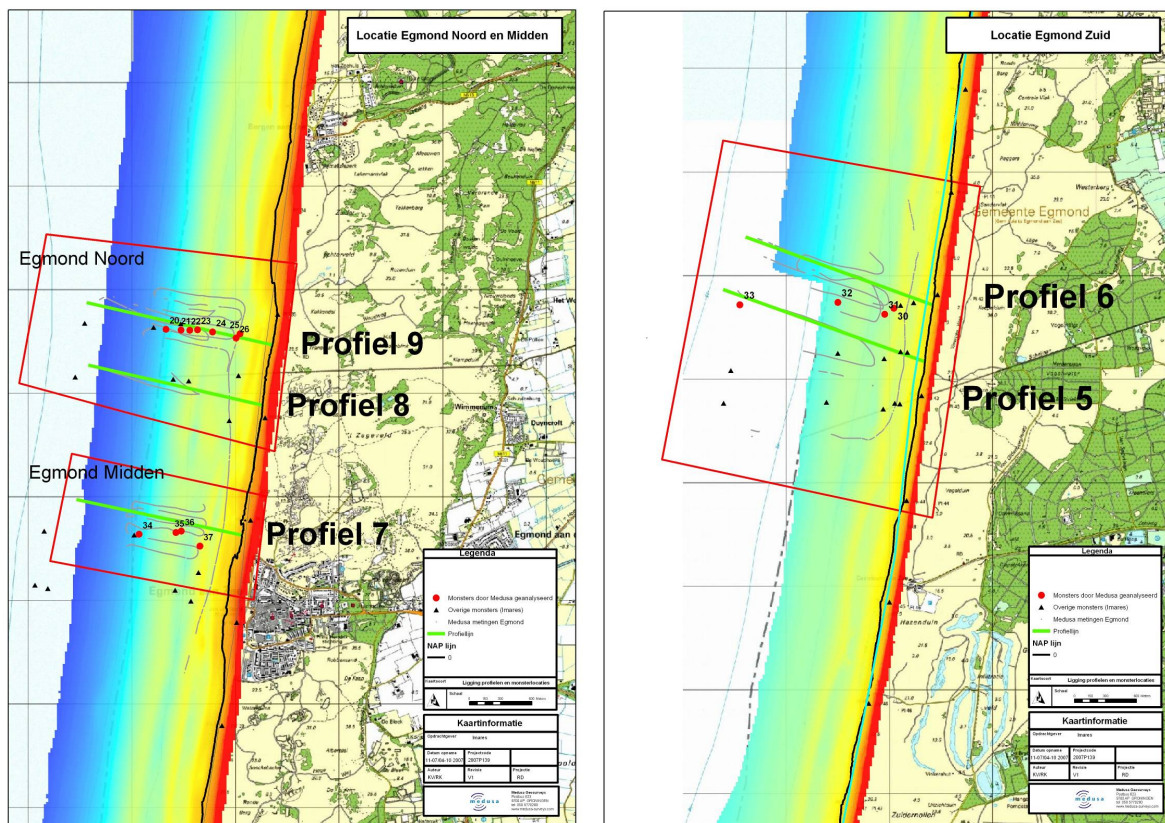


Figuur 7 Ligging van de onderzoeksgebied bij Schiermonnikoog. De twee brekerbanken voor de kust zijn duidelijk zichtbaar. Aangegeven zijn de met het MEDUSA systeem gevaren raaien, de ligging van de daarmee gemaakte diepteprofielen en een aantal locaties waar sedimentanalyses zijn uitgevoerd (Medusa Explorations BV, 2007).

Aanvullend op de geofysische metingen en de bodembemonstering zijn enkele vistrekken uitgevoerd met een 2 m boomkornet. Deze vistrekken zijn uitgevoerd door de Universiteit van Gent in het kader van een promotiestudie naar de invloed die de aanwezigheid van de schelpkokerworm *L. conchilega* heeft op de bodemfauna in de omgeving. Tijdens de juveniele platvisbemonstering is gericht gezocht naar patches met hoge concentraties van *L. conchilega*. Hierbij is gebruik gemaakt van een door TNO IMARES ontwikkeld videosysteem dat geschikt is om in water met een hoge vertroebeling opnames te maken. Bij Ameland bleek dat er zich patches met hoge concentraties van de schelpkokerworm *L. conchilega* bevonden op de wat grotere waterdiepte ver buiten de buitenste brekerbank. Deze locaties bevonden zich op enige afstand van het onderzoeksgebied. Om deze reden en vanwege de grotere waterdiepte en de afstand tot de kust en zijn deze monsters niet meegenomen in dit onderzoek.

3.2 Noord-Hollandse kust: Egmond

De veldinventarisatie in de verschillende gebieden bij Egmond is uitgevoerd op 10, 11 en 19 juli 2007 en kon worden afgerond op 4 oktober 2007 (Figuur 8).



Figuur 8 Ligging van de onderzoeksgebieden bij Egmond Noord (EDR), Midden (EDS) en Zuid (EDZ). De brekerbanken voor de kust zijn duidelijk zichtbaar. Aangegeven zijn de met het MEDUSA systeem gevaren raaien, de ligging van de daarmee gemaakte diepteprofielen en een aantal locaties waar sedimentanalyses zijn uitgevoerd (Medusa Explorations BV, 2007).

Als gevolg van de weersomstandigheden kon op 10 en 11 juli 2007 niet heel dicht onder de kust worden gevaren en konden op de drie geselecteerde gebieden niet in één periode zowel de geofysische beschrijving worden uitgevoerd als ook de bodem worden bemonsterd. De bodembemonstering is uitgevoerd op 19 juli 2007. Mede vanwege de weersomstandigheden zijn de side scan sonar metingen pas veel later verricht en afgerond op 4 oktober 2007.

Bij de visuele inspectie aan boord van de bodemmonsters konden duidelijke verschillen tussen de monsterlocaties worden vastgesteld.



Figuur 9 Voorbeelden van uitgespoelde bodemmonsters met links redelijke aantallen van de Schelpkokerworm *Lanice conchilega* (Schiermonnikoog, locatie SG 22) en rechts een monster met veel schelpengruis en weinig zichtbare fauna (Egmond Referentie, locatie EDR 8).

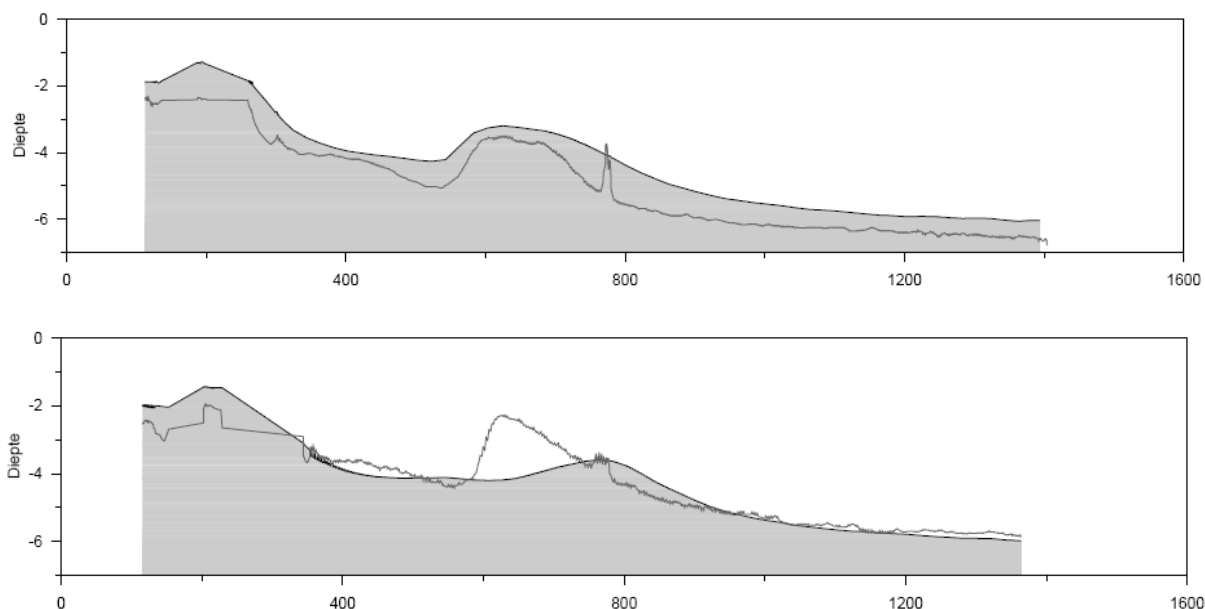
4 Resultaten remote sensing technieken

4.1 Diepteprofiel van de brandingszone

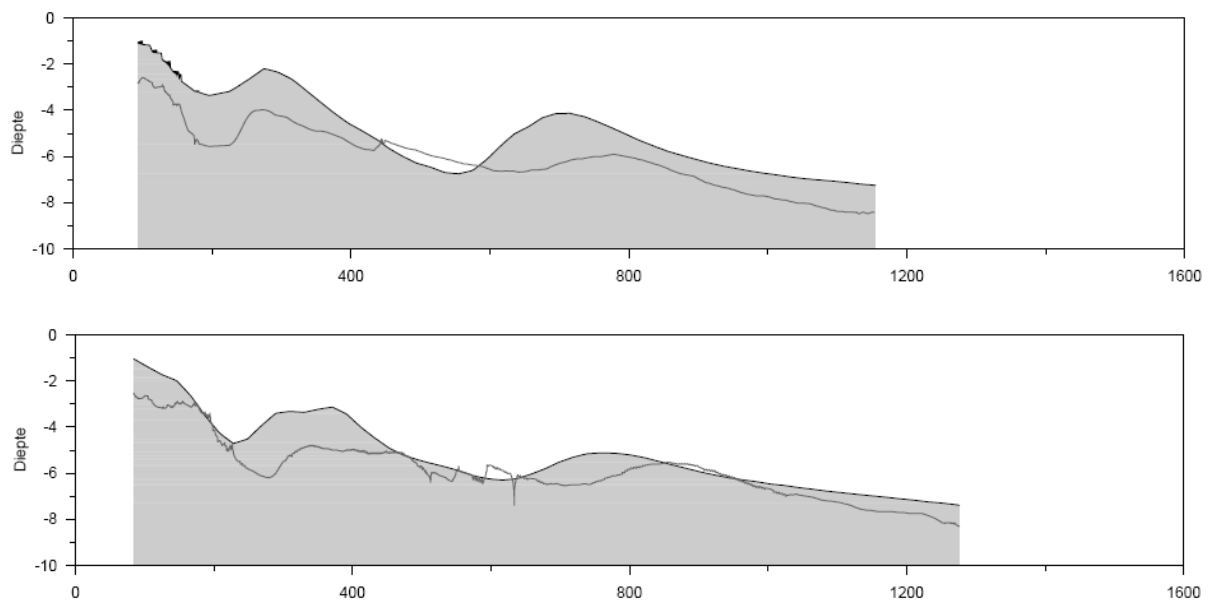
Bij Ameland varieert de waterdiepte in het onderzoeksgebied van -1 m tot -7,5 m +NAP (Bijlage A en Figuur 10). Er is hier sprake van een systeem van evenwijdig aan de kust liggende brekerbanken op een afstand van circa 300 - 400 en 800 - 900 m in het gemeten dwarsprofiel. Uit de metingen die met het MEDUSA systeem zijn gedaan blijkt dat vooral de 2^e brekerbank ten opzichte van de Jarkusopnames uit 2006 iets zeewaarts is opgeschoven. Opnames zijn gemaakt tot circa 1200 m vanaf de 0-lijn.

De waterdiepte in het onderzochte gebied bij Schiermonnikoog varieert van -0,8 m tot -7 m +NAP (Bijlage A en Figuur 11). In het diepteprofiel is te zien dat er ook hier sprake is van een systeem met twee evenwijdig aan de kust liggende brekerbanken op een afstand van circa 200 en 650m in het gemeten dwarsprofiel. Uit de metingen die met het MEDUSA systeem zijn gedaan blijkt dat de 2^e brekerbank ten opzichte van de Jarkusopnames uit 2006 in profiel 2 duidelijk kustwaarts is opgeschoven en ook een sterk asymmetrisch profiel heeft. Opnames zijn gemaakt tot circa 1400 m vanaf de 0-lijn.

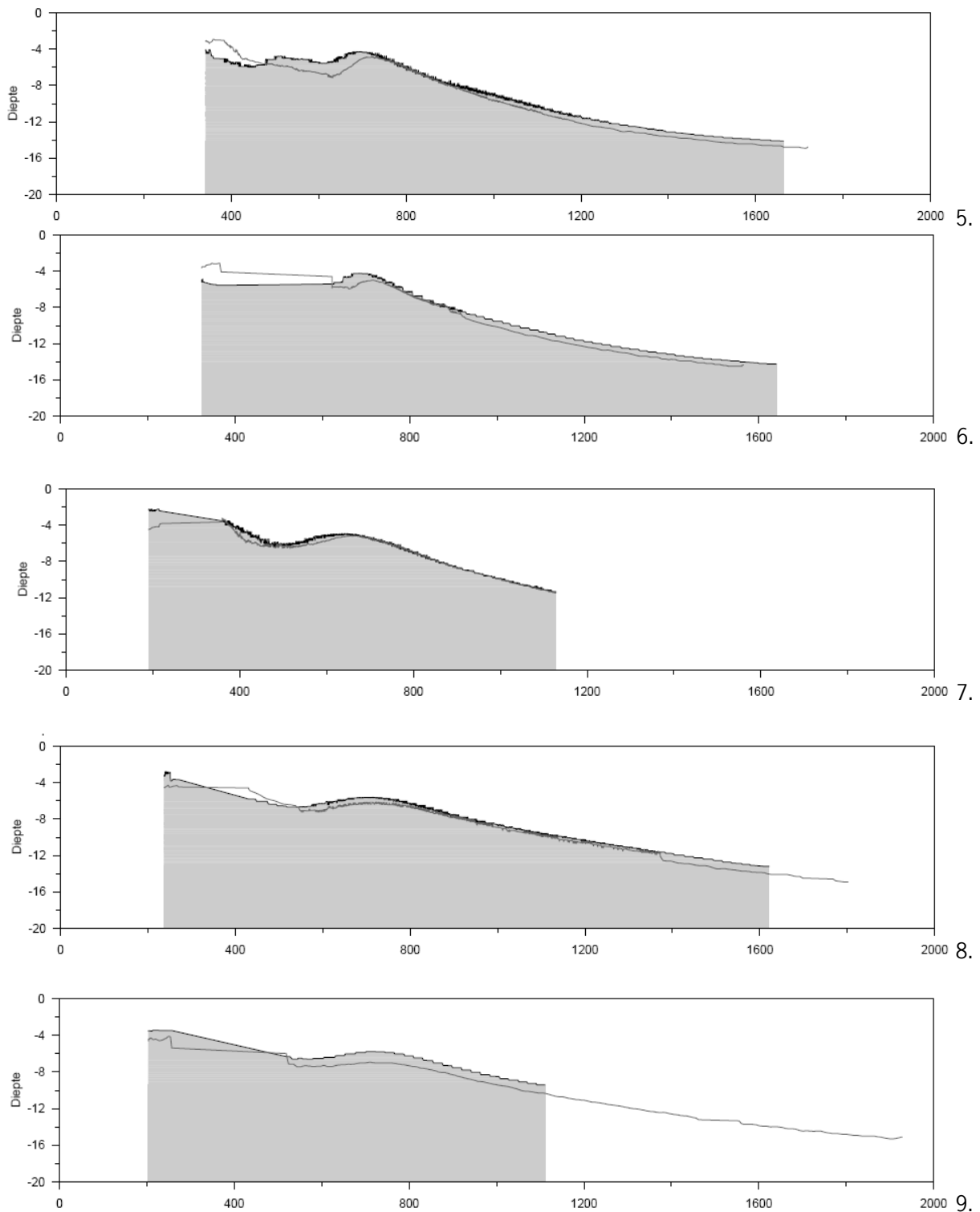
In de onderzochte gebieden Egmond Referentie, Egmond Suppletie en Egmond Zuid varieert de waterdiepte in het onderzoeksgebied van -1 m tot -14 m +NAP. Ook bij Egmond bevindt zich een systeem met evenwijdig aan de kust liggende brekerbanken (Figuur 12). In dit systeem lijkt de buitenste (2^e) brekerbank iets minder geprononceerd dan voor de kust van de Waddeneilanden Ameland en Schiermonnikoog. De brekerbanken bevinden zich op circa 200-300 m en 700 m uit de kust.



Figuur 10 Diepteprofielen bij Schiermonnikoog. In grijs: Jarkus profiel Rijkswaterstaat, dunne lijn: drukmeting MEDUSA. boven: profiel 1, onder: profiel 2. (Medusa Explorations B.V. 2007)



Figuur 11 Diepteprofielen bij Ameland (Profiel 3). In grijs: Jarkus profiel Rijkswaterstaat, dunnen lijn: drukmeting MEDUSA. boven: profiel 3, onder: profiel 4. (Medusa Explorations B.V. 2007).



Figuur 12 Diepteprofielen bij Egmond (EDR, EDS & EDZ, profielen 5, 6, 7, 8 en 9. In grijs: Jarkus profiel Rijkswaterstaat, dunne lijn: drukmeting MEDUSA (Medusa Explorations B.V. 2007).

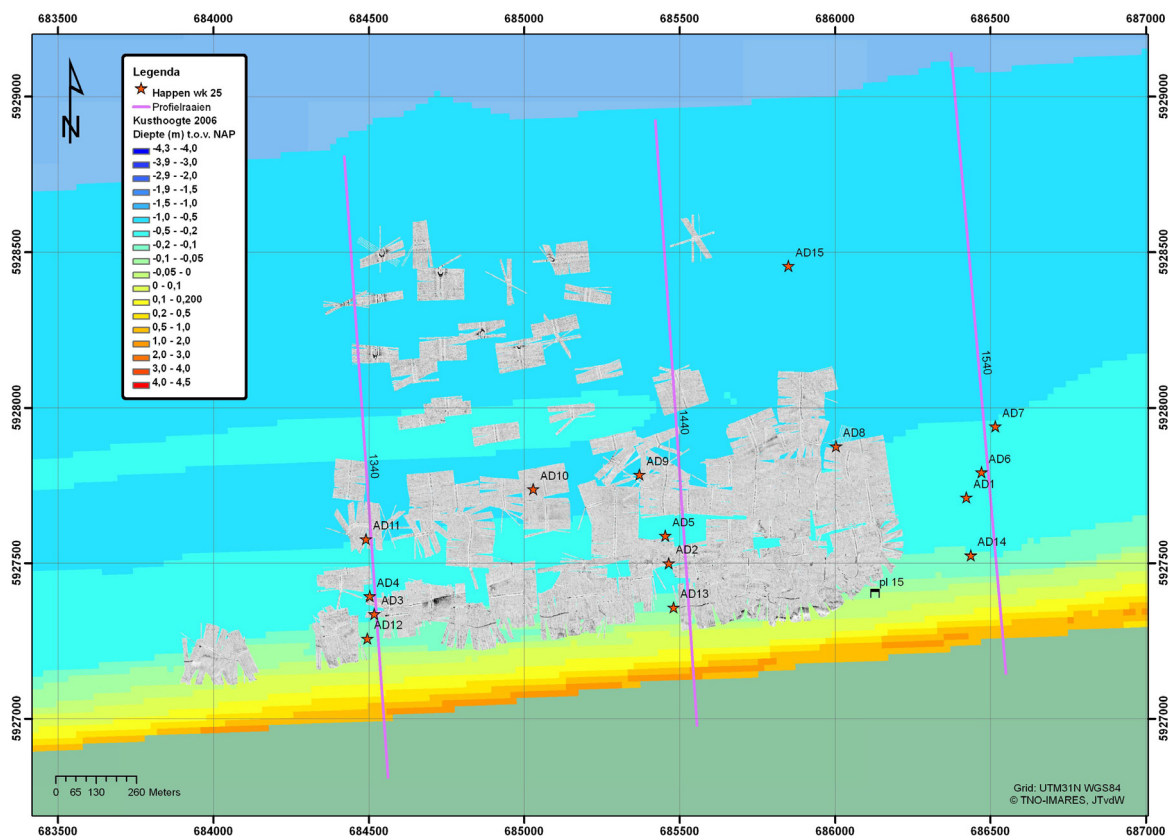
Op grond van de ligging ten opzichte van de kust en de diepte, zijn de monsters bij Ameland, Schiermonnikoog en Egmond verdeeld over 7 morfologische strata (Bijlage B).

4.2 Side scan sonar

4.2.1 Noordelijke kustgebied: Ameland

De side scan sonar opnames bij Ameland zijn verwerkt in een mozaïekkaart (Figuur 13). De verkregen sonardata hebben geen gebiedsdekkende kaart opgeleverd door storingen in het sonarsysteem.

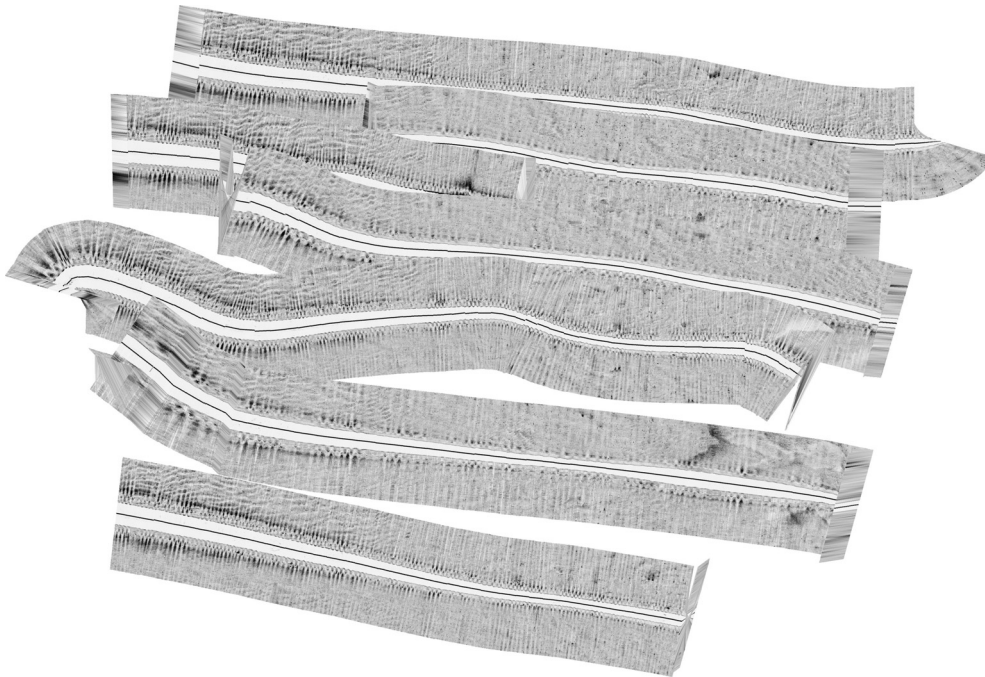
De mozaïekkaart laat zien dat de reflectie van de bodem bij Ameland vrij uniform is. Op de mozaïekkaart is slechts op een klein aantal plaatsen een afwijkende reflectie zichtbaar (b.v. donkere vlekken) ten opzichte van het algemene beeld).



Figuur 13 Sonarmozaïek op basis van de gevaren transecten bij Ameland.

4.2.2 Noord-Hollandse kust: Egmond

De resultaten van de side scan sonar opnames bij Egmond zijn als bijlage aan het rapport toegevoegd (Bijlage E). verwerkt in een een mozaïekkaart, weergegeven in Figuur 14. De sonarkaarten voor de verschillende deelgebieden laten net als bij Ameland zien dat de bodem in het gebied op enkele afwijkende reflectiepatronen na als uniform kan worden beschouwd. Bij Egmond Referentie zijn op de sonarbeelden van de tracks parallel aan de kust op meerdere plaatsen duidelijk donkere reflecties zichtbaar (Bijlage G). Ook in de andere gebieden zijn dergelijke vlekpatronen te zien. Deze afwijkende reflectiepatronen zijn waarschijnlijk het gevolg van door wind- en golfrichting veroorzaakte 'roll' storingen.



Figuur 14 Sonarmozaiek op basis van de gevaren transecten bij Egmond Midden, zie ook Figuur 8 (Van Overmeeren, 2007).

4.3 Medusa systeem

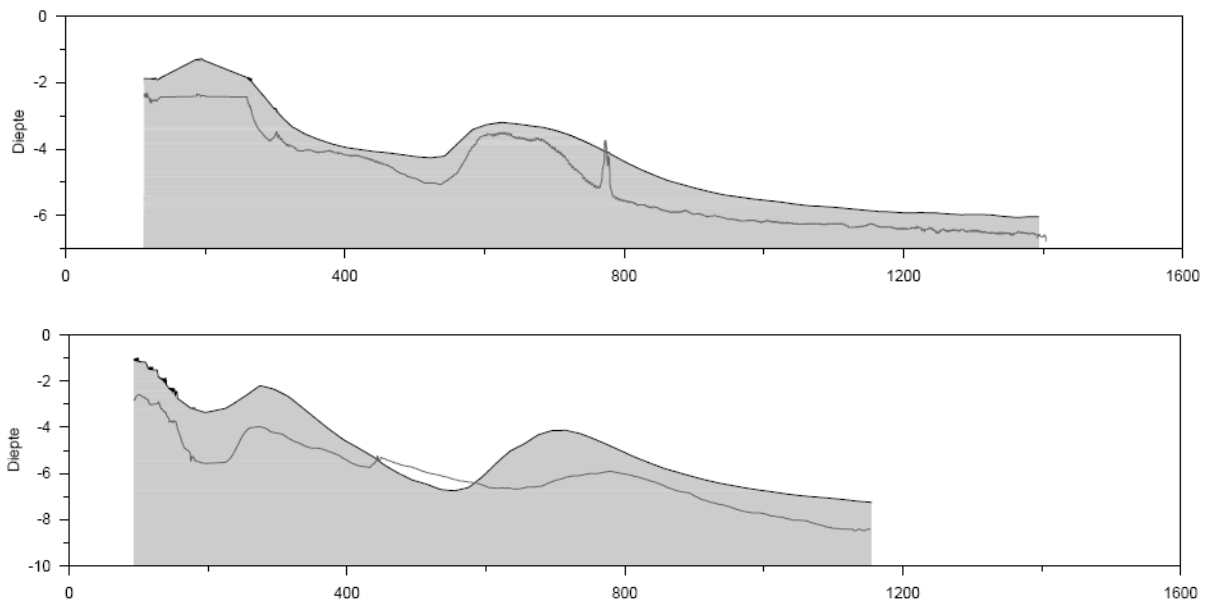
De resultaten van de kartering met het MEDUSA systeem is als bijlage aan het rapport toegevoegd (Bijlage F).

4.3.1 Noordelijke kustgebied: Ameland en Schiermonnikoog

Bij Ameland neemt het gehalte aan zware mineralen toe met de afstand tot de kust. De gehalten zijn daarbij lager op de toppen van de brekerbanken en vertonen een verhoging zeewaarts van de brekerbanken. In de tweede trog is een duidelijke verhoging zichtbaar. Bij Schiermonnikoog is een zelfde trend waarneembaar in het gehalte aan zware mineralen. Hier laat echter de concentratie aan zware mineralen geen duidelijke verhoging zien tussen de brekerbanken.

De korrelgrootte bepaald met het MEDUSA systeem laat bij Ameland en Schiermonnikoog een geringe variatie in de mediane korrelgrootte zien. Bij Schiermonnikoog is er een geringe afname in de korrelgrootte met de afstand tot de kust. Bij Ameland is dit niet het geval.

De bodemruwheid is bij Ameland verhoogd in de ondiepe zone dichtbij het strand en neemt af met de afstand tot de kust. Ook aan de zeezijde van de brekerbanken is de bodemruwheid iets hoger. De bodemruwheid in het onderzoeksgebied bij Schiermonnikoog laat een zelfde patroon zien.



Figuur 15 Boven profiel 1 schier, onder profiel 3 ameland

4.3.2 Noord-Hollandse kust: Egmond

In het gebied van Egmond Suppletie is er een geleidelijke toename in het gehalte aan zware mineralen met de afstand tot de kust. Dit is ook het geval bij Egmond Zuid. Bij Egmond Referentie is de geleidelijke toename met de afstand tot de kust veel minder duidelijk.

In de gebieden EDR, EDS en EDZ is er een verschil in de ruimtelijke verdeling van de mediane korrelgrootte. Lokaal zijn er kleine verschillen. De kaarten lijken erop te duiden dat in de ondiepe zone vlak voor de kust in beide referentiegebieden een duidelijke verhoging van de korrelgrootte aanwezig is, die niet voorkomt in Egmond Midden. Voor Egmond Midden en Egmond Noord zijn de patronen ruimtelijk wel erg variabel.

De kaart van de bodemruwheid geeft aan dat deze in de ondiepe zone tussen het strand en de 1^{ste} brekerbank in Egmond Midden lager is dan in de referentiegebieden. Op de profielen is dit verschil echter niet duidelijk. Mogelijk als gevolg van de keuze voor de ligging van de profielen.

4.4 Vergelijk van de locaties

In de onderzochte gebieden bij Ameland, Schiermonnikoog en de deelgebieden bij Egmond is vlak voor de kust en parallel daaraan gelegen een systeem met twee brekerbanken aanwezig. De sedimenteigenschappen voor de kust van Ameland en Schiermonnikoog laten een iets grotere variatie zien dan in de drie deelgebieden bij Egmond.

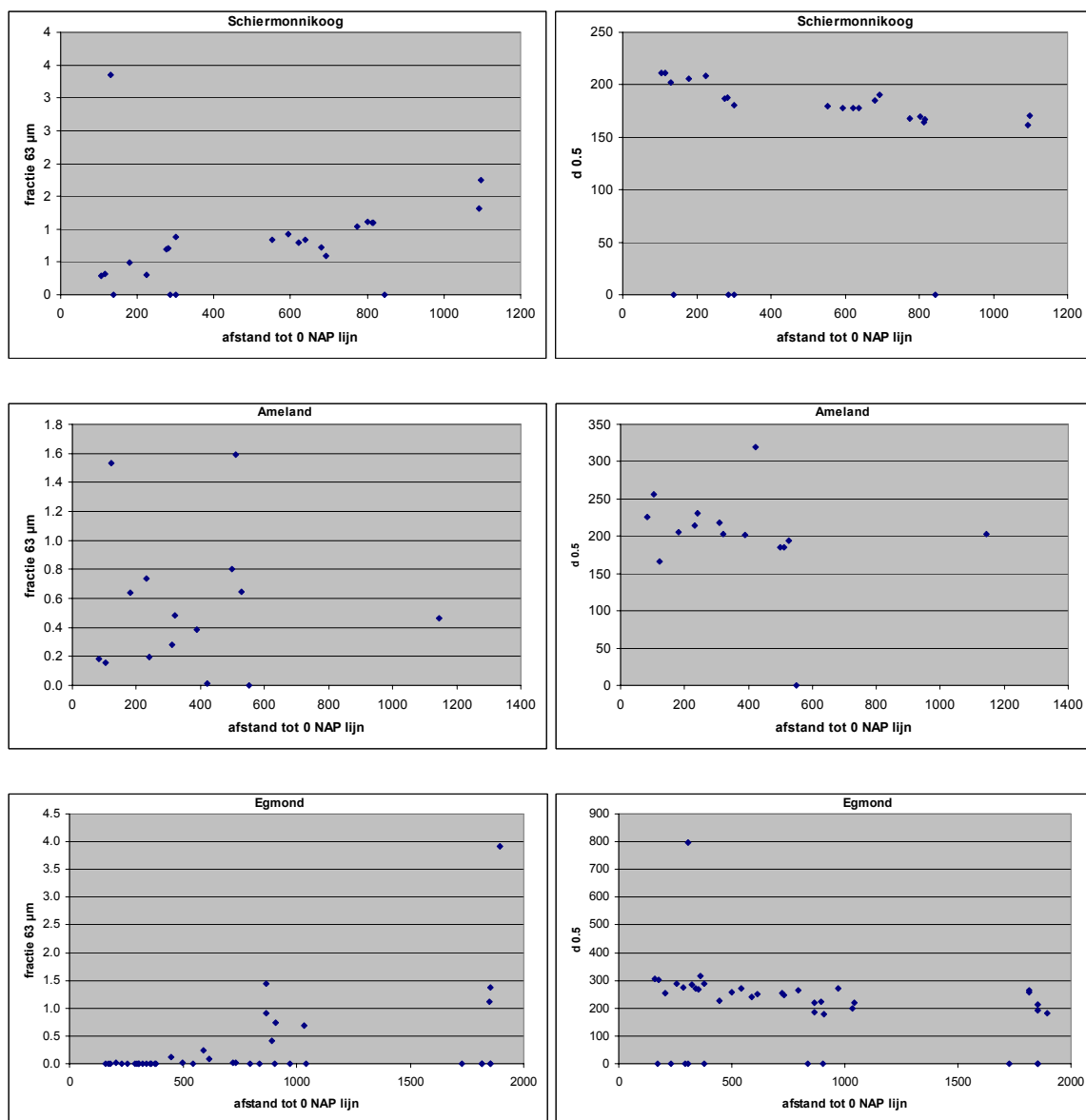
Er is een duidelijke relatie tussen de grootschalige morfologie en de verspreiding van zware mineralen en de mediane korrelgrootte. Op de toppen van de brekerbanken is het sediment iets grover en is het gehalte aan zware mineralen verhoogd.

In de sedimentsamenstelling bij Ameland en Schiermonnikoog is geen duidelijk verschil te zien dat mogelijk kan worden toegerekend aan uitgevoerde zandsuppleties in het nabije verleden. Bij Egmond lijkt er wel een klein verschil te zijn in de korrelgroottesamenstelling tussen het gebied waar gesuppleerd is (EDS) en de twee

referentiegebieden waar geen suppletie heeft plaatsgevonden (EDZ en EGR). De korrelgrootte in de ondiepe zone vlak voor de kust lijkt in de beide referentiegebieden verhoogd te zijn, terwijl dit minder duidelijk is voor Egmond Suppletie.

5 Sedimentsamenstelling

In bijlage B zijn de resultaten van de korrelgrootte analyse, uitgevoerd door TNO Bouw en Ondergrond, weergegeven voor de verschillende monsters. Voor de gebieden zijn de sedimentparameters slibgehalte (<63 μm) en mediane korrelgrootte ($d_{0.5}$) uitgezet ten opzichte van de afstand tot de kust (Figuur 16). Gegevens over de bodemruwheid, korrelgrootteverdeling en zware mineralen, zoals die bepaald zijn met het MEDUSA systeem, zijn vermeld in de rapportage van MEDUSA Explorations BV die is bijgevoegd in Bijlage F. In hoofdstuk 4.3 is een korte samenvatting van deze resultaten gegeven. De slibfractie (< 63 μm) is overal laag en bedraagt meestal minder dan 1 %. De hoeveelheid organisch materiaal is in alle onderzochte gebieden laag en varieert tussen de 0% en een maximale waarde van 5.6%.



Figuur 16 Slibgehalte en mediane korrelgrootte uitgezet tegen de afstand tot de kust.

5.1 Schiermonnikoog

5.1.1 Korrelgrootteverdeling

In Tabel 1 zijn de gemiddelde waarden per morfologisch stratum vermeld. In de eerste trog 1 is de fractie < 63 µm hoog. In de overige strata is deze laag. Er is na trog 1 wel een geleidelijke toename met de diepte. De mediane korrelgrootte laat een afname zien met een toenemende diepte.

Tabel 1 Diepte, en gemiddelde waarden voor de fractie <63 µm, mediane korrelgrootte (d 0.5) en sortering (d0.6/d0.1) voor de verschillende morfologisch strata bij Schiermonnikoog

Schiermonnikoog	n	diepte m	< 63	d0.5	d0.6/d0.1
Trog 1	2	1,3 - 1,4	3,34	202,5	1,53
Brekerbank 1 (top)	5	1,1 - 2,5	0,35	209,4	1,49
Helling 1	4	2,1 - 2,6	0,79	184,0	1,46
Trog 2	3	3,9 - 4,2	0,78	182,0	1,47
Brekerbank 2 (top)	4	3,0 - 3,6	0,86	176,6	1,47
Helling 2	4	4,2 - 4,8	1,08	168,2	1,46
Helling 3	2	5,7	1,53	166,1	1,48

5.2 Ameland

5.2.1 Korrelgrootteverdeling

In Tabel 2 zijn de gemiddelde waarden per morfologisch stratum vermeld. Bij Ameland wordt het hoogste slibgehalte aangetroffen op de top van de tweede brekerbank. Er is geen duidelijk trend waarneembaar in het slibgehalte of de mediane korrelgrootte zoals bij Schiermonnikoog.

Tabel 2 Diepte, en gemiddelde waarden voor de fractie <63 µm, mediane korrelgrootte (d 0.5) en sortering (d0.6/d0.1) voor de verschillende morfologisch strata bij Ameland

Ameland	n	diepte m	< 63	d0.5	d0.6/d0.1
Trog 1	3	1,0 - 1,2	0,62	216,37	1,59
Brekerbank 1 (top)	2	2,3- 3,6	0,55	212,81	1,53
Helling 1	0				
Trog 2	4	2,0 - 5,4	0,56	229,95	1,64
Brekerbank 2 (top)	3	5,6 - 7,4	1,20	185,30	1,54
Helling 2	2	3,5 - 4,6	0,52	197,41	1,54
Helling 3	1	7	0,46	203,08	1,49

5.3 Egmond

5.3.1 Korrelgrootteverdeling

In Tabel 3 zijn de gemiddelde waarden per morfologisch stratum vermeld. De slibfractie is over het algemeen erg laag, maar neemt toe met de waterdiepte. In het ondiepe deel van de kust is de mediane korrelgrootte iets hoger dan in het diepere deel. Dit patroon is waargenomen zowel bij Egmond Zuid en Referentie als bij Egmond Suppletie. Echter bij Egmond Suppletie is de mediane korrelgrootte op de eerste brekerbank en op het lagere deel van de buitenste helling (HE3) beduidend lager dan bij Egmond Referentie en Zuid. Op de tweede brekerbank

en op het eerste deel van de buitenste helling is dit omgekeerd en is de mediane korrelgrootte juist hoger bij Egmond Suppletie.

Tabel 3 Diepte, en gemiddelde waarden voor de fractie <63 µm, mediane korrelgrootte (d0.5) en sortering (d0.6/d0.1) voor de verschillende morfologisch strata bij Egmond Referentie en Zuid (boven) en Egmond Suppletie (onder).

EDR & EDZ	n	diepte m	< 63	d0.5	d0.6/d0.1
Trog 1	4	2,7 - 3,7	0,01	279,04	1,54
Brekerbank 1 (top)	5	2,6 - 4,5	0,00	473,02	2,07
Helling 1	1	6,1	0,12	226,14	1,50
Trog 2	5	3,1 - 4,9	0,00	279,90	1,49
Brekerbank 2 (top)	2	5,5 - 7,3	0,84	212,30	1,68
Helling 2	5	4,7 - 8,0	0,34	231,89	1,56
Helling 3	8	7,7 - 13,5	0,48	228,48	1,78
<hr/>					
EDS	n	diepte m	< 63	d (0.5)	d(0.6)/d(0.1)
Trog 1	-				
Brekerbank 1 (top)	2	4,0 - 4,6	0,00	279,48	1,53
Helling 1	-				
Trog 2	2	5,2 - 6,0	0,01	264,37	1,54
Brekerbank 2 (top)	2	5,0 - 6,8	0,09	250,39	1,56
Helling 2	2	9,7 - 10,0	0,20	245,98	1,64
Helling 3	3	13,3 - 13,5	3,91	181,05	1,57

6 Macrofaunagemeenschap

De resultaten van de bodemfauna-analyses zijn weergegeven in bijlage C. Het monster van locatie SG-4 bleek onvoldoende geconserveerd te zijn en is niet geanalyseerd. In de bodemmonsters van de onderzochte gebieden bij Schiermonnikoog, Ameland en Egmond zijn in totaal 95 macrofaunasoorten of soortgroepen aangetroffen. Daarvan kunen 6 soorten gerekend kunnen worden tot de mobiele epifauna (*Carcinus maenus*, *Crangon crangon*, *Schistomysis kervillei* en *Gastrosaccus spinifer*, en een groep van niet nader te determineren decapoda larven en juveniele Mysidacea). Omdat deze groep met een Van Veen happer niet goed kwantitatief bemonsterd wordt, zijn deze soorten niet in de analyses betrokken. Verder is een correctie toegepast voor juveniele soorten wanneer in een monster ook soorten werden aangetroffen uit hetzelfde genus. In (Tabel 4) is een overzicht gegeven van de aangetroffen soorten per gebied.

Tabel 4 Aantallen soorten per phylum voor Schiermonnikoog, Ameland en Egmond (gecorrigeerd voor mobiele epifauna en juvenielen).

	Schiermonnikoog	Ameland	Egmond
Phylum			
Annelida	24	22	28
Crustacea	12	15	15
Mollusca	6	6	10
Echinodermata	1	1	1
Overig	1	1	5
Totaal	44	45	59

6.1 Schiermonnikoog

6.1.1 Diversiteit en abundantie

In de monsters van Schiermonnikoog zijn in totaal zijn 44 macrofaunasoorten of soortgroepen aangetroffen. De belangrijkste groep wordt gevormd door de wormen met 24 soorten gevolgd door de kreeftachtigen met 12 soorten.

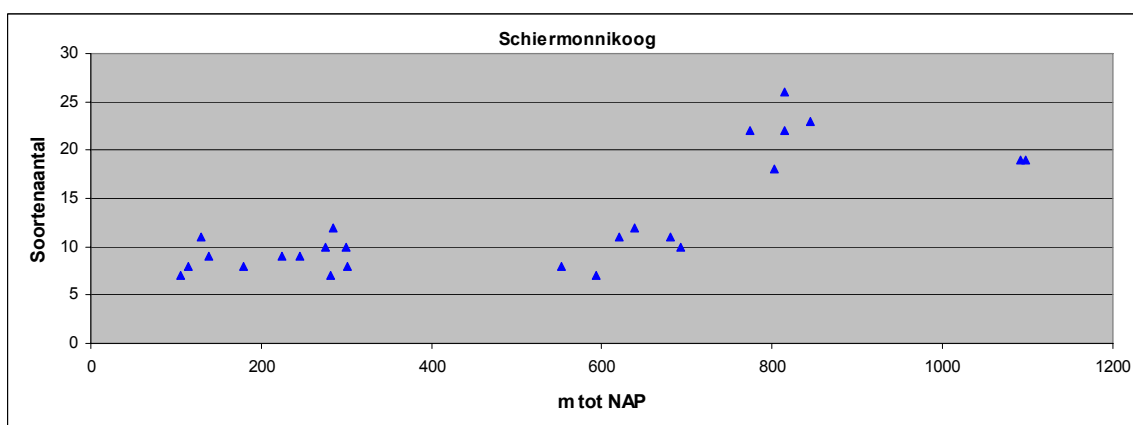
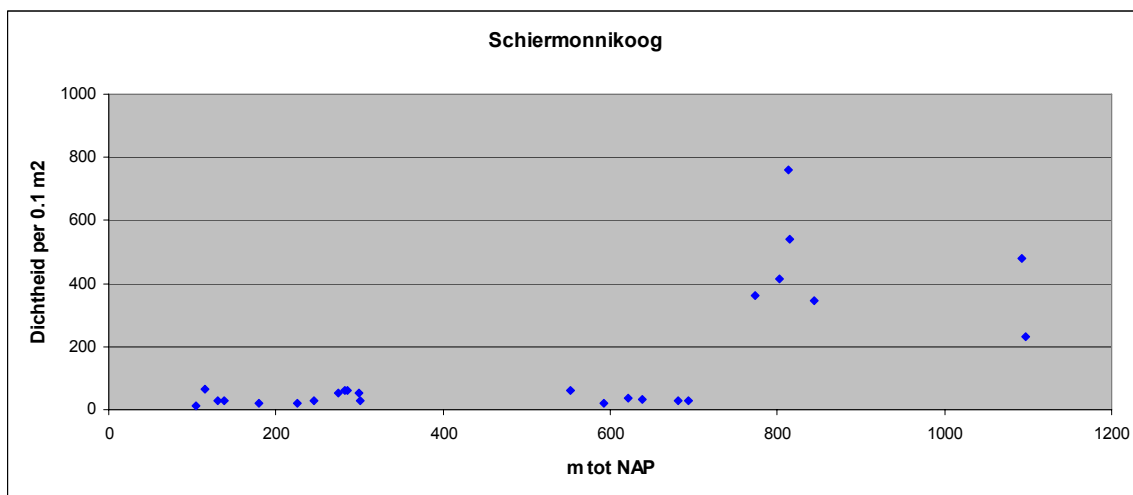
De soorten met de hoogste gemiddelde dichtheid zijn de polychaete wormen *Spio martinensis*, *Magelona johnstoni*, *Lanice conchilega*, *Spiophanes bombyx* en *Nephtys cirrosa* en de amphipode *Bathyporeia elegans*.

De verdeling van de soorten over het gebied is niet uniform. Aan de hand van lodingsgegevens zijn de monsters verdeeld over 7 morfologische en/of dieptegerelateerde strata. Voor deze strata zijn een aantal diversiteitsparameters berekend (Tabel 5).

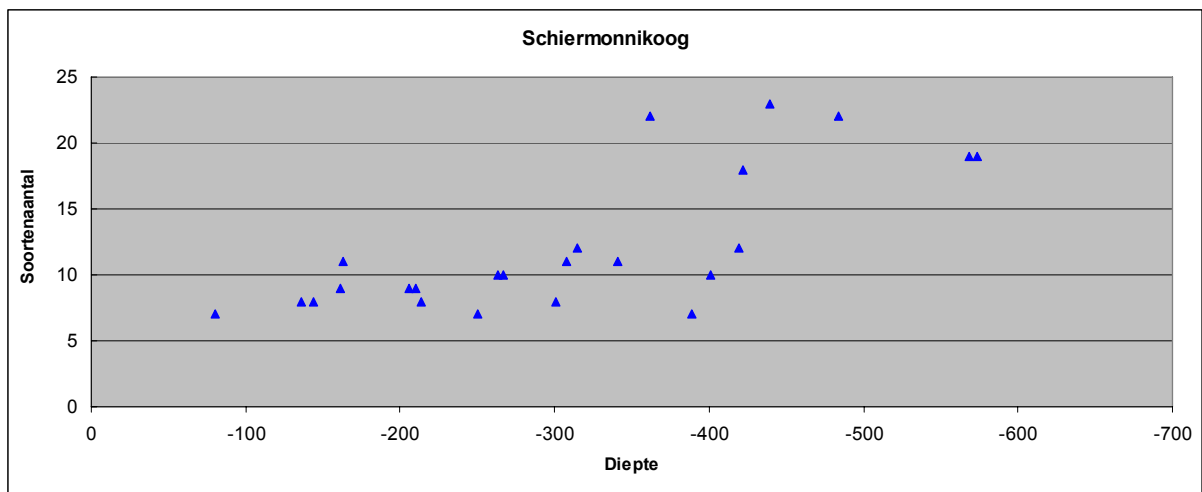
Er is in het gebied een duidelijke tweedeling zichtbaar. De dichtheid en het aantal soorten zijn vrij constant van de top van de eerste brekerbank tot in de tweede trog. Pas vanaf de buitenste brekerbank neemt de dichtheid en het soortenaantal sterk toe zoals ook te zien is in figuur 16 en 17. De macrofauna in de twee troggen is vergelijkbaar, maar niet duidelijk anders van de overige strata in eerste deel van de brandingszone. De diversiteit, uitgedrukt in de Shannon Wiener index H' varieert tussen 2.4 en 3.9 en is op de buitenste hellingen duidelijk hoger dan in de rest van het gebied.

Tabel 5 Aantal stations (n), gemiddeld aantal soorten (S), abundantie (n/m²) Pielou's eveness index (J') en Shannon-Wiener index (H') per stratum.

Schiermonnikoog	Code	diepte (cm)	n	S	N/m2	J'	H'(loge)
Brekerbank 1 (top)	BB1	-145	5	9	300	0,9	2,5
Trog 1	T1	-187	2	10	280	0,8	2,7
Helling 1	HE1	-265	4	10	490	0,8	2,4
Trog 2	T2	-403	3	10	280	0,9	2,7
Brekerbank 2 (top)	BB2	-328	4	14	2220	0,8	2,8
Helling 2	HE2	-454	4	24	4150	0,6	3,9
Helling 3	HE3	-571	2	21	3560	0,7	3,4

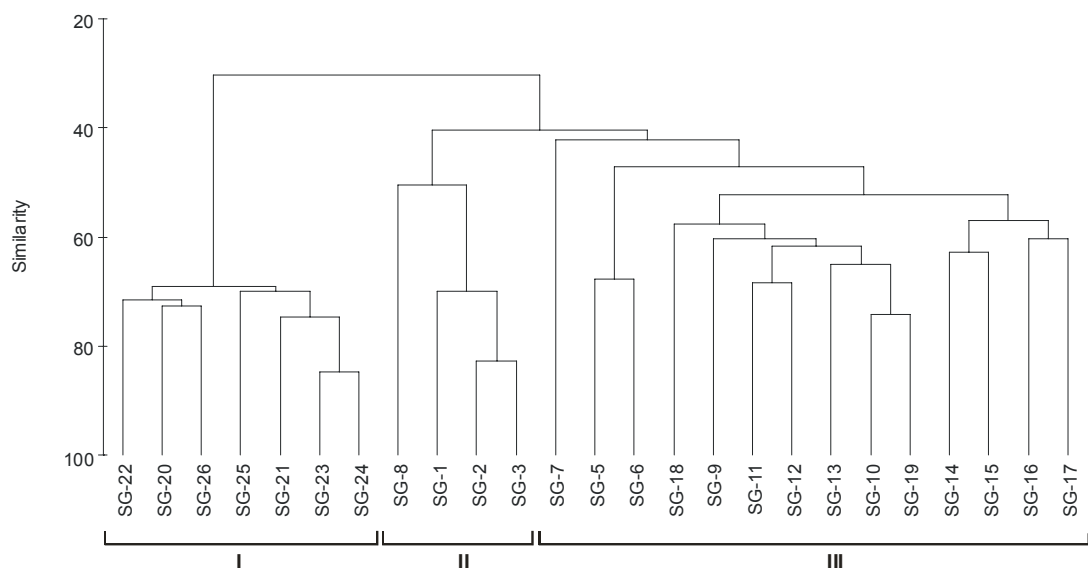


Figuur 17 Relatie tussen de afstand tot de kust en de dichtheid en het aantal soorten voor Schiermonnikoog.



Figuur 18 Relatie tussen het aantal soorten en de diepte (in cm) voor Schiermonnikoog

De macrofaunagemeenschap in de ondiepe kustzone van Schiermonnikoog is op basis van het aantal soorten en de dichtheid geanalyseerd met behulp van een clusteranalyse. De verschillende locaties worden daarbij verschillende groepen geclusterd die onderling een grotere mate van overeenkomst vertonen in macrofaunasamenstelling dan met de andere locaties (Figuur 19). Een groep stations (I) vertoont een grote mate van overeenkomst en wordt duidelijk apart geclusterd. Dit zijn de stations op de buitenste hellingen (HE2 en HE3). Deze stations worden gekenmerkt door een relatief hogere dichtheid en soortenrijkdom. Een tweede cluster (II) wordt gevormd door vier van de stations gelegen op de eerste brekerbank. Deze stations hebben een lage dichtheid en ook het aantal soorten is hier iets lager dan op de andere stations. Een derde cluster omvat vooral de stations van Helling 1, Brekerbank 2 en van de troggen T1 en T2. Deze worden binnen dit cluster nog apart gegroepeerd (T1: SG-5 en SG-6; T2: SG-14, SG-15 en SG-17). De diversiteit en dichtheid neemt op deze stations een tussenpositie in.



Figuur 19 Dendrogram gebaseerd op de clusteranalyse van de locaties bij Schiermonnikoog op basis van soortenrijkdom en abundantie (Fourth root getransformeerd). Aangegeven zijn de locatienummers.

6.2 Ameland

6.2.1 Diversiteit en abundantie

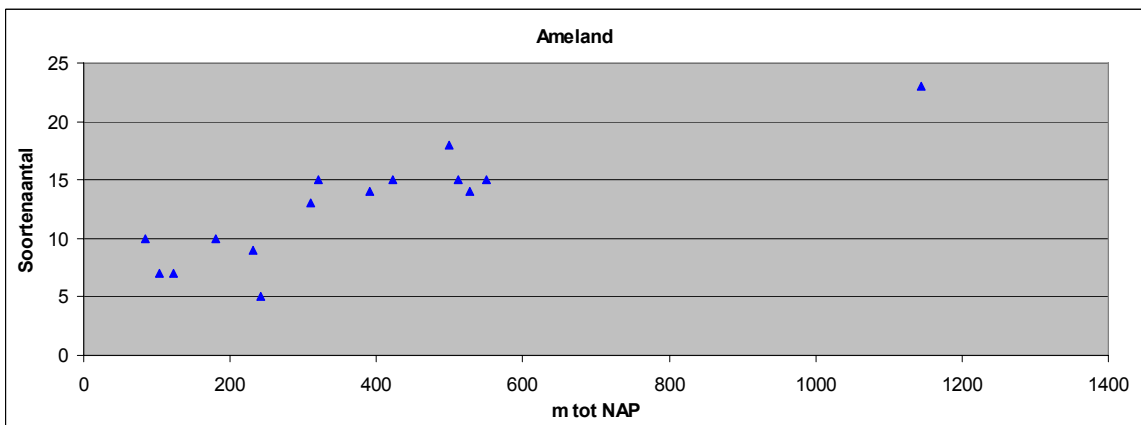
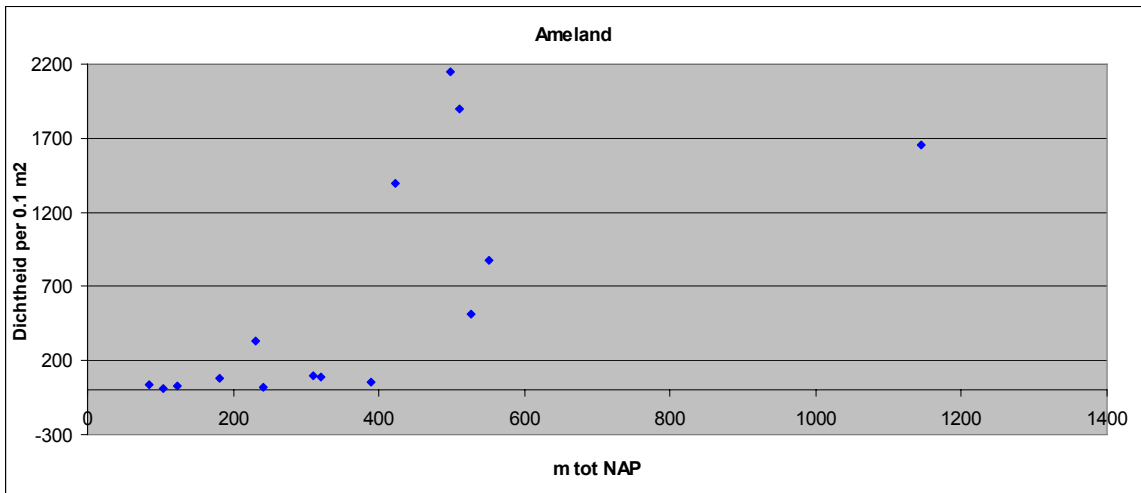
In de monsters van Ameland zijn in totaal zijn 45 macrofaunasoorten of soortgroepen aangetroffen. Ook op Ameland wordt de belangrijkste groep gevormd door de wormen met 22 soorten. De kreeftachtigen volgen met 15 soorten. De hoogste gemiddelde dichtheid wordt op Ameland bereikt door de polychaete wormen *Spio martinensis*, *Magelona johnstoni*, *Magelona mirabilis*, *Capitella capitata* en *Lanice conchilega*. De overige soorten komen in lagere dichtheden voor.

Het aantal soorten neemt geleidelijk toe met de diepte en afstand tot de kust (Tabel 6 en Figuur 19 en 20). Dit is niet het geval met de dichtheid, die vooral op Brekerbank 2 en Helling 3 duidelijk verhoogd is. De diversiteitsindex H' is over het algemeen iets lager dan bij Schiermonnikoog, door de zeer ongelijkmatige verdeling van aantallen over de soorten (J' is laag).

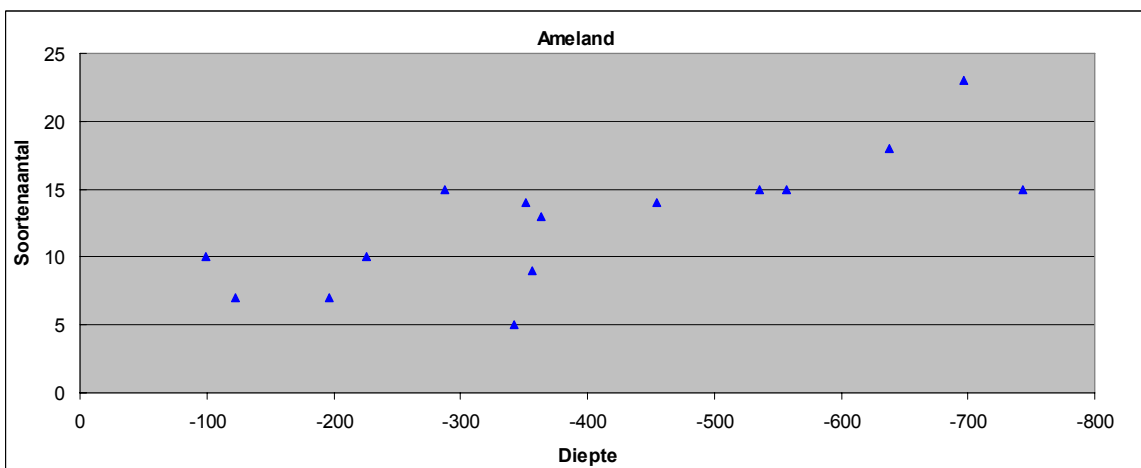
Tabel 6 Aantal stations (n), gemiddeld aantal soorten (S), abundantie (n) Pielou's evenness index (J') en Shannon-Wiener index (H') per stratum.

Ameland	Code	diepte	n	S	N/m2	J'	H'(loge)
Brekerbank 1 (top)	BB1	-315	3	12	1670	0,5	2,4
Trog 1	T1	-111	2	9	250	0,8	2,4
Helling 1	HE1		0				
Trog 2	T2	-341	4	12	3830	0,6	2,3
Brekerbank 2 (top)	BB2	-646	3	18	16300	0,2	2,3
Helling 2	HE2	-403	2	16	2800	0,6	3,0
Helling 3	HE3	-697	1	26	16550	0,4	3,4

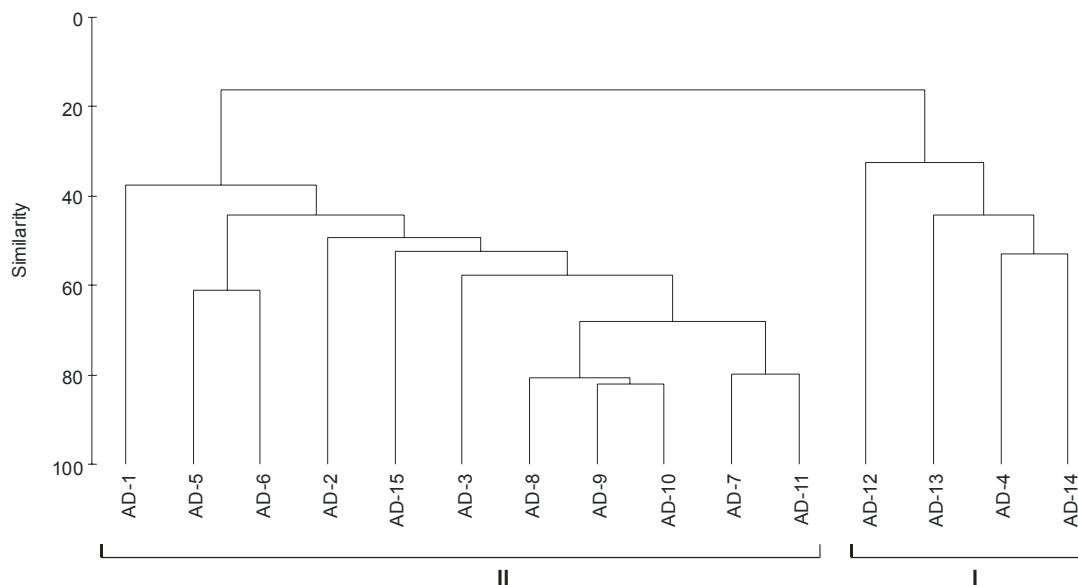
Op basis van het aantal soorten en de dichtheid is de macrofaunagemeenschap in de ondiepe kust en brandingszone van Ameland geanalyseerd met behulp van een clusteranalyse (Figuur 22). Een viertal stations wordt apart geclusterd (groep I). Dit zijn de twee stations in de eerste en twee in de tweede trog. De dichtheid en het aantal soorten is hier laag. Binnen een groter tweede cluster bevindt zich nog een deelcluster met de stations AD-7 tot AD-11. Deze stations worden gekenmerkt door een relatief hoge dichtheid aan macrobenthos organismen. De Stations AD-8, AD-9 en AD-10 bevinden zich op de tweede brekerbank.



Figuur 20 Relatie tussen de afstand tot de kust en de dichtheid en het aantal soorten voor Ameland.



Figuur 21 Relatie tussen het aantal soorten en de diepte (in cm) voor Ameland



Figuur 22 Dendrogram gebaseerd op de clusteranalyse van de locaties op basis van soortenrijkdom en abundantie (Fourth root getransformeerd). Aangegeven zijn de locatienummers

6.3 Egmond

6.3.1 Diversiteit en abundantie

In totaal zijn 59 macrosoorten of soortgroepen aangetroffen in de monsters die genomen zijn bij Egmond. Net als bij Schiermonnikoog en Ameland vormen polychaeten met 28 soorten de belangrijkste groep. De kreeftachtigen volgen ook hier met 15 soorten

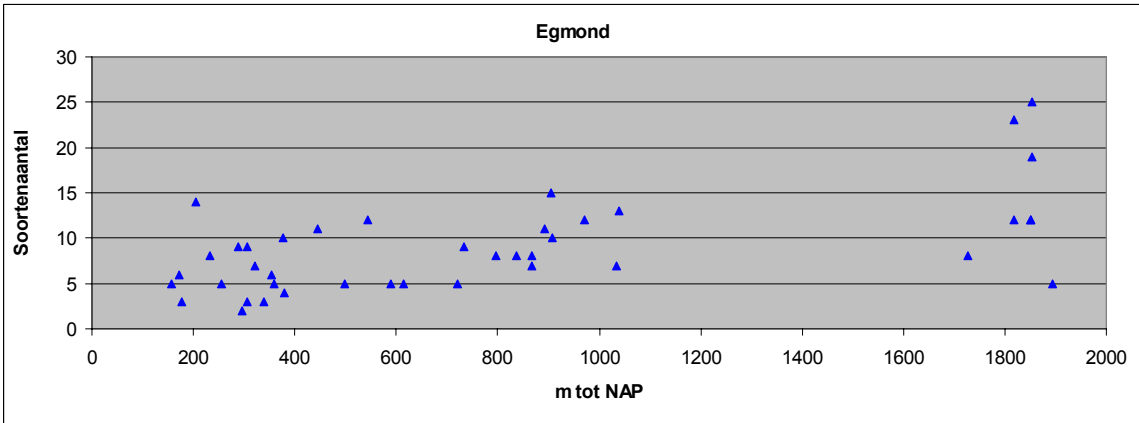
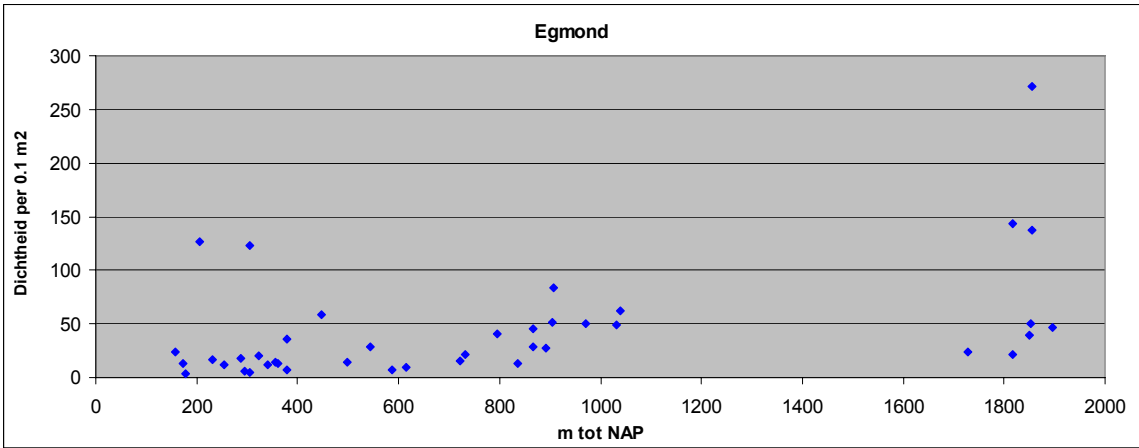
De soorten met de hoogste gemiddelde dichtheid die zijn aangetroffen bij Egmond zijn de polychaete wormen *Lanice conchilega*, *Nephtys cirrosa*, *Spio martinensis* en *Spiophanes bombyx*.

Voor Egmond zijn aan de hand van lodingkaart de locaties verdeeld over 7 morfologische en/of diepte gerelateerde strata (Tabel 7). Hierbij is onderscheid gemaakt in de gebieden waar geen suppletie heeft plaatsgevonden (EDR en EDZ) en het gebied waar eerder suppleties zijn uitgevoerd (EDS). De verdeling van de dichtheid geeft voor de niet gesuppleerde gebieden en het gesuppleerde gebied een vergelijkbaar patroon, waarbij de dichtheid in de tweede trog en op de tweede brekerbank lager is dan in de andere strata (Tabel 7, figuur 22 en 23). Het aantal soorten en de dichtheid neemt aan de buitenzijde Helling 1 en 2 toe. De diversiteit (H') is hier vrij laag. Over het geheel is het gesuppleerde gebied (EDS) iets soortenrijker dan de niet gesuppleerde gebieden (EDR/EDZ).

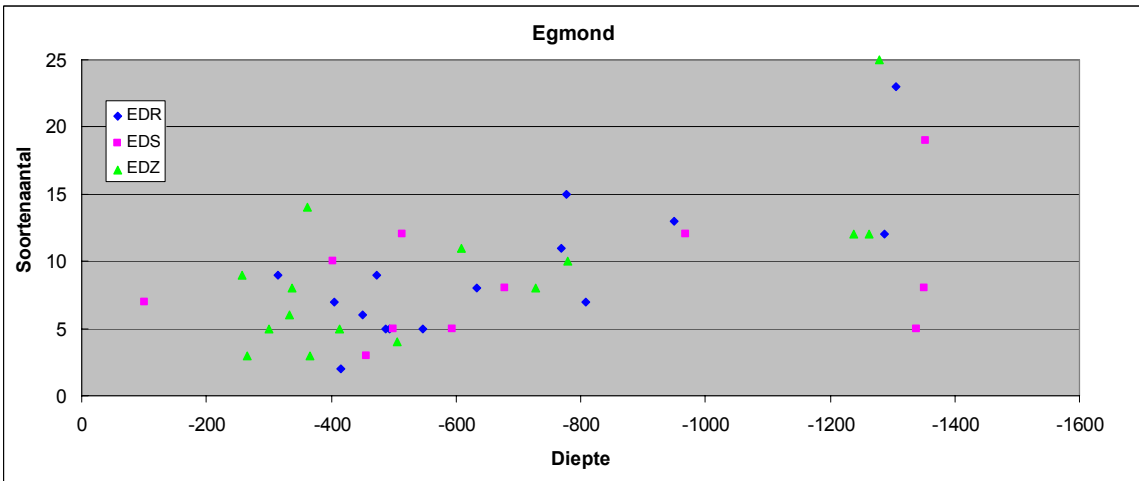
Tabel 7 Aantal stations (n), gemiddeld aantal soorten (S), abundantie (n) Pielou's evenness index (J') en Shannon-Wiener index (H') per stratum voor de gebieden Egmond Referentie en Zuid samen (boven) en voor Egmond Suppletie (onder).

EDR & EDZ	Code	diepte	n	S	N/m2	J'	H'(loge)
Brekerbank 1 (top)	BB1	-362	5	6	360	0,9	1,8
Trog 1	T1	-339	4	7	380	0,8	2,0
Helling 1	HE1		0				
Trog 2	T2	-416	5	6	140	0,9	1,8
Brekerbank 2 (top)	BB2	-564	2	6	170	0,9	2,0
Helling 2	HE2	-595	5	8	340	0,8	2,0
Helling 3	HE3	-949	8	14	670	0,8	3,2

EDS	Code	diepte	n	S	N/m2	J'	H'(loge)
Brekerbank 1 (top)	BB1	-430	2	8	240	0,9	2,0
Trog 1	T1		0				
Helling 1	HE1		0				
Trog 2	T2	-555	2	10	220	0,9	2,7
Brekerbank 2 (top)	BB2	-589	2	7	120	0,9	2,5
Helling 2	HE2	-535	2	11	500	0,6	2,4
Helling 3	HE3	-1346	3	13	930	0,6	2,6



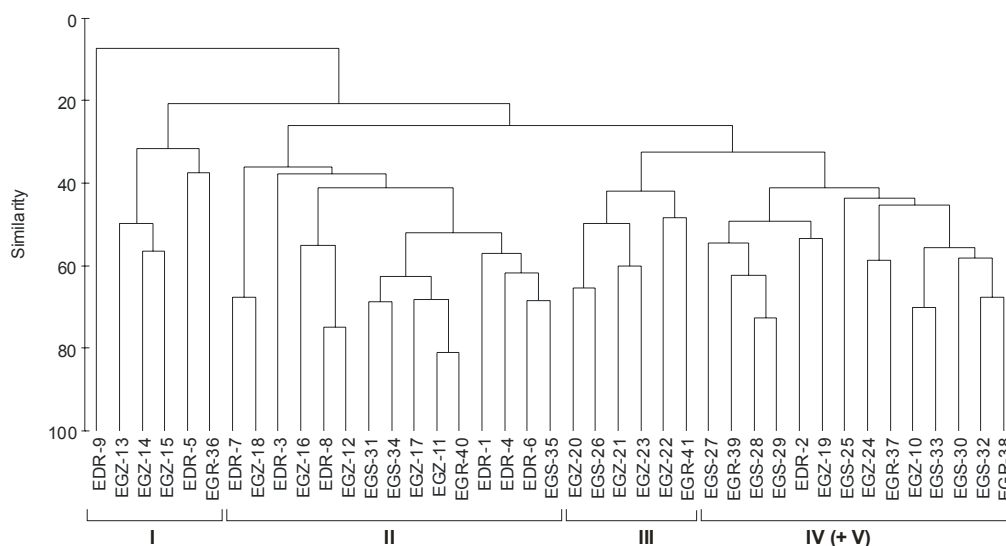
Figuur 23 Relatie tussen de afstand tot de kust en de dichtheid en het aantal soorten voor Egmond (EDR, EDS, EDZ)



Figuur 24 Relatie tussen het aantal soorten en de diepte (in cm) voor Egmond (EDR, EDS, EDZ)

De macrofaunagemeenschap in de ondiepe kust en brandingszone van Egmond is op basis van het aantal soorten en de dichtheid geanalyseerd met behulp van een clusteranalyse. Bij een similariteit van circa 30% kunnen vier tot vijf clusters worden onderscheiden (Figuur 25). De eerste groep wordt gevormd door stations die gelegen zijn in trog 1, helling 3 en de brekerbanken 1 en 2. De dichtheid en het soortenaantal is hier sterk wisselend. De tweede groep omvat stations van alle deelgebieden, m.u.v. helling 1. Deze groep wordt gekenmerkt door een laag aantal soorten en matige dichtheid. Een derde cluster wordt gevormd door stations van de diepe helling (helling 3) en 1 station van helling 2. De dichtheid aan macrofauna en de diversiteit op deze stations is hier het hoogst. Het laatste cluster omvat vooral de stations van helling 2 en 3, enkele brekerbankstations en trog 2. Binnen dit cluster kan weer onderscheid gemaakt worden in een groep hellingstations en een groep van stations gelegen op de brekerbank 2 en in de tweede trog. De diversiteit is niet hoog. De dichtheid is matig voor de brekerbank en trogstations en relatief hoog voor de stations gelegen op de helling.

De stations van het suppletiegebied (EDS) worden niet duidelijk afzonderlijk geclusterd, maar zijn verdeeld over de verschillende groepen. Dit geeft aan dat geen afwijkende macrofaunagemeenschap is gevonden in het gebied waar eerder suppletiewerkzaamheden zijn uitgevoerd.



Figuur 25 Dendrogram gebaseerd op de clusteranalyse van de locaties op basis van soortenrijkdom en abundantie (Fourth root getransformeerd). Aangegeven zijn de locatienummers.

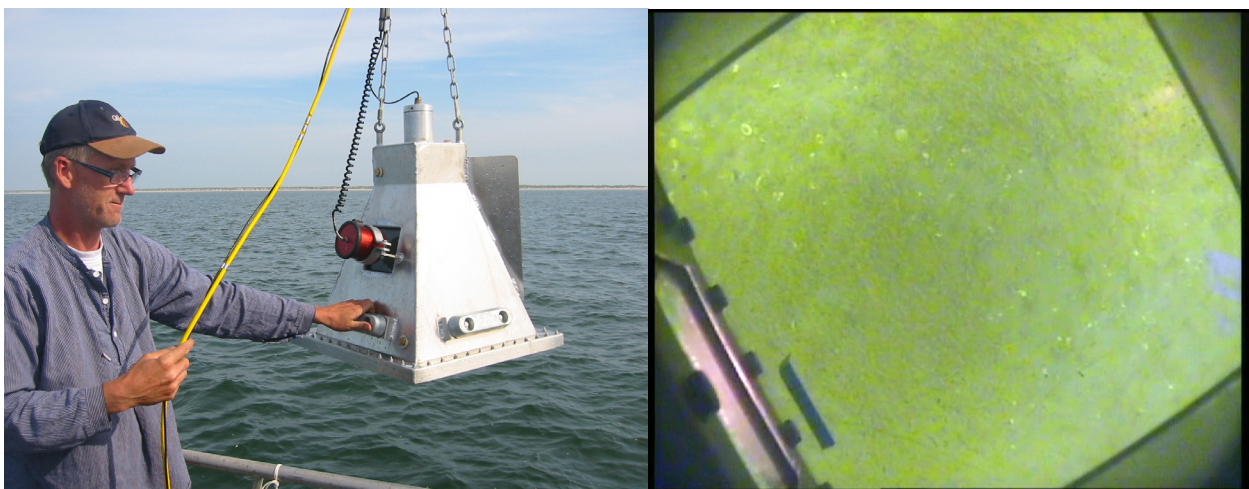
6.4 Remote sensing en detectie van macrofauna

In deze studie is opnieuw geprobeerd om het voorkomen van concentraties van organismen in de ondiepe kust en brandingszone te detecteren met behulp van side scan sonar of met het Medusa systeem. Vooral soorten die in hoge dichtheid voorkomen en gedeeltelijk uit het substraat steken zoals kokerwormen en Mesheften zouden gedetecteerd kunnen worden doordat dergelijke structuren kunnen zorgen voor een andere reflectie dan de omringende bodem. Wanneer dit afwijkt van het omgevingsignaal zouden ze zichtbaar kunnen worden in de data-analyse.

Tijdens het sonaronderzoek bij Ameland en Egmond zijn geen duidelijke patronen of structuren waargenomen aan het bodemoppervlak die veroorzaakt zouden kunnen zijn door de aanwezigheid van bepaalde organismen, zoals hoge concentraties van grote kokerwormen (bijv. *Lanice conchilega* of *Owenia filiformis*), of van uit het substraat stekende schelpdieren zoals mesheften (*Ensis* sp.). De analysesresultaten van de macrofaunabemonstering hebben, afgezien van enkele stations, ook geen grote concentraties van deze organismen aangetoond. De

metingen met het MEDUSA systeem laten voor de Waddeneilanden een patroon zien waarin de bodemruwheid het hoogst is in het ondiepe deel van de brandingszone en afneemt met de afstand tot de kust en de waterdiepte. Bij Egmond is er sprake van een verhoging van de bodemruwheid in de eerste trog, maar ook hier zijn geen grote concentraties van bovengenoemde organismen aangetroffen.

Bij Ameland is op dieper water gericht gezocht naar patches met hoge concentraties van *L. conchilega*. Hierbij is gebruik gemaakt van een door TNO-IMARES ontwikkeld videosysteem (Figuur 25). Dit systeem bleek een goede methode te zijn waarmee direct visueel kon worden vastgesteld of er sprake was van de aanwezigheid van hoge concentraties van woonbuizen. Over een redelijk groot gebied waren patches van woonbuizen van schelpkokerworm *L. conchilega* duidelijk waarneembaar, vooral op een wat grotere waterdiepte ver buiten de buitenste brekerbank. De vistrekken met een klein 2 m boomkornet toonden ook aan dat er inderdaad relatief hoge dichtheden van de schelpkokerworm *L. conchilega* aanwezig waren.



Figuur 26 Het door TNO-IMARES ontwikkelde videosysteem (links). Rechts een screenshot van een onderwater video-opname bij Ameland met een zichtbare concentratie van woonbuizen van kokerwormen.

7 Discussie

7.1 Uitvoering en technieken

De geomorfologie bij Schiermonnikoog, Ameland en Egmond is beschreven met behulp van de dieptelodgingen, side scan sonar en met behulp van het MEDUSA systeem. De gebruikte side scan sonar had een middelhoge frequentie van 325 kHz waarmee een grote resolutie kan worden bereikt.

Om in de ondiepe brandingszone te kunnen werken met een side scan sonar moest de sonarvis aan het schip worden bevestigd in plaats van de sonarvis zoals meestal gebruikelijk is achter het schip aan te trekken. Om een goed beeld te verkrijgen moet de sonarvis onder het schip uitsteken. Hierdoor wordt echter de minimale waterdiepte nodig om te varen verkleind.

Schepen moeten al weinig diepgang hebben willen ze goed inzetbaar zijn voor onderzoek in de ondiepe kust en de brandingszone. De bevestiging van een sonarvis aan een van de zijden verkleint de inzetbaarheid van een schip. Het zou beter zijn om de sonarvis aan de voorzijde te bevestigen om zo voldoende beeld te krijgen en maximaal gebruik te maken van de waterdiepte. Dit vergt echter aanpassingen aan het schip of de sonarvis die voor relatief korte vaarperiodes niet door derden worden aangebracht. Bij gebruik van een catamaran kan de sonar tussen de drijflichamen worden bevestigd. In deze studie was daarvoor geen mogelijkheid.

De weersomstandigheden bij Ameland waren erg gunstig waardoor bij hoogwater tot dicht onder het strand kon worden gevaren. Door zijn technische problemen kon hier echter geen gebiedsdekkende informatie worden verkregen. Bij Egmond waren de weersomstandigheden niet goed genoeg om goede beelden te verkrijgen. In ondiep water is het gebruik en de kwaliteit van de opnames van een side scan sonar erg weersafhankelijk. In de sonarbeelden van de parallel aan de kust lopende enkelvoudige tracks bij Egmond is dit ook te zien (Van Overmeeren, 2007). Deze weersafhankelijkheid voor het gebruik van side scan sonar is eerder geconstateerd bij de inventarisaties langs de kust door Van Dalssen (2006). Mede door het beschikbare budget moesten de metingen in een tijdsbestek van een dag worden uitgevoerd en was er onvoldoende ruimte om metingen te herhalen bij betere weerscondities.

Door het gebruik van remote sensing technieken zoals de side scan sonar en het MEDUSA systeem kunnen relatief grote gebieden efficiënt in kaart worden gebracht waarbij, afhankelijk van de gekozen opname strategie, gebiedsdekkende informatie kan worden verkregen. De resultaten over de korrelgroottesamenstelling van het sediment in de onderzochte gebieden verkregen met het MEDUSA systeem wijken niet sterk af van die van de korrelgrootteanalyses uitgevoerd door TNO - Bouw en Ondergrond. Een groot voordeel van remote sensing is dat de kans om eventuele afwijkende of interessante bodempatronen en structuren te ontdekken sterk vergroot wordt omdat relatief snel een groot gebied kan worden geïnventariseerd. Wanneer alleen een kartering zou worden uitgevoerd door middel van het nemen van bodemonsters is de kans groot dat kleine maar mogelijk belangrijke informatie over de bodem gemist wordt. Binnen het EU Interreg III B project MESH zijn handleidingen en richtlijnen ontwikkeld om in verschillende habitats op efficiënte wijze karteringen uit te voeren (www.searchmesh.com).

7.2 Bodemsamenstelling en structuur

Uit de sedimentanalyses blijkt dat bij Egmond de slibfractie ($<63 \mu\text{m}$) dicht bij de kust vrijwel ontbreekt en pas op enige afstand (na ca 800 m vanaf de 0-lijn) van de kust toeneemt. Bij Ameland en Schiermonnikoog is de slibfractie in het ondiepe deel van de kust hoger en varieert in de eerste 800 m vanaf de 0-lijn tussen de 0,5 en 1,0 %. Er is geen duidelijke toename meer met de afstand tot de kust. De mediane korrelgrootte boven op de brekerbanken is iets groter dan in de andere delen van het ondiep kuststelsel. Het slibgehalte (fractie $< 63 \mu\text{m}$) is overal laag en bedraagt vaak minder dan 1%. Bij Egmond bevat het sediment op een aantal locaties in de trog tussen de beide brekerbanken naast grof zand ook veel schelpmateriaal. Dit is ook waargenomen tijdens de

studies uitgevoerd door Janssen en Mulder bij Egmond in 2002 (Janssen & Mulder, 2005) en door Van Dalfsen (2006).

De sonarregistraties bij Ameland, Schiermonnikoog en Egmond laten voor elk van de drie gebieden een relatief homogeen gebied zien. Dit duidt op een vrij eenvormige bodemstructuur. Afgezien van enkele kleine afwijkingen in het reflectiepatroon zijn er geen duidelijke aanwijzingen gevonden die duiden op de aanwezigheid van hoge concentraties van bepaalde organismen zoals kokerwormen (*L. conchilega*) of Mesheften (*Ensis* sp.). Er is ook geen duidelijke relatie tussen de reflecties op de sonarmozaïekkaart en de gebieden met een hogere bodemruwheid of korrelgrootte, zoals aangegeven in de kaarten voor bodemruwheid of korrelgrootte.

Er is een duidelijke relatie tussen de grootschalige morfologie en de verspreiding van zware mineralen en de mediane korrelgrootte. Het sediment is relatief grover op de toppen van de eerste brekerbank en het gehalte aan zware mineralen is hier iets verhoogd. Een dergelijke sortering duidt op een hogere golfenergie. Zeewaarts neemt de bodemruwheid af, wordt het sediment fijner en neemt het gehalte aan zware mineralen toe. Dit past in het algemene beeld van een selectief sedimenttransport in de kustzone.

Uit de metingen met het MEDUSA systeem komen geen sterk afwijkende patronen naar voren in de sedimentsamenstelling tussen gebieden waar suppleties hebben plaatsgevonden (Ameland en Egmond Suppletie) en waar dit niet het geval is. Bij Ameland is de ruimtelijke spreiding in de korrelgrootte, gehalte aan zware mineralen en bodemruwheid vergelijkbaar met die in de brandingszone van Schiermonnikoog. Bij Egmond zijn de grootschalige trends ook vergelijkbaar voor de drie deelgebieden.

Op basis van de sedimentanalyses lijkt het sediment in de diepere vooroeverbij Ameland echter iets grover te zijn dan bij Schiermonnikoog. De sedimentanalyse laten ook bij Egmond een klein verschil zien tussen de referentiegebieden en het gesuppleerde gebied. Bij Egmond Suppletie is de mediane korrelgrootte op de tweede brekerbank en op het eerste deel van de buitenste helling hoger dan bij Egmond Referentie en Zuid. Mogelijk is dit een effect van de suppleties die daar eerder hebben plaatsgevonden, het laatst in 2005. In de meeste gevallen wordt zand aangebracht met een grotere korrelgrootte dan het plaatselijk aanwezige zand. Zo is bij de suppletie van Terschelling in 1993 zand gebruikt met een mediane korreldiameter die 20 - 40 μm groter was dan het oorspronkelijke sediment. Echter zes maanden na de suppletie was de korrelgrootteverdeling niet meer te onderscheiden van de originele verdeling (Guillén & Hoekstra, 1997).

Of er in het voorliggende onderzoek sprake is van een effect van zandsuppletie op de sedimentsamenstelling is op basis van het geringe aantal genomen en geanalyseerde monsters niet hard te maken.

De resultaten van het onderzoek naar de bodemsamenstelling zijn redelijk vergelijkbaar met de uitkomsten van eerder uitgevoerde inventarisaties bij Schiermonnikoog en Egmond in 2005 (Van Dalfsen, 2006).

7.3 Macrofaunagemeenschap

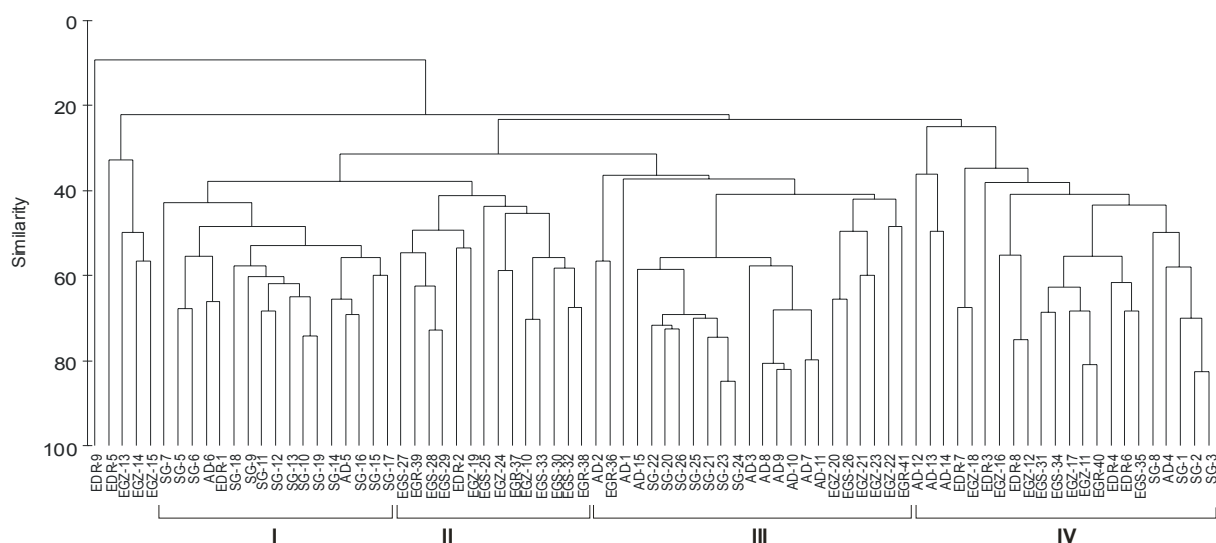
De macrofaunagemeenschap van de ondiepe kust en brandingszone van Schiermonnikoog, Ameland en Egmond is niet gelijk, maar er zijn wel een aantal parallellen te trekken. De dichtheid en de soortenrijkdom neemt toe met de waterdiepte en dan vooral op de buitenste hellingen. Bij Schiermonnikoog is de diversiteit het hoogst, bij Ameland komen de hoogste dichtheden voor. In de onderzoeksgebieden bij Egmond zijn diversiteit en dichtheden het laagst. Andere studies uitgevoerd in de Noordzee kustzone laten zien, dat de gemeenschappen in de ondiepe kustzones relatief soortenarm zijn en dat het aantal soorten en de diversiteit sterk toeneemt met de diepte vanaf circa 6 m (Van Hoey *et al.*, 2004; Degraer *et al.*, 2003; Speybroeck *et al.*, 2003; Kaag *et al.*, 2005).

In tegenstelling tot eerder onderzoek bij Egmond Schiermonnikoog (Janssen & Mulder, 2005; Van Dalfsen, 2006) is in dit onderzoek de relatie tussen het voorkomen van macrofauna-organismen en verschillen in de geomorfologie en de daarmee samenhangende bodemsamenstelling minder duidelijk aangetoond. Alleen bij Schiermonnikoog is deze relatie terug te vinden in de clusteranalyse. De dichtheid en diversiteit is over het

algemeen geringer in het ondiepe deel, de eerste brekerbank en de eerste trog dicht voor het strand. Op de zeewaarts gerichte helling (HE2 & HE3) is de rijkdom aan macrofauna hoger. Mogelijk speelt hier toch ook natuurlijke variatie tussen jaren in het voorkomen van organismen een rol. Zo zijn in dit onderzoek geen grote concentraties van mesheften gevonden vlak onder de kust. Uit de jaarlijkse schelpdierinventarisatie die wordt uitgevoerd door IMARES is in 2006 een duidelijk verschil waargenomen tussen de diepere kustzone van de Waddeneilanden en die van de Hollandse kust. Boven de eilanden worden hogere concentraties van *L. conchilega* waargenomen dan voor de Hollandse kust, waar juist de mesheften in hogere dichtheden werden aangetroffen (Perdon & Goudswaard, 2007). In dit onderzoek zijn op wat dieper water buiten het onderzoeksgebied bij Ameland hoge concentraties van *L. conchilega* waargenomen. Banken met mesheften werden niet aangetroffen.

Er zijn geen duidelijke verschillen aangetoond in de soorten samenstelling tussen het gesuppleerde gebied bij Egmond en de referentiegebieden Egmond Referentie en Egmond Zuid. Uit de verdeling van de stations uit de drie deelgebieden (EDR, EDS en EDZ) in 2007 over de verschillende clusters komt geen duidelijke scheiding naar voren die gerelateerd kan worden aan de mogelijke gevolgen van de hier eerder uitgevoerde suppletiewerkzaamheden. De clusteranalyse laat zien dat de morfologische/diepte strata een grotere invloed hebben op de macrofaunasamenstelling dan dat er sprake is van een duidelijk verschil in samenstelling die samenhangt met de ligging van de onderzoeksgebieden bij Egmond. Mogelijk zijn de effecten van de suppleties op de macrofaunagemeenschap slechts van korte duur. In hoog dynamische gebieden kan herstel van de bodemfauna in relatief korte tijd optreden (Van Dalftsen *et al.*, 2000).

Een analyse van de macrofaunagemeenschap waarin alle locaties zijn meegenomen laat zien dat er sprake is van zonerings van het macrofauna (Figuur 27). Bij een similariteit van 40% kunnen grofweg 4 groepen van stations onderscheiden worden. De eerste groep wordt gevormd door stations vooral uit de strata Helling 1 en Trog 2. De dichtheid en de diversiteit is hier gemiddeld. De tweede groep bevat de dieper gelegen stations bij Egmond. De diversiteit is hier iets lager dan in de eerste groep. De derde groep omvat vooral stations van Schiermonnikoog, Ameland en Egmond gelegen op de hellingen (HE2 en 3) en op de tweede brekerbank. De dichtheid en diversiteit zijn hier het hoogst. De laatste en minst homogene groep omvat vooral stations die behoren tot de ondiepe strata van de eerste trog en de eerste brekerbank. Deze laatste vormen binnen de groep een apart cluster. De stations zijn afkomstig van Ameland, Egmond en Schiermonnikoog. De dichtheid en vooral de diversiteit is hier laag.



Figuur 27 Dendrogram gebaseerd op de clusteranalyse van alle locaties bij Schiermonnikoog, Ameland en Egmond op basis van soortenrijkdom en abundantie (Fourth root getransformeerd).

7.4 Detectie van organismen met side scan sonar en het Medusasysteem

In de resultaten van het sonaronderzoek bij Ameland en Egmond zijn geen duidelijke patronen of structuren waargenomen aan het bodemoppervlak die veroorzaakt zouden kunnen zijn door de aanwezigheid van bepaalde organismen, zoals hoge concentraties van grote kokkerwormen zoals *L. conchilega* of *O. filiformis*, of van uit het substraat stekende schelpdieren zoals Mesheften (*Ensis* sp.). Tijdens deze studie zijn in de onderzochte gebieden op een enkel station na geen hoge concentraties aangetroffen van kokkerwormen of mesheften. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de metingen met de side scan sonar en het MEDUSA systeem geen gegevens hebben opgeleverd waaruit het voorkomen van dergelijke concentraties kon worden afgeleid. Bij Ameland zijn op dieper water wel hoge dichtheden waargenomen. De video-opnames en de beperkte vistrekjes die bij Ameland zijn uitgevoerd toonden duidelijk dat hier hoge dichtheden van de schelpkokkerworm *L. conchilega* voorkwamen.

In de afgelopen jaren is de bruikbaarheid van side scan sonar voor het detecteren van concentraties van kokkerwormen en schelpdieren inmiddels aangetoond. Omdat met side scan sonar relatief snel grote gebieden kunnen worden geïnventariseerd wordt in toenemende mate deze methodiek aanvullend toegepast voor het beschrijven van habitats (Kenny *et al.*, 2003; Van Lancker *et al.*, 2003 a, b; Van Overmeeren *et al.*, 2006, in prep).

Bij Ameland is enkele malen gebruik gemaakt van een videosysteem dat door TNO-IMARES wordt ontwikkeld om in water met een gering doorzicht opnames te kunnen maken. Deze methode bleek goede aanvullende informatie op te leveren over bodem. Momenteel wordt het systeem verbeterd om de inzetbaarheid te vergroten. Bij Ameland bleek dat er zich patches met hoge concentraties van de schelpkokkerworm *L. conchilega* bevonden. De beelden gaven duidelijk weer dat deze patches een oppervlakte hebben van enkele dm², maar dat deze in sommige gebieden in grote aantallen voorkomen. Bij een bodembemonstering met een van Veenhapper of boxcorer bestaat een kans dat bij onvoldoende bemonsteringsoppervlak de dichtheid van deze soorten onderschat wordt.

Door de afwezigheid van de doelsoorten voor remote sensing detectie in 2007 is met het uitgevoerde onderzoek niet aangetoond dat het gebruik van deze technieken in de ondiepe kust en brandingszone ver genoeg ontwikkeld is om op de juiste schaal en resolutie, biologische en geomorfologische informatie te kunnen verzamelen. De afhankelijkheid van weersomstandigheden en hydrodynamische condities is nog erg groot. Daarnaast is het in de praktijk dook niet eenvoudig om relatief kleine gebieden waarin afwijkende reflecties worden waargenomen exact te bemonsteren. Golfslag en stroming bemoeilijken een exacte positionering.

8 Conclusies

Er is duidelijk verband tussen de morfologie van de ondiepe kust- en brandingszone en de samenstelling van het sediment (korrelgrootteverdeling en verdeling van zware mineralen) en de bodemruwheid. Het sediment is relatief grover op de toppen van de brekerbanken en het gehalte aan zware mineralen is hier iets verhoogd. Daarnaast is er een trend waarbij zeewaarts de bodemruwheid afneemt, het sediment fijner wordt en het gehalte aan zware mineralen toeneemt.

Er is een licht verschil in de sedimentsamenstelling aangetroffen tussen de gebieden waar suppleties zijn uitgevoerd en de referentiegebieden waar dit niet het geval is. Op basis van de analyses van de bodemmonsters lijkt het sediment bij Ameland iets grover te zijn dan bij Schiermonnikoog. Ook bij Egmond lijkt er een klein verschil te zijn tussen de referentiegebieden en het gesuppleerde gebied. Bij Egmond Suppletie is de mediane korrelgrootte op de tweede brekerbank en op het eerste deel van de buitenste helling hoger dan bij Egmond Referentie en Zuid. Dit zijn de zones waarvan verwacht kan worden dat hier vooroeversuppleties van invloed zullen zijn. Of er in het voorliggende onderzoek sprake is van een effect van eerder uitgevoerde zandsuppleties op de sedimentsamenstelling is echter op basis van het geringe aantal genomen en geanalyseerde monsters niet hard te maken.

De macrofaunagemeenschap van de ondiepe kust en brandingszone van Schiermonnikoog, Ameland en Egmond vertoont verschillen, maar er zijn ook overeenkomsten. In de onderzochte gebieden neemt de dichtheid en de soortenrijkdom toe op de buitenste hellingen. Bij Ameland en Schiermonnikoog zijn de diversiteit en de dichtheid aan macrofauna het hoogst en in de onderzoeksgebieden bij Egmond het laagst. De bevindingen zijn in overeenstemming met algemene patronen zoals die ook in andere studies zijn gevonden voor de ondiepe kustzone.

In meer detail kon in 2007 minder duidelijk een relatie worden aangetoond tussen de macrofaunagemeenschap en de verschillende op basis van geomorfologie onderscheiden zones. Mogelijk speelt hier de natuurlijke variatie tussen jaren in het voorkomen van organismen een rol. Concentraties van de doelsoorten *Ensis sp.* en *Lanice conchilega* zijn niet gevonden in het onderzoeksgebied.

In het onderzoek zijn geen duidelijke verschillen aangetoond in de macrofaunagemeenschap tussen gebieden waarin suppleties zijn uitgevoerd (Ameland, Egmond Suppletie) en de gebieden die als referentie worden beschouwd (Schiermonnikoog, Egmond Referentie en Egmond Zuid). De effecten van de suppleties op de macrofaunagemeenschap in een dergelijk dynamisch milieu zijn mogelijk slechts van korte duur.

Het gebruik van remote sensing technieken zoals de side scan sonar en het MEDUSA systeem kan bijdragen aan het efficiënt in kaart brengen van de bodemstructuur ook in ondiepe gebieden. Vooral het MEDUSA systeem geeft zeer snel de mogelijkheid om gebiedsdekkende informatie te verkrijgen, terwijl de verwerking van de side scan sonar informatie iets meer tijd vraagt. Vooral het gebruik en de kwaliteit van de opnames van een side scan sonar is erg weersafhankelijk en daarmee voor het onderzoek in de ondiepe kust- en brandingszone voornamelijk beperkt inzetbaar gebleken. Het MEDUSA systeem is minder weersgevoelig.

Met beide technieken kunnen door het detecteren van eventuele afwijkende of interessante bodempatronen en structuren concentraties van sommige doelsoorten worden ontdekt zodat gerichte bodembemonstering kan worden uitgevoerd. Door het ontbreken van dergelijke concentraties van de doelsoorten *Ensis* en *Lanice* in de onderzochte gebieden in 2007, is echter de bruikbaarheid van opnames met een sonar of met het MEDUSA systeem voor inventarisaties van deze soorten in de ondiepe kustzone- en brandingszone niet aangetoond.

9 Referenties

- Ahrens J.P. & E.B. Hands (1998): Parameterizing beach erosion/accretion conditions. Proceedings of the 26th International Conference on Coastal Engineering, Copenhagen, Denmark: pp. 238232394.
- De Vries S. & R.L. Koomans (2007): Bodem in de brandingszone. Bodemsamenstelling in relatie tot zandsuppleties. Medusa Explorations BV, Groningen. Medusa project 2005 P-139.
- Degraer S., A. Volckaert & M. Vincx (2003): Macrobenthic zonation patterns along a morphodynamical continuum of macro-tidal, low tide bar/rip and ultra-dissipative beaches. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 56:459-468.
- Guillén J. & P. Hoekstra (1997): Sediment Distribution in the Nearshore Zone: Grain Size Evolution in Response to Shoreface Nourishment (Island of Terschelling, The Netherlands). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 45: 639 - 652.
- Janssen G.M. & S. Mulder (2004): De ecologie van de zandige kust van Nederland. RWS RIKZ Rapport RIKZ/2004.033.
- Janssen G.M. & S. Mulder (2005): Zonation of macrofauna across sandy beaches and surf zones along the Dutch coast. *Oceanologia* 47:265-282.
- Kaag N.H.B.M., A. Weber, W.E. Lewis & J.A. van Dalen (2005): Ecologische monitoring kustverdedigingsproject Oostende (T0-situatie, fase 2): zacht substraat. TNO-rapport R2004/563.
- Kenny A.J., I. Cato, M. Desprez, G. Fader, R.T.E. Schüttenhelm & J. Side (2003). An overview of seabed-mapping technologies in the context of marine habitat classification. *ICES J. Mar. Sci.* 60:411-418.
- Lindeboom H., J. Geurts van Kessel & L. Berkenbosch (2005): Gebieden met bijzondere ecologische waarden op het Nederlands Continentaal Plat. Rapport RIKZ/2005.008, Alterra Rapport nr. 1109, 104p.
- Perdon K.J. & P.C. Goudswaard (2007). Mesheften (*Ensis directus*), halfgeknotte strandschelpen (*Spisula subtruncata*) en kokkels (*Cerastoderma edule*) in de Nederlandse kustwateren in 2007. IMARES rapport C087/07.
- Roberti J.R. (2001): Meten met MEDUSA. Een leidraad voor gebruik bij Rijkswaterstaat. Rapport RIKZ/2001.035
- Speybroeck J., S. Degraer & M. Vincx (2003): Ecologische monitoring kustverdedigingsproject Oostende (fase 1). Dossiernummer 202.290. Universiteit Gent.
- Steijn R. (2005): Effectiviteit van vooroeversuppleties langs de Waddenkust; Aanzet tot ontwerprichtlijnen voor het ontwerp van vooroeversuppleties. Alkyon rapport A1539.
- Van Dalen J.A (2006): Inventarisatie brandingszone zandige kust. TNO-Rapport B&O-DH-R2005/251.
- Van Dalen J.A. & K. Essink (1997): Risk analysis of coastal nourishment techniques in the Netherlands (RIACON). National Institute for Coastal and Marine Management/RIKZ, Report RIKZ-97.022.

Van Dalen J.A., K. Essink, H. Toxvig Madsen, J. Birklund, J. Romero and M. Manzanera (2000). Differential response of macrozoobenthos to marine sand extraction in the North Sea and the western Mediterranean. - ICES J. Mar. Sci. 57:1439–1445.

Van Duin M.J.P., N.R. Wiersma, D.J.R. Walstra, L.C. van Rijn & M.J.F. Stive (2004): Nourishing the shoreface: observations and hindcasting of the Egmond case, The Netherlands. Coastal Engineering 51: 8133837.

Van Hoey G., S. Degraer & M. Vincx, (2004). Macrobenthic community structure of soft-bottom sediments at the Belgian Continental Shelf. Estuarine, Coastal and Shelf Science 59, 599-613.

Van Lancker V., S. Deleu, G. Moerkerke, K. Vanstaen, E. Verfaillie, S. Degraer & G. Van Hoey (2003b): The use of sonar techniques for a standardised resource evaluation and its ecological value, European marine sand and gravel - shaping the future, EMSAGG Conference, Delft (NL), pp. 1-3.

Van Lancker V.R.M., G. Moerkerke, K. Vanstaen, S. Degraer & G. Van Hoey (2003a): Development of a multidisciplinary side-scan sonar-based environmental assessment tool applicable for shallow marine waters. Proceedings of the International Conference on Coastal Sediments 2003. CD-ROM Published by World Scientific Publishing Corp. and East Meets West Productions, Corpus Christi, Texas, USA. ISBN 981-238-422-7, pp. 1-10.

Van Overmeeren R., J. Craeymeersch, J.A. van Dalen, F. Fey, S. van Heteren & E. Meesters (2009). Acoustic habitat and shellfish mapping in shallow coastal water - sidescan sonar experiences in The Netherlands. Est. Coastal Shelf Sci. in press).

Van Overmeeren R.A. van (2006): Sidescan sonar metingen over een vijftal schelpdierbanken in het Balgzand (Waddenzee). TNO-rapport 2006-U-R0199/A.

Van Overmeeren R.A. van (2007): Sidescan sonar metingen langs de Noord-Hollandse kust bij Egmond. TNO-rapport 2007-U-R0528/B.

Kwaliteitsborging

IMARES beschikt over een ISO 9001:2000 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 08602-2004-AQ-ROT-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2009. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V. Het laatste controlebezoek vond plaats op 22-24 april 2009. Daarnaast beschikt het chemisch laboratorium van de afdeling Milieu over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 27 maart 2013 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie.

Verantwoording

Rapport C138/07
Projectnummer: 439.72008

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het betreffende afdelingshoofd van IMARES.

Akkoord: Dr. N.H.B.M. Kaag
Onderzoeker

Handtekening:

Datum: Oktober 2009

Akkoord: Drs. F.C. Groenendijk
Afdelingshoofd Ecologie

Handtekening:

Datum: Oktober 2009