

Substraatdynamiek als schakel tussen morfologie en ecologie

Rapport vooronderzoek DYNASTAR*ECOMOR

J.M.C. Duiker

Maart 1996

Universiteit Utrecht

Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen

Vakgroep Fysische Geografie

In opdracht van:

Rijkswaterstaat

RIKZ-Middelburg

Project DYNASTAR

VOORWOORD

Dit rapport is het resultaat van een vooronderzoek naar het begrip substraatdynamiek en de bruikbaarheid daarvan om een relatie te leggen tussen ecologie en morfologie. De studie is uitgevoerd in het kader van het project DYNASTAR*ECOMOR van het Rijksinstituut voor Kust en Zee (Rijkswaterstaat). De uitvoering van het onderzoek gebeurde bij de Vakgroep Fysische Geografie, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen, Universiteit Utrecht. Dr. J.H. van den Berg (UU) en drs. C. Storm (RIKZ) traden op als projectbegeleiders.

Onder het project INRichting*ESTuaria werd in dezelfde periode een vergelijkbaar vooronderzoek uitgevoerd door ir. Daan Bos. Dit onderzoek naar de effecten van morfologische ingrepen in estuaria op de fourageermogelijkheden van vogels raakt aan dit onderzoek met name op het gebied van de ecologie van het benthos. Het rapport (Bos 1996) vormt een waardevolle aanvulling op het materiaal gepresenteerd in dit rapport.

Mijn dank gaat uit naar Kees Storm voor zijn deskundigheid maar vooral zijn enorme enthousiasme. Verder dank ik Daan Bos voor de prettige uurtjes en het geven van een voor mij nieuwe dimensie aan het begrip discussie.

INHOUDSOPGAVE

1 INLEIDING	1
1.1 Kader van het onderzoek	1
1.2 Doel van het onderzoek	1
1.3 Aanpak van het onderzoek	2
1.4 Definitie substraatdynamiek	2
1.5 Sturende factoren substraatdynamiek	5
1.6 Kwantificeren van substraatdynamiek	5
2 HUIDIGE KENNIS VAN DE RELATIE BENTHOS, SUBSTRAATDYNAMIEK, STURENDE FACTOREN	7
2.1 Het belang van substraatdynamiek voor het benthos	7
2.1.1 Bodemhoogte variaties	7
2.1.2 Transport van bodemmateriaal langs de bodem	8
2.1.3 Sedimentbeweging door bodemdieren	9
2.2 Relatie tussen substraatdynamiek en benthosvoorkomen in de Westerschelde	10
2.3 De invloed van sturende factoren op substraatdynamiek	12
2.3.1 Inleiding	12
2.3.2 Sturende factoren	12
2.3.3 Alleen stroming	13
2.3.4 Stroming en orbitaalbeweging	13
2.3.5 Brekende golven	14
2.3.6 Praktische benadering	14
2.4 De invloed van de biotische component op substraatdynamiek	15
2.4.1 Indirecte invloed	15
2.4.2 Bioturbatie	17
2.5 Samenvatting	17
3 RESULTATEN ANALYSE BESTAANDE GEGEVENS	19
3.1 Inleiding	19
3.2 Analyse van de dataset op GIS	19
3.2.1 Inleiding	19
3.2.2 Werkwijze en problemen met de dataset	20
3.2.3 Resultaten	20
Verbanden met morfohabitats	20
Overige verbanden	29
Discussie en conclusie	31
3.3 Analyse erosie en sedimentatieplots; literatuurgegevens	31
3.3.1 Inleiding	31
3.3.2 Werkwijze	31
3.3.3 Resultaten	42

4 ONDERZOEK NAAR DE RELATIE BENTHOS, SUBSTRAAT- DYNAMIEK, STURENDE FACTOREN	47
4.1 Het meten van substraatdynamiek	47
4.2 Onderzoeksvoorstel	48
4.2.1 Doelstellingen	48
4.2.2 Onderzoeksopzet	49
4.3 Haalbaarheid van de doelstelling	49
5 CONCLUSIES EN HYPOTHESEN	53
REFERENTIES	55
NIET GECITEERDE REFERENTIES	59
Bijlage 1 HET METEN VAN SUBSTRAATDYNAMIEK	63
Inleiding	63
Instrumentatie	63
Meting van de bewegingen van de samenhangende elementen	63
Bodemtransport	63
Bioturbatie	64
Omwoeling door variabele poriënspanningen en luchtinsluitingen	66
Meting van de bewegingen van het oppervlak van het substraat	66
Handmatige bodemhoogte metingen	66
Handmatige bodemhoogtemeting met behulp van zelf-registrerende methodes	67
Automatische bodemhoogte metingen	68
Overige meetmethodes	71
Bijlage 2 VOORBEELD SCHEMATISCH ONDERZOEKSOPZET VOOR EEN MEERJARIG ONDER	73

1 INLEIDING

1.1 Kader van het onderzoek

De Nederlandse estuaria en het waddengebied worden in meerdere of mindere mate actief beheerd en ingericht. Inrichting- en beheermaatregelen als waterstaatkundige werken, vaargeulverruiming en natuurbeheer en ontwikkelingsprojecten als schorrandverdediging en ontpoldering vinden hiertoe plaats.

Deze maatregelen grijpen direct en indirect in op de morfologie van de betreffende gebieden. Een deel van deze morfologische veranderingen vinden plaats op de intergetijdgebieden. Huijs (1995) concludeerde uit een analyse van historische geografische data dat het totale plaatareaal met name in het midden en oostelijke deel van de Westerschelde is toegenomen sinds 1931. Verder is het aandeel hoogdynamische plaatdelen sinds de verdieping van de vaargeul verhoogd. Dit voorbeeld laat zien dat niet alleen de omvang en plaats van platen slikken en schorren, maar ook de aard van het oppervlak zoals hoogte, substraatsamenstelling en -dynamiek van deze gebieden door zulke inrichting- en beheermaatregelen kunnen worden beïnvloed.

Juist deze factoren zijn naast andere als klimaat, saliniteit, primaire productie, hydrodynamische omstandigheden en predatie van groot belang voor de leefomstandigheden van de benthische flora en fauna. Door de centrale plaats van het benthos in de ecosystemen van estuaria en waddengebieden kunnen inrichting- en beheermaatregelen belangrijke gevolgen hebben voor deze ecosystemen. Kennis omtrent de relatie tussen morfologie en benthos is daarom van belang voor het inzicht in het functioneren van deze ecosystemen en het voorspellen van de effecten van verandering in de abiotische randvoorwaarden.

1.2 Doel van het onderzoek

Uit eerder onderzoek en veldwaarnemingen is gebleken dat de samenstelling en beweeglijkheid (dynamiek) van het substraat fysische parameters zijn die van belang zijn voor de verklaring van de ruimtelijke en temporele spreiding van het benthos (zie Storm 1995 en hoofdstuk 2). Substraatdynamiek kan hierdoor als morfologische parameter de relatie leggen tussen morfologische ingrepen en het benthos.

Doelen van dit onderzoek waren:

- a) te komen tot een hanteerbare definitie van het begrip substraatdynamiek;
- b) een methode om substraatdynamiek te kwantificeren en
- c) een methode te vinden om substraatdynamiek in het veld te meten.

Daarnaast was het van belang om causale verbanden te vinden tussen de eigenschappen van het substraat en sturende factoren als golfwerking en stroming. Dit diende te gebeuren op basis van bestaande gegevens. Het geheel aan verworven kennis diende uit te monden in een voorstel voor een onderzoek naar substraatdynamiek en de invloed daarvan op de ruimtelijke en temporele spreiding van het benthos. Tevens moesten in het veld te toetsen hypothesen worden ontwikkeld.

1.3 Aanpak van het onderzoek

Een belangrijk deel van het onderzoek bestond uit het bestuderen van beschikbare literatuur. Aandacht is besteed aan de ecologie van het benthos; substraatdynamiek en -samenstelling in relatie tot sturende factoren als hydrodynamiek en bioturbatie; morfologie en processen in estuaria; en meettechnieken voor de verschillende aspecten van substraatdynamiek.

Verder waren gesprekken met betrokkenen en experts van groot belang. Zij verschaften inzicht in de processen en de problematiek met betrekking tot ecologie, substraatdynamiek en de veldsituatie in de Westerschelde.

Gedurende het onderzoek is ook een groot aantal bestaande gegevens geanalyseerd. Deze gegevens hadden met name betrekking op een deel van de Westerschelde (figuur 1). Er is echter ook gewerkt met data beschikbaar in (internationale) literatuur.

Achterin dit rapport is een lijst met niet geciteerde (maar wel geraadpleegde) referenties opgenomen. Deze lijst is een selectie uit de beschikbare literatuur waarbij het belang voor onderzoek zoals voorgesteld in hoofdstuk 4 als selectie criterium heeft gediend. Het NIOO/CEMO komt aan het begin van 1996 met een zeer uitgebreide "benthos-review". Daarom werd het niet zinvol geacht in dit rapport een weergave te geven van alle bestudeerde informatie over het benthos.

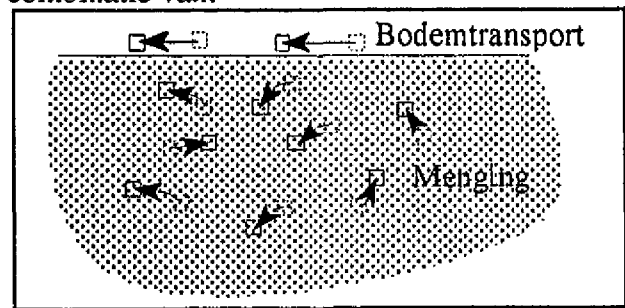
1.4 Definitie substraatdynamiek

Voor een onderzoek naar de invloed van substraateigenschappen op het benthos is een duidelijk concept en een definitie nodig waardoor alle -voor het benthos- relevante aspecten van de beweeglijkheid van de bodem op alle relevante tijdschalen bestudeerbaar wordt. Er is in de bestudeerde literatuur geen studie aangetroffen waarin zo'n concept gebruikt of uiteengezet is.

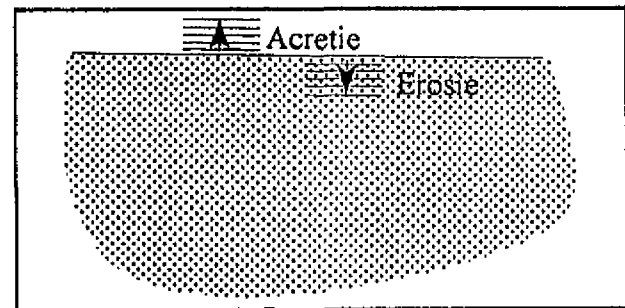
Daarom wordt hier een concept gedefinieerd waarop een onderzoek naar bovengenoemde aspecten en tijdschalen, van enkele minuten tot enkele seizoenen, gebaseerd kan worden. Gekozen is voor een flexibele schematisatie van de werkelijkheid waarbij de mate van nauwkeurigheid kan worden aangepast aan de eisen opgelegd door het benthosonderzoek. Zo is het concept ook bruikbaar voor andere onderzoeken dan het hier voegestelde.

Substraatdynamiek wordt gedefinieerd als de combinatie van:

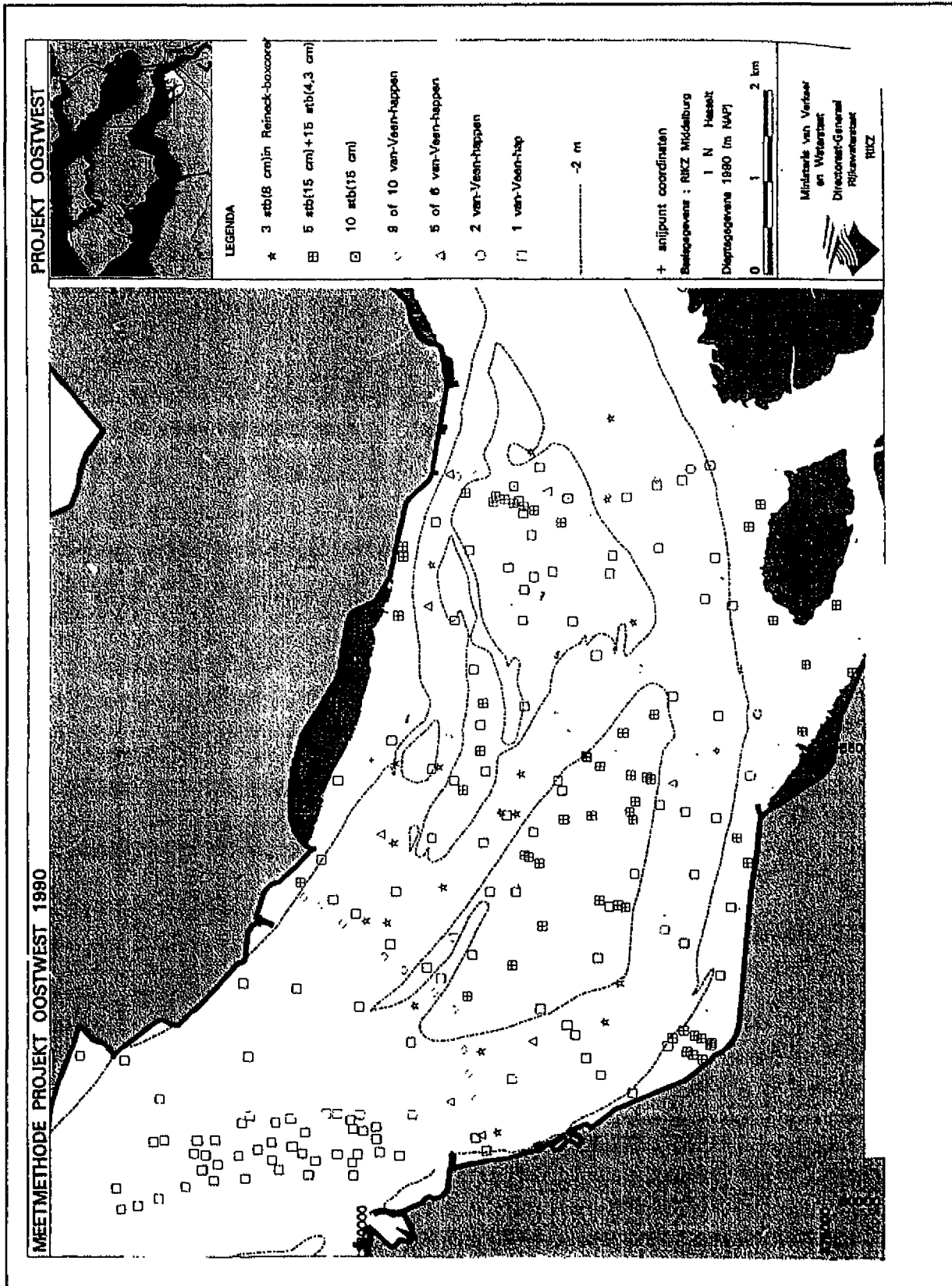
- 1: de mate van beweging van de samenhangende elementen (korrels, aggregaten) waaruit het substraat is opgebouwd en;



- 2: de mate van beweging (in op- en neergaande zin) van het oppervlak van het substraat.



Deze gecombineerde definitie zal in het vervolg van dit rapport worden gebruikt.



Figuur 1 Oostelijk deel van de Westerschelde met de benthosbemonsteringspunten (monsternamen 1990). (Coosen en Stikvoort, in prep.)

1.5 Sturende factoren substraatdynamiek

Verondersteld wordt dat de sturende factoren waarvan substraatdynamiek afhankelijk is de hydrodynamische condities en biogene omwerking zijn. Deze sturende factoren werken middels de volgend processen in op het substraat waardoor de dynamiek wordt veroorzaakt:

- sedimenttransport
- omwoeling door brekende golven, ingevangen lucht (De Boer 1979), variabele poriënspanningen en bioturbatie

De precieze werking van deze processen is afhankelijk van a) de eigenschappen van het substraat in de breedste zin van het woord (mineralogisch, biotisch, korrelgrootteverdeling, etc); b) de eventueel aanwezige flora bovenop het substraat (algenmatten, zeewier); c) de droogvalduur en; d) de oppervlakteruwheid veroorzaakt door dierlijke en menselijke activiteiten. Verder zijn de hydraulische eigenschappen, met name de viscositeit, van het water van belang.

Belangrijk is om te herkennen dat er verschillende terugkoppelingen aanwezig zijn in de processen en de manier waarop deze de substraatdynamiek beïnvloeden. De biotische component van het substraat beïnvloedt de dynamiek van het substraat middels verkitting, bodemruwheid en bioturbatie. De biotische component van het substraat is echter zelf weer afhankelijk van de substraatdynamiek. Het lijkt echter aannemelijk dat bij een gegeven set fysische omstandigheden zich een bijbehorende biotische component ontwikkelt. In die zin zijn dan de fysische factoren dominant over de biotische. Vooral bij hoogdynamische systemen blijkt de biotische component van ondergeschikt belang (Jumars en Nowell 1984). Dat neemt echter niet weg dat de biotische component in bepaalde gevallen van groot belang kan zijn. Dit kan vooral het geval zijn in fysisch laagdynamische delen met hoge benthosdichtheden.

1.6 Kwantificeren van substraatdynamiek

De sturende factoren hydrodynamica en bioturbatie zijn afhankelijk van processen waarbij vooral astronomie (getij) en meteorologie maar ook predatie door niet-benthische organismen van belang zijn. Deze laatste twee processen zijn sterk stochastisch van karakter. Hierdoor zal ook de substraatdynamiek sterk stochastisch van karakter zijn. Vooral met het weer gerelateerde extreme gebeurtenissen (stormen) zullen waarschijnlijk voor een groot deel het stochastisch karakter van substraatdynamiek bepalen.

Dit stochastische karakter maakt het onmogelijk de precieze grootte van de substraatdynamiek over een bepaalde periode te voorspellen. Het is echter wel mogelijk om de substraatdynamiek over een bepaalde periode te benaderen met behulp van een statistische maat voor een geschikte parameter. Hierbij kan gedacht worden aan een gemiddelde, modus, mediaan en standaard afwijking over die periode. Hierbij is het van belang de periode(s) zo te kiezen dat deze aansluit(en) bij het onderzoek waarin het begrip substraatdynamiek gebruikt wordt.

Indien ervoor gekozen wordt om de substraatdynamiek over een bepaalde periode te benaderen met een statistische maat dan kan substraatdynamiek gekwantificeerd worden

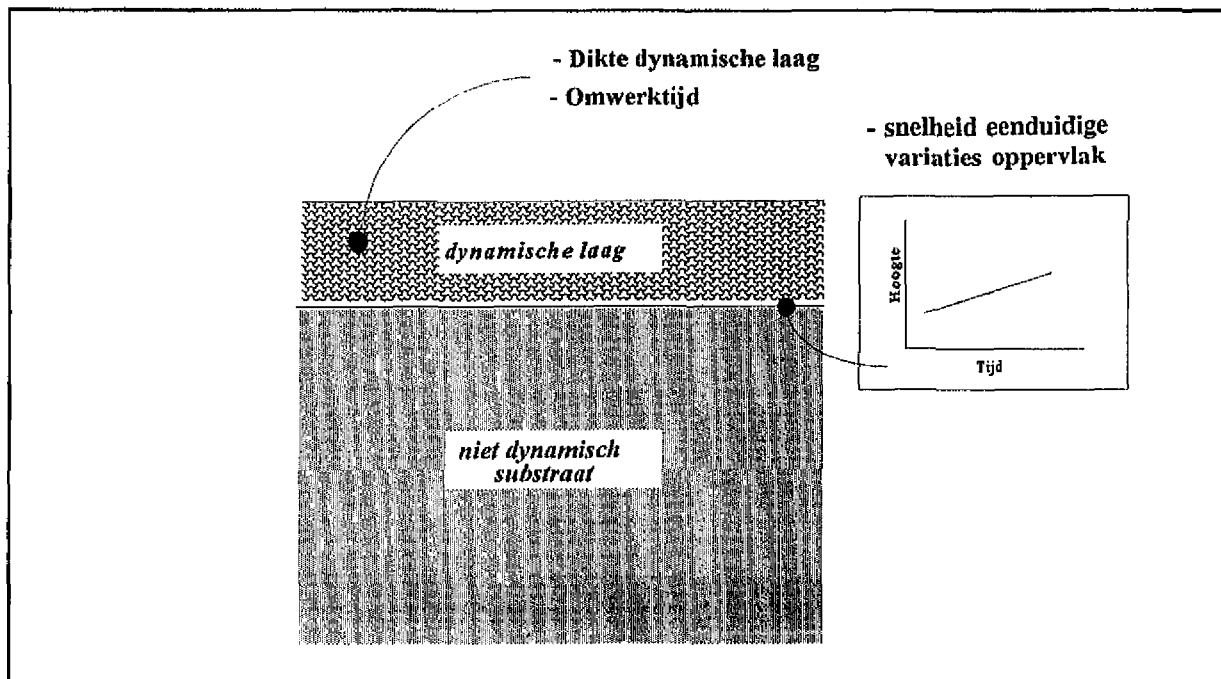
met de volgende parameters (in samenhang):

- dikte van een bewogen laag
- omwerk tijd (tijd waarin de laag volledig bewogen is)

Lange termijn morfologische veranderingen spelen zich op een tijdschaal af waarbij het in praktische zin niet mogelijk is om te komen tot een voorspelling of meting van de dikte van een bewogen laag met een bijbehorende omwerk tijd. Het is daarom zinnig een derde parameter te gebruiken voor het kwantificeren van de substraatdynamiek op een bepaalde plaats:

- snelheid van eenduidige variaties in de hoogte van het oppervlak (aanzanding of erosie)

Bovengenoemde parameters worden verduidelijkt in figuur 2. In het vervolg van dit rapport zullen deze parameters aangeduid worden met de uitdrukking: "substraatdynamische parameters".



Figuur 2 Parameters voor het kwantificeren van substraatdynamiek

2 HUIDIGE KENNIS VAN DE RELATIE BENTHOS, SUBSTRAATDYNAMIEK, STURENDE FACTOREN

2.1 Het belang van substraatdynamiek voor het benthos

De invloed van substraatdynamiek op het benthos is onderwerp van verschillende soorten reeds gedaan en nog lopend onderzoek. Hierbij vormen veldonderzoek en laboratoriumonderzoek de twee hoofdrichtingen.

Vooraf uit laboratoriumonderzoek maar ook uit veldonderzoek is gebleken dat de beweeglijkheid van het substraat (substraatdynamiek) een stressfactor kan zijn voor bodemdieren. Zo komen bijvoorbeeld in de megaribbelgebieden van de Westerschelde relatief zeer weinig bodemdieren voor (Coosen en Strikvoort in prep.). Er is vooral met veldonderzoek aangetoond dat de beweeglijkheid van het substraat direct dodelijk kan zijn door het begraven of uitgespoeld raken van bodemdieren.

Dit onderzoeksveld is echter nog zo nieuw dat nog zelden geprobeerd is de ruimtelijke en/of temporele spreiding van het benthos te verklaren met behulp van de beweeglijkheid van het substraat. Ook is (nog) niet iedereen ervan overtuigd dat substraatdynamiek een belangrijke factor is voor de ruimtelijke en temporele spreiding van het benthos. Onderstaand literatuuroverzicht bevat daarom studies die gaan over de invloed van de beweeglijkheid van het substraat op het benthos.

In de wijze waarop substraatdynamiek het benthos beïnvloedt is een driedeling aan te brengen. Onderscheiden worden de invloed van a) bodemhoogtevariëaties; b) bodemgebonden transport en; c) sedimentbeweging door bodemdieren.

2.1.1 Bodemhoogte variaties

De invloed van bodemhoogtevariëaties op het benthos kan beredeneerd worden op basis van de levenswijze van bodemdieren. Veel bodemdieren zitten ingegraven op een bepaalde diepte. Indien er sprake is van erosie of sedimentatie moeten de bodemdieren zich in- of uitgraven hetgeen een belangrijke stress factor is. Indien erosie of sedimentatie te snel en te groot is kunnen de bodemdieren deze hoogtevariëatie niet bijhouden en worden uitgespoeld of permanent begraven. De frequentie en hoeveelheid van erosie en sedimentatie werkt op deze wijze sturend op de samenstelling van de bodemdier levensgemeenschap.

Reineck et al. (1968) geven een voorbeeld hoe bodemhoogtevariëaties door stormen de samenstelling van de bodemdier levensgemeenschap beïnvloedt. Vlak na een storm werd een sterke afname van aantallen bodemdieren gevonden. De aantallen herstelden zich vervolgens weer in de loop der tijd indien niet weer extreme omstandigheden optraden. Op basis hiervan lijkt het logisch dat regelmatige, grote bodemhoogtevariëaties sterk beperkend kunnen zijn voor het aantal bodemdieren. De invloed van eenmalige bedekking door een laag sediment wordt voor de belangrijkste in Nederland voorkomende benthossoorten samengevat in de studie van Bijkerk (1988). Ook geeft hij voor een aantal soorten de invloed van een permanent verhoogde sedimentatie aan. Voor vele benthossoorten bestaat

een opvallend grote spreiding in de kans van overleven bij een bepaalde hoeveelheid sedimentatie. Vooral afhankelijk van leeftijd van het bodemdier en aard van de sedimentbedekking blijken soms slechts een zeer geringe, maar soms ook een bijzonder grote sedimentbedekking door bodemdieren overleefd te worden. Wel is er steeds sprake van een afname van het aantal individuen. Er treedt vrijwel altijd significante sterfte op. Wynberg en Branch (1994) bestudeerden de invloed van substraatverstoring door aasvisserij. Zij toonden aan dat de invloed op zowel meio- als macrofauna zeer groot was. Herstel in een aantal van de bodemorganismenpopulaties werd pas van betekenis na een periode van drie tot achttien maanden.

De invloed van regelmatige bodemhoogtevariatiën wordt aangetoond in Nowell et al. (1989). Zij konden voedselzoekmogelijkheden, gedrag en stress voor verschillende bodemdiersoorten koppelen aan de migratie van bodemribbels. Grant (1981) toonde het belang aan van getijgestuurde erosie en sedimentatie voor het macrozoobenthos. Uit de data van Emerson en Grant (1991) blijkt dat grote afnames in biomassa van de strandgaper (*Mya arenaria*) populatie samenvallen met sterke bodemhoogtevariatiën veroorzaakt door stormen.

Schoot en Van Eerdt (1985) beschrijven de uitspoeling van het zaad van Engels Slijkgras (*Spartina anglica*) op een slik in de Oosterschelde. De uitspoeling bleek sterk gerelateerd aan de mobiliteit (in verticale zin) van de oppervlaktelaag. Dit voorbeeld geeft aan dat substraatdynamiek ook van belang kan zijn voor het ontstaan van primair schor.

2.1.2 Transport van bodemmateriaal langs de bodem

Uit kennis over de levenswijze van bodemdieren is eenvoudig af te leiden dat bodemtransport de voedselzoekmogelijkheden van bodemdieren kan beïnvloeden. Filter feeders voeden zich voornamelijk met het materiaal beschikbaar in de laag waarin bodemgebonden transport optreedt. Voor hen is de aanvoer van "vers" (ongefiltreerd) geschikt materiaal van belang. Uit de eerste gegevens van een onderzoek op de Molenplaat (oostelijk deel van de Westerschelde) bleek dat de hoeveelheid biomassa aan filtrerende bodemdieren gelimiteerd werd door aanvoer van voedsel in de waterstroom (Herman, pers. comm.). Verder is het van belang dat niet al te veel sediment afkomstig uit de bodemtransportlaag tijdens het filtreren meekomt omdat anders te vaak de filterbuizen schoongemaakt (d.m.v. niezen) moeten worden. Dit is een belangrijke inperking voor de hoeveelheid voedsel die opgenomen kan worden. Ook surface deposit feeders zijn voor hun voedselzoekmogelijkheden afhankelijk van bodemtransport voor aanvoer van "vers" materiaal. Te groot bodemtransport kan het voedselzoeken bemoeilijken.

Bovengenoemde redeneringen worden ondersteund door resultaten van verschillende onderzoeken. Van *Prionospio heterobranchia* (een borstelworm) is bijvoorbeeld bekend dat deze de voedselzoekstrategie aanpast aan sedimentbewegingen aan het oppervlak (Myers 1977). Niesgedrag van tweekleppigen wordt beschreven in Nowell et al. (1989). Levin et al. (1994) vergeleken twee plaatsen met vergelijkbare omstandigheden (waaronder hydrodynamisch regime en korrelgrootte verdeling) maar met verschillend soortelijk gewicht van de korrels waaruit het substraat was opgebouwd. Door het kleinere soortelijk gewicht van de korrels op één van de plaatsen was er sprake van een groter bodemtransport

bij gelijke stroomsnelheid. In deze studie werden de grote verschillen in samenstelling van de gemeenschap van bodemdieren op basis van onder andere deze overwegingen toegeschreven aan verschillen in de mate van bodemtransport.

Emerson en Grant (1991) vonden bij hun studie van een beschut en een geëxponeerd intergetijdegebied een relatie tussen bodemtransport en de verspreiding van de strandgaper (*Mya arenaria*). Zij schreven deze vooral toe aan een (passieve) aanvoer van strandgapers in perioden met een hoog bodemtransport.

2.1.3 Sedimentbeweging door bodemdieren

Bij sedimentbeweging door bodemdieren (bioturbatie) kunnen aanzienlijke hoeveelheden sediment verplaatst worden. Myers (1977) maakt melding van omwerksnelheden van meer dan 20 cm per jaar voor de bovenste decimeter van het substraat (d.w.z. de bovenste decimeter van het substraat wordt in één jaar twee maal geheel omgewerkt). De bovenste centimeter van het substraat wordt hierbij omgewerkt in minder dan vier dagen. Cadee (1976) vond een omwerksnelheid tot 33 cm per jaar ten gevolge van Wadpier (*Arenicola marina*) activiteit. Het lijkt logisch dat dit soort hoeveelheden verplaatst materiaal een invloed hebben op andere bodemdieren. Dit wordt onder andere ondersteund door Flach (1993) en Flach en Beukema (1994).
















Wilson (1981) toonde in het veld aan dat lokaal verhoogde sedimentatie door activiteit van de deposit feeder *Abarenicola pacifica* een belangrijke stress-factor was voor de buisbouwende *Pygospio elegans* en *Cumella vulgaris*. Zijn laboratorium experimenten toonden aan dat de lagere aantallen van deze laatste soorten bij het voorkomen van *A. pacifica* niet toegeschreven konden worden aan migratie maar veroorzaakt werden door een hogere mortaliteit.

Myers (1977) meldt dat voorgaande onderzoeken hebben aangetoond dat biogene instabiliteit van slibrijke sedimenten veroorzaakt door een organismengroep met een bepaalde voedselzoek strategie, een groep organismen met een andere voedselzoek strategie kan uitsluiten. Hij toont zelf aan dat dit proces ook van belang is bij slibarme sedimenten. De oorzaak hiervan is de verhoogde sedimentbeweging die voorkomt dat de tweekleppige suspension feeders aan hun metabolische behoeften kunnen voldoen. Bovendien kan door biogene sedimentinstabiliteit sprake zijn van een verhoogde beschikbaarheid als prooidier (Myers 1977). Brenchley (1981) bestudeerde de samenstelling van bodemdiergemeenschappen in relatie tot bioturbatie effecten. Ook hij vond een relatie tussen mortaliteit van buisbouwende bodemdieren en de activiteit van gravende bodemdiersoorten. Reise (1985) wijst op processen veroorzaakt door bodemdiervooractiviteit die het substraat beter geschikt maken voor andere bodemdieren. Hij noemt als voorbeeld de wadpier (*A. marina*) en het nonnetje (*Macoma balthica*) die zorgen voor fertilisatie en irrigatie van het substraat.

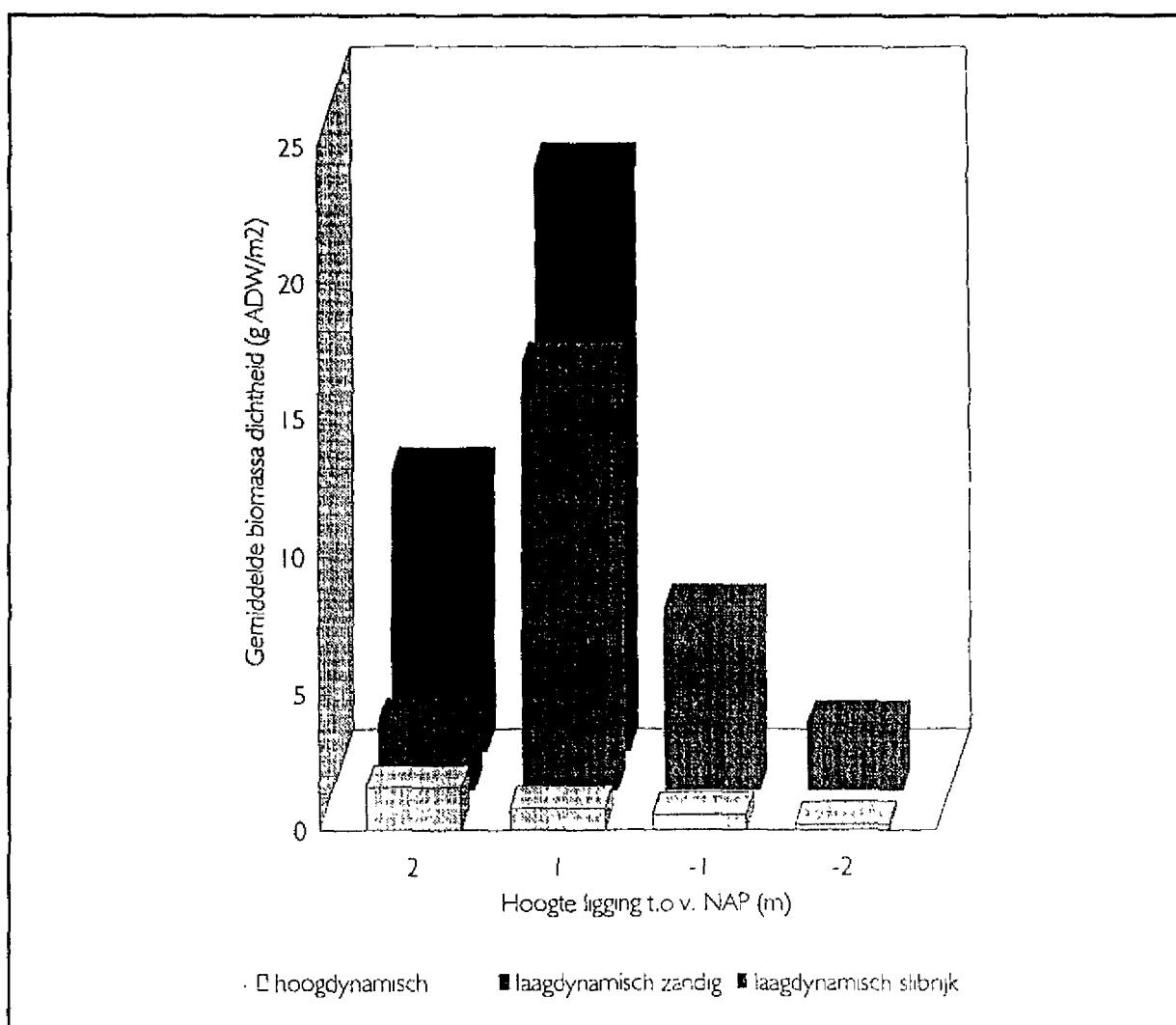
2.2 Relatie tussen substraatdynamiek en benthosvoorkomen in de Westerschelde

De morfohabitat-indeling beschreven in Huijs (1995) geeft inzicht in de ruimtelijke spreiding van abiotische factoren die van belang zijn voor de biota in het gebied. Onderstaande morfohabitat indeling wordt uitvoerig beschreven in Huijs (1995).

Op het eerste niveau vindt een onderverdeling plaats naar geomorfologie: platen en slikken; schorren en duinen. Op het tweede niveau is een indeling gemaakt naar dynamiek: hoogdynamische gebieden; laagdynamische gebieden en schorren. Binnen deze eenheden wordt nog onderscheid gemaakt naar de aard van de megaribbels in de hoogdynamische gebieden. In de laagdynamische gebieden wordt nog een onderscheid gemaakt naar slibgehalte. Een overzicht van de legenda van de morfohabitat kaarten is weergegeven in tabel 1. Op deze wijze geeft deze indeling een eerste indruk van de bodemdynamiek.

PLATEN / SLIKKEN	
VLAK	
	P1a Hoogdynamisch; relatief steile helling
	P1b Laagdynamisch; slibarm
	P1c Laagdynamisch; slibrijk
	P1bc Laagdynamisch; afwisselend slibarm en slibrijk
	P1d Laagdynamisch; Spartinapollen, bedekking < 50%
MEGARIBBELS	
	P2a1 2D (rechte kamlijn); hoogdynamisch; L < 10m
	P2a2 2D; hoogdynamisch; 10m < L < 25m
	P2a3 2D; hoogdynamisch; L > 25m
	P2b1 3D (onregelmatig patroon); hoogdynamisch; L < 10m
	P2b2 3D; hoogdynamisch; 10m < L < 25m
	P2b3 3D; hoogdynamisch; L > 25m
GEISOLEERDE RUG	
	P3 geisoleerde rug; slibarm
SCHORREN	
	S1 Schor met pioniervegetatie
	S2 Volwassen schor met oeverwallen en kommen
DUIN	
	D Duinen; eolisch gevormd

Tabel 1 Morfo-habitat indeling van Huijs (1995).



Figuur 3 Biomassa verdeling over de verschillende morfo-habitats voor het oostelijk deel van de Westerschelde (Coosen en Stikvoort, in prep.).

Voor het oostelijk deel van de Westerschelde (figuur 1) hebben Coosen en Stikvoort (in prep.) de data van een meetcampagne met gedetailleerde benthosgegevens vergeleken met de morfohabitat kaart ('88-'90) van Huijs (1995).

Zij vonden een duidelijke tweedeling in benthos levensgemeenschappen. De eerste groep bevindt zich in de meestal laaggelegen, grofzandige, hoogdynamische platen, al of niet met megaribbels. De biomassa's zijn hier overal zeer laag (minder dan 5 gram asvrij drooggewicht per vierkante meter ($gAFDW/m^2$)). De tweede groep bevindt zich in de meestal hoger gelegen, vlakke al of niet slibrijke gebieden op slikken en platen. De waargenomen biomassa's vertonen hier een grote spreiding (van 0 tot 50 $gAFDW/m^2$). De biomassa verdeling per morfohabitat wordt weergegeven in figuur 3.

Deze eerste benadering geeft het belang van substraatdynamiek aan voor de ruimtelijke spreiding van het benthos. De morfohabitats bestaande uit megaribbelgebieden vormen samen ongeveer één-derde van het intergetijdegebied van de Westerschelde (Huijs 1995). De hypothese is dat in deze hoogdynamische gebieden de bodemdynamiek zo hoog

is dat slechts enkele (mobiele) benthossoorten zich kunnen handhaven waardoor de bereikte biomassa's zeer laag zijn.

2.3 De invloed van sturende factoren op substraatdynamiek

2.3.1 Inleiding

Substraatdynamiek wordt veroorzaakt door de hydrodynamische condities (voornamelijk stroming en golfwerking) en bioturbatie (zie ook Orth 1977). Hieronder wordt een kort overzicht gegeven van de problemen en mogelijke oplossingen die van belang zijn bij het onderzoeken van het verband tussen de sturende factoren en substraatdynamiek zoals dat wordt voorgesteld in hoofdstuk 4. Verder wordt in paragraaf 2.4 nog apart ingegaan op het belang van de biotische component in het substraat voor substraatdynamiek.

2.3.2 Sturende factoren

De genoemde sturende factoren werken op het substraat in via omwoeling door variabele poriënspanningen, luchtinsluitingen, erosie- en sedimentatieprocessen en bioturbatie (zie ook Orth 1977).

Diffusieve menging door variabele poriënspanningen is in de Westerschelde door de aard van het substraat en de grootte van de golven waarschijnlijk maar zeer beperkt van belang. Hooguit de bovenste drie centimeter van het substraat kunnen tijdens extreme omstandigheden hierdoor beïnvloed worden (Kroon, pers. comm.). Diffusieve menging door luchtinsluitingen wordt door De Boer (1979) een relatief langzaam proces genoemd. Hij noemt een tijdspanne van een aantal tijcycli zonder daarbij echter een indicatie te geven van de hoeveelheid verplaatst materiaal. Volgens Van den Berg (pers. comm.) is het proces van ondergeschikt belang voor substraatdynamiek.

Voor het overige is het voor een intergetijdegebied zeer lastig in te schatten hoe de verbanden zijn tussen de sturende factoren en substraatdynamiek. Tijdens een getijcyclus is er op de meeste locaties sprake van invloed door a) alleen stroming; b) stroming en golfopgewekte orbitaalbewegingen en; c) stroming en brekende golven (golfjes) in steeds wisselende onderlinge verhoudingen. Bovendien zijn de sturende factoren afhankelijk van (stochastische) weersprocessen waardoor de per getij wisselende verhoudingen tussen de sturende factoren ook tussen de verschillende getijcycli variëren. Verder is nog wisselende biogene stabilisatie of destabilisatie van belang, terwijl ook bioturbatie nog als sturende factor soms zeer belangrijk kan zijn (zie paragraaf 2.4.2).

Verschillende aspecten van erosie- en sedimentatieprocessen met betrekking tot substraatdynamiek in bovengenoemde drie situaties (stroming; stroming & orbitaalbeweging; stroming & breking) worden in de volgende paragrafen besproken. Hierbij wordt vooral aandacht geschonken aan de manier waarop de grootte van de substraatdynamiek gekwantificeerd kan worden.

2.3.3 Alleen stroming

In deze situatie is substraatdynamiek in de vorm van korrelbewegingen relatief eenvoudig te benaderen met de grootte van het bodemtransport. Hierbij staat de kritische stroomsnelheid voor transport centraal. Deze kritische stroomsnelheid hangt onder meer af van de eigenschappen van de vloeistof, het sediment en het substraat. Een opsomming van de eigenschappen die van belang zijn wordt gegeven in tabel 2. De grootte van het bodemtransport kan onder meer worden gemodelleerd met de transportformules van Van Rijn of Kalinske-Frijlink (Onneweer 1992). Deze transportformules zijn minder bruikbaar voor gebieden met slibrijk materiaal (Van Rijn 1993).

Flow properties	Fluid properties	Sediment properties	Other properties
Discharge (Q)	Kinematic viscosity (ν)	Density (ρ_s)	Gravity (g)
Velocity (v)	Density (ρ)	Size (D)	Plan-form geometry
Flow depth (d)	Temperature (T)	Sorting (σ)	
Width (w)	Wash load concentration (C)	Fall velocity (v_f)	
Slope (s)			
Resistance (ff)			

Tabel 2 Parameters van belang voor bodemtransport.
(Knighton 1984)

Substraatdynamiek in de vorm van bodemhoogtevariatiën wordt bepaald door de verhouding tussen afvoer en aanvoer van materiaal (sedimentbudget). Voor zowel afvoer als aanvoer van materiaal is een kritische stroomsnelheid van belang. Ook spelen factoren als aard en hoeveelheid sediment in de waterkolom een rol. Verder literatuuronderzoek naar deze factoren moet nog plaats vinden. Uit het eerste literatuuronderzoek bleek al wel dat het modelleren van sedimentbudgetten met voldoende nauwkeurigheid voor het voorgestelde onderzoek nog niet praktisch haalbaar is.

2.3.4 Stroming en orbitaalbeweging

Ook in deze situatie zijn weer kritische stroomsnelheden voor depositie en resuspensie van belang. Hierbij is echter een heen- en weergaande waterbeweging zoals opgewekt door golven fundamenteel anders dan een uni-directionele waterbeweging. Zo'n heen- en weergaande waterbeweging aan het substraattoepervlak ontstaat wanneer het water zo ondiep is dat de rondgaande waterbeweging (orbitaalbeweging) onder de golven aan de bodem raakt. Dit is het geval indien de waterdiepte kleiner is dan de helft van de golflengte (vuistregel). De orbitaalsnelheden aan de bodem kunnen berekend worden op basis van Soulsby (1987). Hij geeft hierbij relaties voor zowel monochromatische golven als golfspectra.

Indien er geen stroming anders dan door orbitaalbeweging is kunnen de omstandigheden waarbij de deeltjes aan het oppervlak van het substraat in beweging komen worden gemodelleerd met een model van Madsen en Grant (1976). Zij geven ook een relatie die

een indicatie geeft voor de getransporteerde hoeveelheid (Kraus en Horikawa 1992). Indien er wel sprake is van "achtergrond stroming" kunnen een aantal modellen worden gebruikt. Deze modellen zijn echter alleen bruikbaar indien er sprake is van een logaritmisch snelheidsprofiel in het onderste deel van de waterkolom (Drake en Cacchione 1992). Schoellhamer (1995) toonde met zijn veldstudie op een ondiepe locatie (waterdiepte minimaal 2 m) in een estuarium aan dat de verwaarlozing van de "achtergrond stroming" vrijwel geen invloed had op de kwaliteit van de voorspelling van de resuspensie van bodemmateriaal.

2.3.5 Brekende golven

Door de waterstandverschillen gedurende een getij komt vrijwel elk stukje substraat in het intergetijdegebied gedurende kortere of langere tijd onder invloed te staan van brekende golven (of golfjes). Op deze momenten is het sediment aan het oppervlak voortdurend in beweging (zie ook Kraus en Horikawa 1992). Hierbij wordt de overgang tussen substraat en water enigszins diffuus (zie ook Erlingsson 1991) doordat er sprake is van een zeer dichte suspensie nabij het substraatoppervlak.

Of in de zone waar golven breken sprake is van erosie of sedimentatie is afhankelijk van de "achtergrond stroming". Brekende golven kunnen de erosieve kracht van een stroming sterk vergroten waardoor ook bij lage stroomsnelheden relatief grote transporten kunnen optreden. Ook kan golfasymetrie een netto sedimenttransport veroorzaken (o.a. Wilson et al. 1995).

2.3.6 Praktische benadering

Methodes zoals genoemd in de literatuur zijn voor het voorgestelde onderzoek beperkt bruikbaar doordat de onderzoeken naar stroming en golfwerking meestal niet gericht zijn op de beweeglijkheid van het substraat maar veel meer op het transportproces zelf. Meer literatuuronderzoek moet nog plaatsvinden maar er is een beperkt aanbod aan theorie en modellen op het gebied van bodemhoogtevariaties.

Een praktische benadering voor het onderzoek naar het verband tussen sturende factoren en substraatdynamiek kan gebaseerd worden op de tijdsduur waarop de kritische stroomsnelheid voor erosie en de tijdsduur waarop de kritische snelheid voor sedimentatie overschreden wordt. Dit stelt minder hoge eisen aan data en modellen waardoor de benodigde gegevens waarschijnlijk met een realistische veldinspanning verzameld kunnen worden. Bovendien heeft de tijdsduur gedurende welke transport optreedt waarschijnlijk meer invloed op de benthosgemeenschap dan de grootte van het transport. Dit is vooral het geval wanneer er sprake is van een dichte suspensie nabij het substraatoppervlak veroorzaakt door golfwerking of een grote invloed van orbitaalbewegingen.

2.4 De invloed van de biotische component op substraatdynamiek

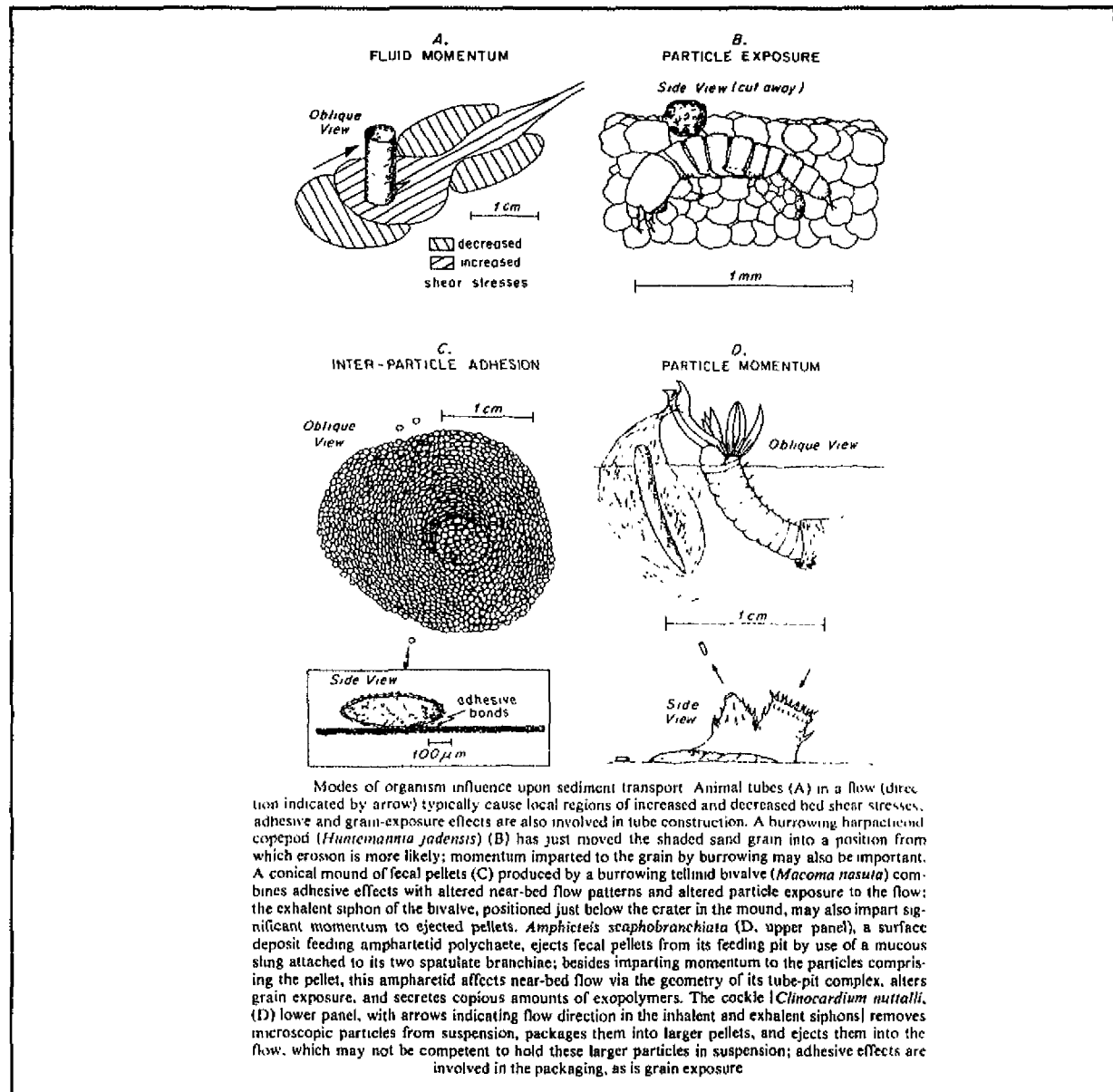
2.4.1 Indirecte invloed

De biotische component heeft op een tweetal manieren invloed op de substraatdynamiek. Omwoeling door bodemdieren geeft een directe bijdrage aan de substraatdynamiek. Verder beïnvloedt de biotische component substraatdynamiek ook op een indirecte wijze via invloed op het sedimenttransport. De aanwezigheid van een biotische component in het substraat kan de eigenschappen van het substraat met betrekking tot erosie- en sedimentatieprocessen beïnvloeden.

Deze invloed is onderwerp van veel reeds gedaan en lopend onderzoek. Hierbij wordt vooral veel aandacht gegeven aan de sterkte (als maat voor weerstand tegen erosie) van het substraat. Dit onderzoek is zeer lastig omdat de biota een intrinsiek deel van het substraat vormt. Hierdoor is het moeilijk een vergelijk te maken tussen een situatie met of zonder een bepaalde biotische component. Bovendien blijkt het niet mogelijk om te komen tot een eenduidige indeling in stabiliserende en de-stabiliserende organismen. Het netto effect van de invloed van een bepaalde groep organismen hangt af van stromingscondities, beddingvormen, substraatsamenstelling en de samenstelling van de benthische gemeenschap (Jumars en Nowell 1983). Jumars en Nowell (1983) gebruiken daarom in plaats van een indeling gebaseerd op de tegenstelling stabilisatie- de-stabilisatie een meer procesgeoriënteerde indeling. Zij onderscheiden een viertal processen volgens welke de biotische component in het substraat de eigenschappen met betrekking tot erosie- en sedimentatieprocessen beïnvloedt (figuur 4). Over elk van deze aspecten is een reeks van publikaties beschikbaar waarvan de belangrijkste zijn opgenomen in de lijst met niet-geciteerde referenties.

Proces A omvat de *veranderingen van de op het substraat inwerkende hydraulische krachten door biogene of biologische structuren*. De belangrijkste wijzen van invloed worden hier genoemd. Het effect van filter- en adembuizen is sterk afhankelijk van de dichtheid van buisjes. Bij lage dichtheden wordt erosie in de hand gewerkt. Bij hoge dichtheden wordt juist de sedimentatie vergroot. Ook algen- en diatomeeënmaten zijn van belang voor het verlagen van de aan het substraat opgelegde hydraulische krachten. Verder kan vooral het macrobenthos microreliëf veroorzaken waardoor de hydraulische krachten beïnvloedt worden.

Proces B omvat de *veranderingen in het blootstaan van een deeltje aan hydraulische krachten*. Dit proces hangt nauw samen met proces A, maar wordt apart onderscheiden omdat het voor organismen ook mogelijk is om de blootstelling van een deeltje te veranderen zonder een directe significante invloed uit te oefenen op de hydraulische krachten. Dit kan gedaan worden door het macrobenthos (bijvoorbeeld wadpier) maar ook door het meiobenthos.



Figuur 4 Invloed van bodemorganismen op sedimenttransport.
(Jumars en Nowell 1984)

Proces C omvat de *veranderingen in de adhesieve en cohesieve bindingen tussen deeltjes*. Vrijwel alle activiteiten van micro-, meio- en macrobenthos gaan gepaard met het uitscheiden van mucus, en het verbreken en opbouwen van adhesieve en cohesieve bindingen tussen deeltjes. Naarmate de deeltjes kleiner worden zijn dit soort processen van groter belang. Maar o.a. De Boer (1981) heeft aangetoond dat dit soort processen ook in grof zand van belang kan zijn. Het netto effect van deze activiteiten is bijzonder moeilijk te kwantificeren of zelfs maar kwalitatief te benaderen.

Proces D omvat de *veranderingen in het momentum van de deeltjes*. Hieronder wordt de snelheidsverandering die door de organismen aan deeltjes wordt gegeven verstaan. Vele

bodemdieren brengen deeltjes direct in de waterkolom (b.v. kokkel, slijkgarnaal), waardoor deze direct -onafhankelijk van de stroomsnelheid- geresuspendeerd worden. Ook vangen suspension feeders zwevende deeltjes in. De hoeveelheden kunnen zo groot zijn dat er wel wordt gesproken van biodepositie.

2.4.2 Bioturbatie

Bij bioturbatie wordt het substraat door bodemdieren zodanig bewogen dat er sprake is van substraatdynamiek volgens de definitie in hoofdstuk 1. Bioturbatie vertoont een sterke seizoensdynamiek waarbij bioturbatiesnelheden in de zomer meer dan een orde van grootte groter kunnen zijn dan in de winter. Cadee (1976) vond voor de wadpier *Arenicola Marina* een sedimentomwerksnelheid van 6 - 33 cm per jaar. Vooral in de relatief laagdynamische gebieden kan de totale substraatdynamiek ten gevolge van bioturbatie groter zijn dan substraatdynamiek veroorzaakt door golfwerking en stroming. Grant (1983) noemt in zijn studie met betrekking tot intergetijdegebieden in South Carolina (USA) een verhouding tussen biogene en getijdestroom omwerking van maximaal 50 %. Meestal blijft het aandeel van biogene omwerking volgens hem echter beperkt tot enkele procenten.

Verschillende auteurs (waaronder Myers 1977, Brenchley 1981, Grant 1983) hebben omwerksnelheden ten gevolge van bioturbatie bepaald aan de hand van omwerksnelheden van individuen (bepaald in het lab) en dichtheden van bodemdieren. Helaas doen zij daarbij geen uitspraken over de bereikte nauwkeurigheid. Gezien de weersafhankelijkheid van de activiteiten van de bodemdieren en de soms sterk wisselende bodemdierpopulaties is het wellicht verstandiger om de bioturbatie direct in het veld te meten.

2.5 Samenvatting

Uit bovenstaand literatuuroverzicht blijkt dat substraatdynamiek als proces een factor van belang is voor de ruimtelijke en temporele spreiding van het benthos. Hoe groot dit belang is ten opzicht van andere factoren die werken op een vergelijkbare ruimte- en tijdschaal is niet duidelijk. Vooral voedselaanvoer, maar ook hydrodynamiek en predatie lijken factoren die van groot belang zijn. Substraatdynamiek en -samenstelling vormen samen met hoogteligging echter de parameters die een relatie kunnen leggen tussen morfologische veranderingen ten gevolge van inrichtings- en beheermaatregelen en de ecologie van een estuarium.

Verder blijkt uit bovenstaand literatuuroverzicht dat de samenhang tussen sturende factoren en substraatdynamiek in intergetijdegebieden complex is. Het is belangrijk om te onderkennen dat het op het moment nog niet mogelijk is substraatdynamiek met behulp van fysisch-deterministische modellen te voorspellen uit de sturende factoren en de belangrijkste randvoorwaarden. Dit komt mede doordat de invloed van de biotische component op het substraat nog slecht kwantificeerbaar en voorspelbaar is. Praktische benaderingen met behulp van empirische modellen lijken echter goed mogelijk.

3 RESULTATEN ANALYSE BESTAANDE GEGEVENS

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk bevat de resultaten van de analyse van de GIS-dataset voor het oostelijk deel van de Westerschelde (figuur 1). Getracht is de sturende factoren te relateren aan morfologische eenheden. Bovendien is getracht te komen tot een karakterisering van de bij de morfologische habitats behorende eigenschappen zoals substraatsamenstelling en benthossamenstelling. Verder zijn de resultaten van het onderzoek naar substraatdynamiek op basis van erosie- en sedimentatiedata weergegeven. Ook zijn enkele resultaten van simulaties met het ENDEC-golfmodel opgenomen.

3.2 Analyse van de dataset op GIS

3.2.1 Inleiding

De GIS-dataset zoals gebruikt in dit onderzoek is opgebouwd uit een aantal bestanden die door verschillende personen en met verschillende doelen zijn vervaardigd. Deze bestanden waren aanwezig op diverse harde schijven van het GIS-systeem van het RIKZ-Middelburg. Een overzicht van de gebruikte dataset wordt gegeven in tabel 3.

(Intergetijde)gebiedsdekkende kaarten:

(Rasterkaarten met verschillende celgroottes)

- | | |
|--|-----------------|
| - Maximale stroomsnelheden bij eb | celgrootte 100m |
| - Maximale stroomsnelheden bij vloed | celgrootte 100m |
| - Bathymetrie 1988; 1990; 1992 en afgeleiden | celgrootte 20m |
| - Morfohabitatkaart 1988/89/90 | celgrootte 20m |

Kaarten gebaseerd op de monstercampagne van 1990 (figuur 1):

(Puntenkaarten; vaak ook geconverteerd tot rasterkaarten met celgrootte 20m)

- locaties monsterpunten
- zandgehalte
- slibgehalte
- mediane korrelgrootte
- sortering
- kalkgehalte
- humusgehalte
- diepteligging
- biomassa van het macrobenthos per soort; voedingsgroep en totaal
- soortenaantallen van het macrobenthos

Tabel 3 Overzicht van de gebruikte dataset voor de GIS-analyses.

3.2.2 Werkwijze en problemen met de dataset

Van de verschillende bestanden waaruit de dataset bestond is vrijwel geen meta-informatie (informatie over gegevens (Otter en Van der Vloet 1996)) beschikbaar. Hierdoor heeft het onderzoek geleden aan een gebrek aan informatie over de aard en kwaliteit van de data. Verder blijken er hier en daar storende fouten in de dataset aanwezig, waardoor niet alle data bruikbaar waren. Ook vormen de intergetijdegebieden waarop dit onderzoek zich heeft gericht soms de randgebieden van interpolaties (stroomsnelheden, hoogtes). Verder hadden de analyses soms te lijden onder het feit dat niet alle data die vergeleken werden uit dezelfde periode waren. Bovendien zijn niet alle data over het gehele gebied beschikbaar. Met name van de schorren zijn vrijwel geen gegevens aanwezig in de dataset.

In de dataset waren van een aantal parameters (intergetijde)gebied dekkende kaarten aanwezig. Dit waren maximale stroomsnelheid bij eb en bij vloed, bathymetrie en daarvan afgeleide parameters. De waarden van aantal andere parameters zijn verzameld middels een bemonsteringscampagne in 1990 (zie ook Coosen en Stikvoort in prep.). Van deze meetcampagne lagen 106 punten in het intergetijdegebied (zie figuur 1). De verdeling van deze punten over de morfohabitats is aangegeven in figuur 5. De in dit onderzoek gebruikte data uit deze bemonsteringscampagne betreft: biomassa's, soorten aantallen en substraatsamenstelling.

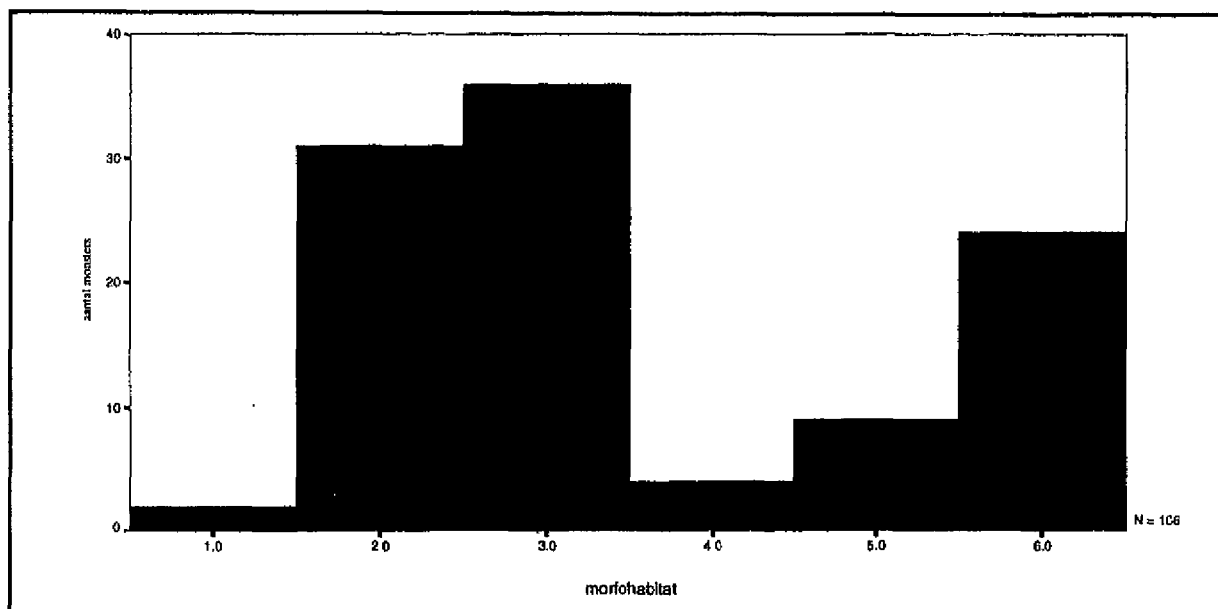
Doordat de mogelijkheden tot statische analyses binnen het GIS-pakket Arc/INFO (waarop de dataset beschikbaar is) nogal beperkt is was het noodzakelijk de data te exporteren naar een statistisch pakket. Dit is gedaan door gebruik te maken van Arc/INFO's GRID-functie SAMPLE. Het statistisch pakket SPSS (Unix, PC windows) bleek in staat het zo ontstane lastige exportformaat van Arc/INFO goed te importeren. Dit programma is dan ook gebruikt voor het analyseren van de data. Hiermee zijn ook figuur 5 - 22 en de genoemde statistische maten bepaald.

Door bovengenoemde problemen was een nauwkeurige statische analyse van de dataset niet zinvol. Er is gekozen voor het vervaardigen van "scatter plots" omdat dit een direct inzicht geeft in de structuur van de data. Hierdoor is het mogelijk om goede indrukken te krijgen over een groot aantal verbanden. In een aantal gevallen zijn gemiddeldes en standaarddeviaties bepaald en gegroepeerd tot overzichtstabellen.

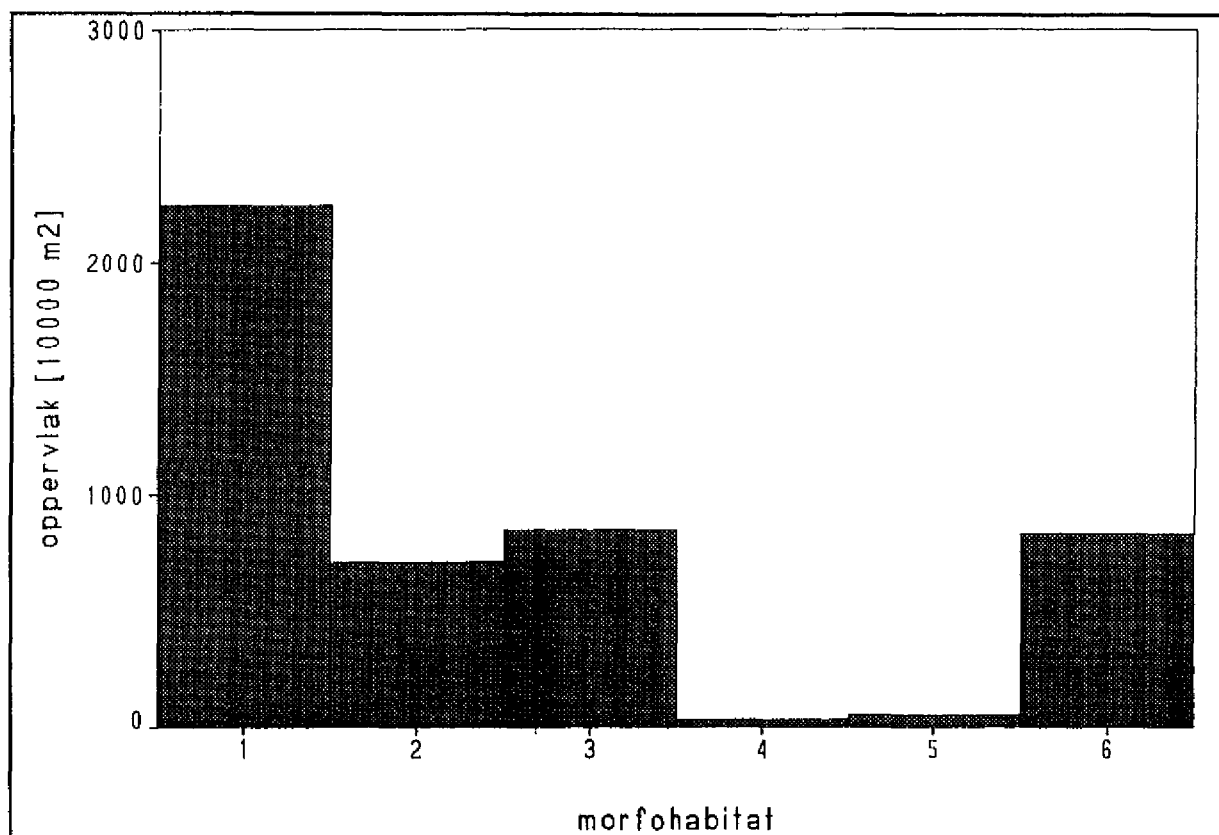
3.2.3 Resultaten

Verbanden met morfohabitats

De morfohabitats onderscheidde op basis van luchtfotoïnterpretatie (Huijs 1995) geven voor de intergetijdegebieden in de Westerschelde een eerste indeling in dynamiek. Daarom is er in de analyses veel aandacht gegeven aan verbanden met deze eenheden. Om voor elke eenheid voldoende datapunten voor een analyse te garanderen moest de oorspronkelijke -gedetailleerde- indeling vereenvoudigd worden. In dit rapport worden de volgende morfo-



Figuur 5 Verdeling van de monsterpunten over de verschillende eenheden van de vereenvoudigde morfohabitatindeling in het gebied Westerschelde-Oost.



Figuur 6 Oppervlak van de verschillende eenheden van de vereenvoudigde morfohabitatindeling in het gebied Westerschelde-Oost.

habitats onderscheiden:

- 1: schorren
- 2: slibrijke vlakke plaatdelen
- 3: zandige vlakke plaatdelen
- 4: hoogdynamische plaatranden
- 5: 2-D megaribbel plaatdelen
- 6: 3-D megaribbel plaatdelen

Deze eenheden zijn in de figuren 5 - 16 in oplopende volgorde genummerd van één tot zes. Deze nummering geeft in principe een indeling in oplopende morfologische dynamiek. Verondersteld wordt dat slibrijke vlakke plaatdelen minder dynamisch zijn dan zandige vlakke plaatdelen. Uit de resultaten van de verschillende analyses op de GIS-dataset, maar vooral ook van de erosie- en sedimentatiedata (zie paragraaf 3.3) blijkt echter dat de verschillende klassen elkaar waarschijnlijk overlappen. Er zijn bijvoorbeeld in het veld waarschijnlijk slibrijke vlakke plaatdelen aanwezig die dynamischer zijn dan sommige zandige vlakke plaatdelen.

In figuur 6 staan de relatieve aandelen van de verschillende morfohabitats aangegeven in tienduizenden vierkante meters. In figuur 7 - 14 staan de relaties van verschillende variabelen (hieronder toegelicht) met de morfohabitats eenheden weergegeven met behulp van "scatter plots". In tabel 4 staan de gemiddelden en standaarddeviaties nog eens samengevat.

morf:	2		3		4		5		6	
	gem.	std.	gem.	std.	gem.	std.	gem.	std.	gem.	std.
bathy	85	103	8	112	-49	119	-13	100	-39	91
90-88	-4	31	-9	62	-99	174	9	117	-38	144
eb	0.11	0.16	0.27	0.21	0.51	0.19	0.32	0.13	0.32	0.16
vloed	0.31	0.16	0.48	0.20	0.53	0.14	0.38	0.15	0.52	0.16

morf: eenheid van de vereenvoudigde morfohabitatindeling

bathy: hoogte in centimeters boven N.A.P.

90-88: hoogteverschil tussen de jaren '88 en '90 in centimeters

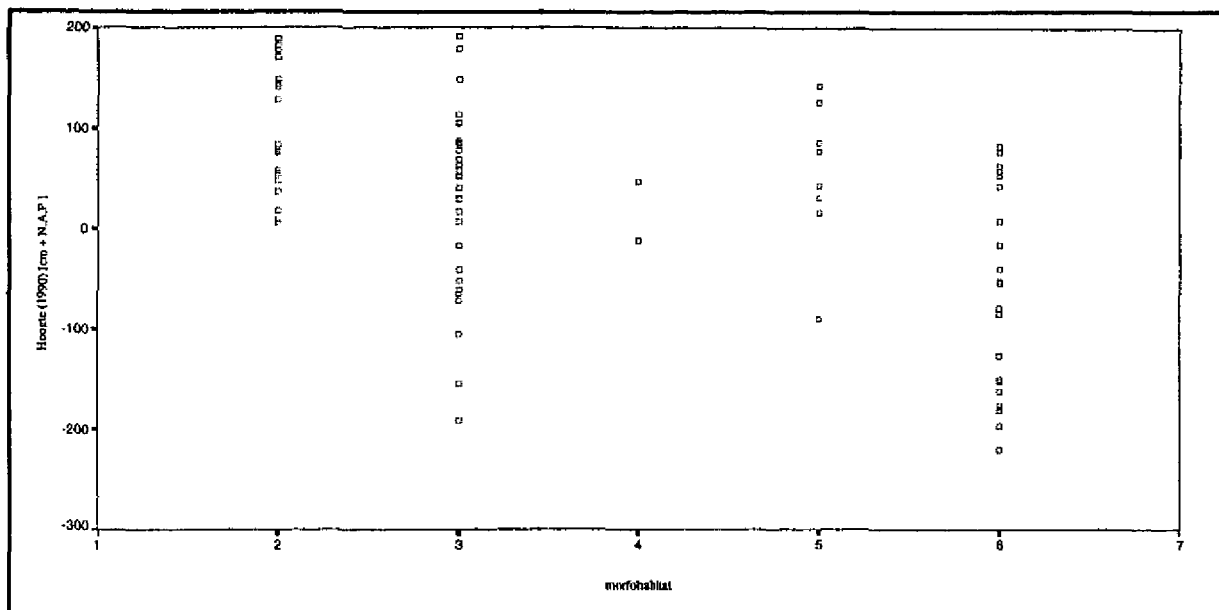
eb: maximale stroomsnelheid bij eb in meters per seconde

vloed: maximale stroomsnelheid bij vloed in meters per seconde

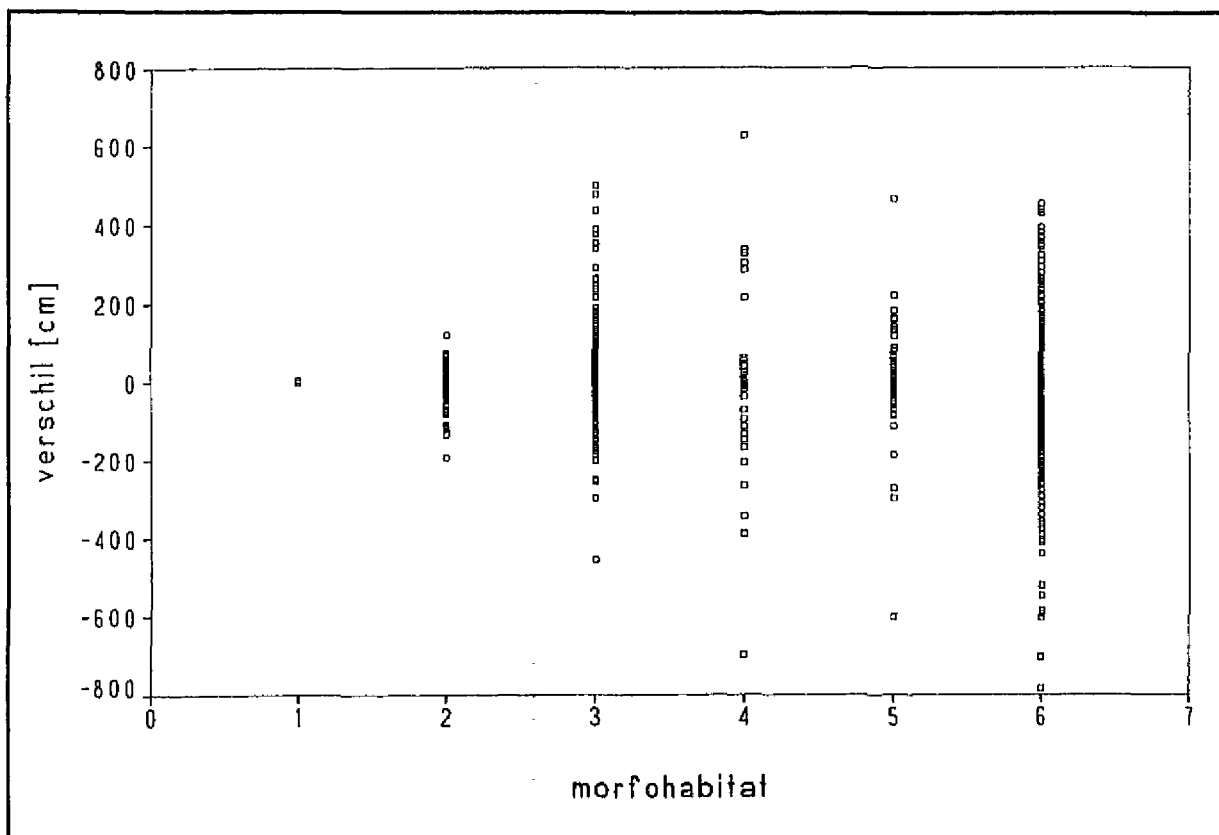
Tabel 4 Gemiddeldes en standaardafwijkingen voor een aantal parameters.

Relatie met de hoogte

In figuur 7 staat de hoogte waarop de verschillende morfohabitats voorkomen aangegeven. Bovengenoemde problemen met de kwaliteit van de dataset komen in deze figuur duidelijk naar voren. De weergegeven morfohabitats behoren allen tot het intergetijdegebied. Terwijl het intergetijdegebied in deze zone van de Westerschelde niet beneden ongeveer 2.5 m min



Figuur 7 Hoogteligging van de verschillende eenheden van de vereenvoudigde morfohabitatindeling in het gebied Westerschelde-Oost.



Figuur 8 Hoogteverschillen ('88-'90) van de verschillende eenheden van de vereenvoudigde morfohabitatindeling in het gebied Westerschelde-Oost.

N.A.P. voorkomt blijkt uit figuur 7 dat uitgezonderd de slikken en de schorren alle morfodynamische eenheden voorkomen tot 6 m min N.A.P. Uit een nadere beschouwing bleek dat het aantal te laag gelegen punten relatief gering is. Bovendien zijn deze punten vrijwel overal gelegen aan de randen van de platen. Van het overgrote deel van de punten die niet langs de randen van de platen liggen kan worden aangenomen dat de hoogteligging ongeveer correct is weergegeven in figuur 7. Uit deze figuur is af te leiden dat de schorren relatief hoog liggen en weinig spreiding vertonen. Alle eenheden uitgezonderd de schorren komen vrijwel op alle hoogtes in het intergetijdegebied voor.

Ondanks de "vervuiling" met foutieve punten is figuur 8 nog wel bruikbaar. Uit deze figuur blijkt dat de hoger-dynamische eenheden relatief grotere hoogteverschillen vertonen over de periode '88-'90 dan de relatief laag-dynamische delen.

Relatie met de samenstelling van het substraat

Uit figuur 9 en 10 blijkt dat de zandgehalten toe- en de slibgehalten afnemen in de meer dynamische morfohabitats. Deze trend is nog iets duidelijker waarneembaar in figuur 11 waar de mediane korrelgrootte is weergegeven. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat bij de bemonstering de fracties zand, slib, kalk en humus samen 100 % vormen (Uit den Boogaart, pers. comm.). Opvallend is ook dat de spreiding in de waarden het hoogste is bij de laagdynamische morfohabitats.

Het kalkgehalte en het humusgehalte zoals uitgezet in figuur 12 en 13 laten ook een afnemende trend met toenemende dynamiek zien. Ook hier is de spreiding in de laagdynamische morfohabitats het grootst.

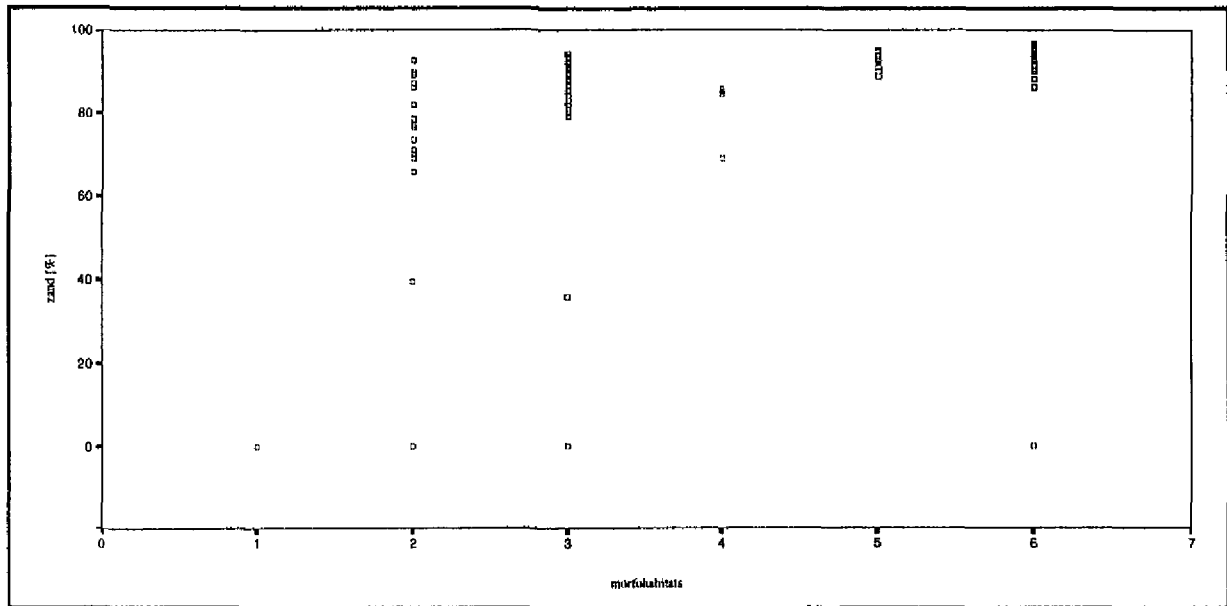
Relatie met de maximale stroomsnelheid

De relatie tussen morfohabitats en maximale stroomsnelheden bij eb en vloed (gebaseerd op het WAQUA-model) vertoont eveneens veel spreiding (figuur 14 en 15). Er lijkt echter wel een trend waarneembaar die duidt op hogere stroomsnelheden in de hoger dynamische eenheden. Deze trend komt in figuur 14 en 15 slechts naar voren voor de eenheden 2, 3 en 4. De morfodynamische eenheden 5 en 6 vertonen een niet eenduidig beeld waarbij echter de relatief lage stroomsnelheden opvallen.

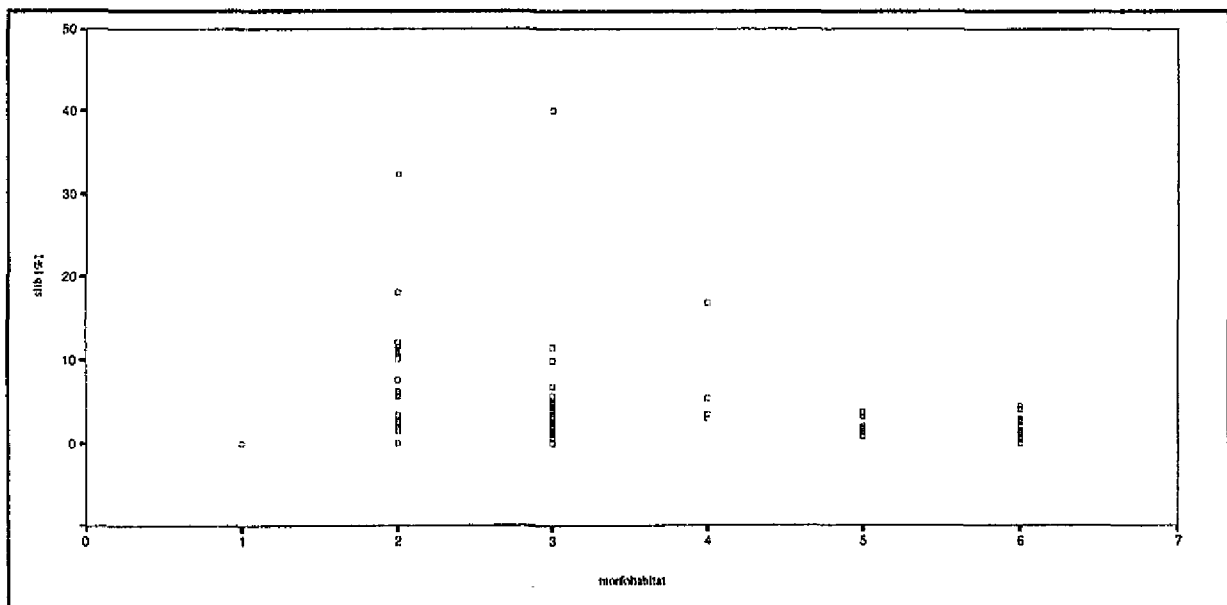
Dit resultaat is duidelijk in tegenspraak met Dalrymple en Rhodes (1995) waarbij hogere stroomsnelheden noodzakelijk worden geacht voor megaribbels. In Terwindt en Brouwer (1986) wordt dit verband ook aangetoond voor de Plaat van Valkenisse in de Westerschelde. Bovendien vonden zij een scherpe scheiding in stroomsnelheden tussen 2-D- en 3-D megaribbels. Aannemelijk lijkt dat de verschillen in resultaten zijn te wijten aan de modellering met WAQUA. Dit model is afgeregeld voor de geulen en levert daardoor relatief slechte resultaten voor de intergetijdegebieden (Storm pers. comm.).

Relatie met de biotische component van het substraat

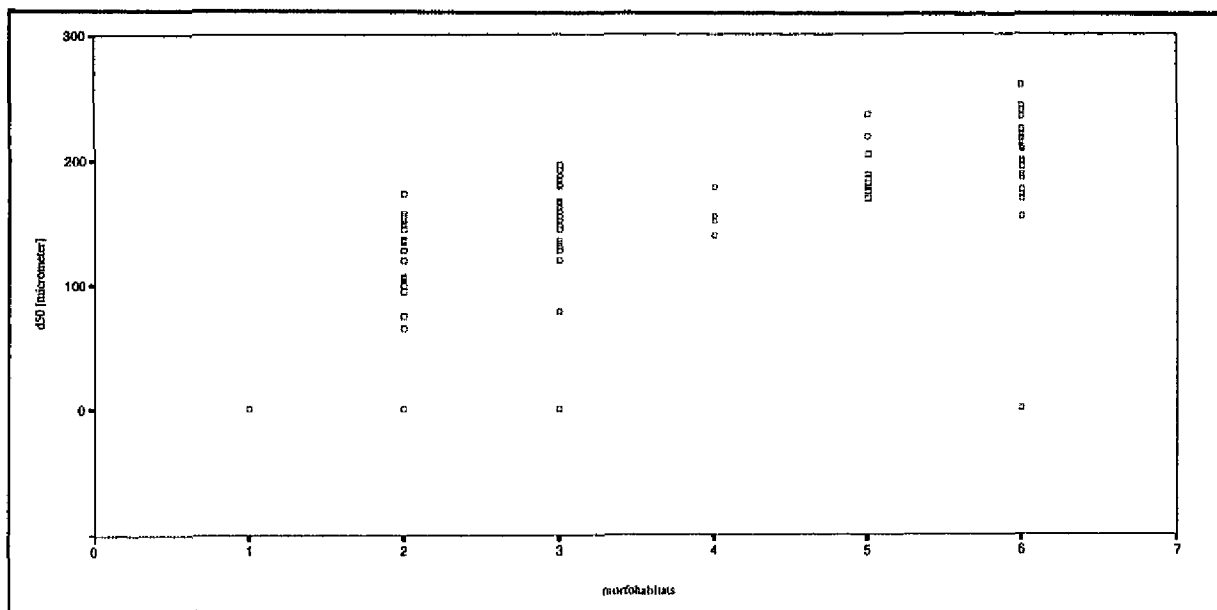
Uit figuur 16 blijkt duidelijk dat de aanwezige hoeveelheid biomassa in het substraat sterk samenhangt met de morfohabitats. Op de slibrijke en zandige vlakke platen komen veruit de hoogste biomassa's voor. De hoogdynamische morfohabitats vertonen zeer lage bio-



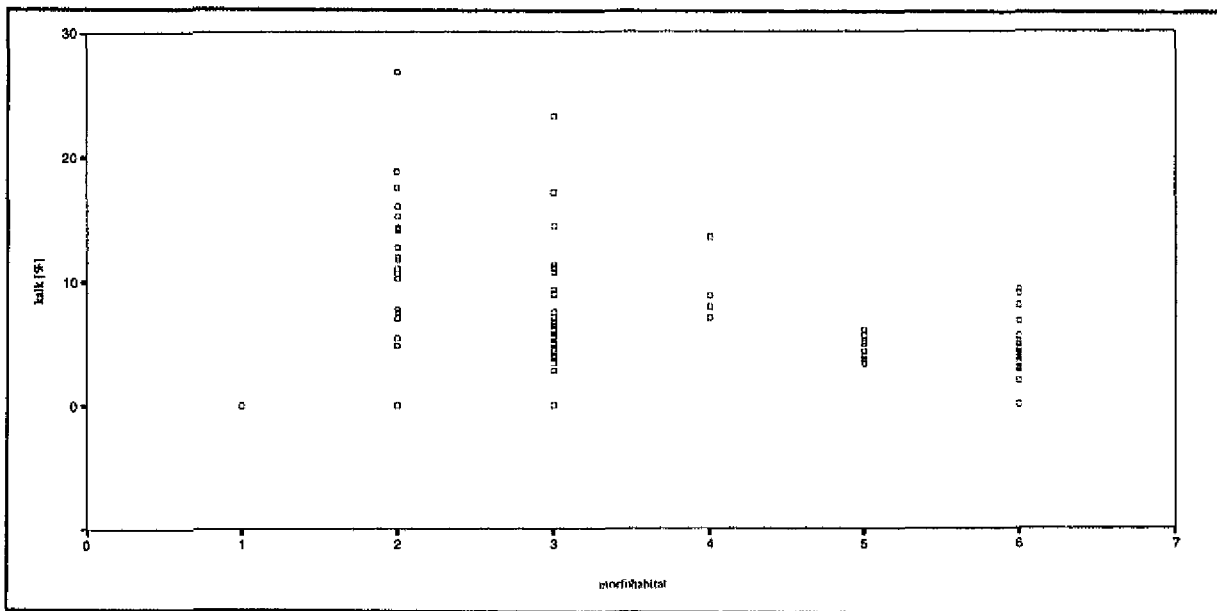
Figuur 9 Zandgehalte van de verschillende eenheden van de vereenvoudigde morfohabitatindeling in het gebied Westerschelde-Oost.



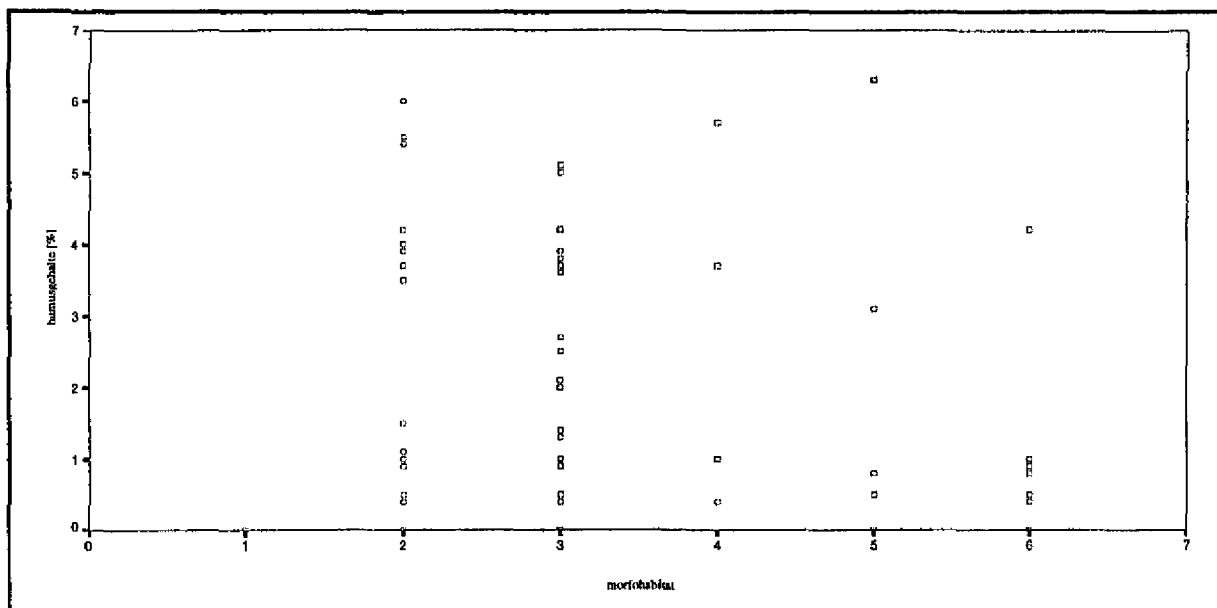
Figuur 10 Slibgehalte van de verschillende eenheden van de vereenvoudigde morfohabitatindeling in het gebied Westerschelde-Oost.



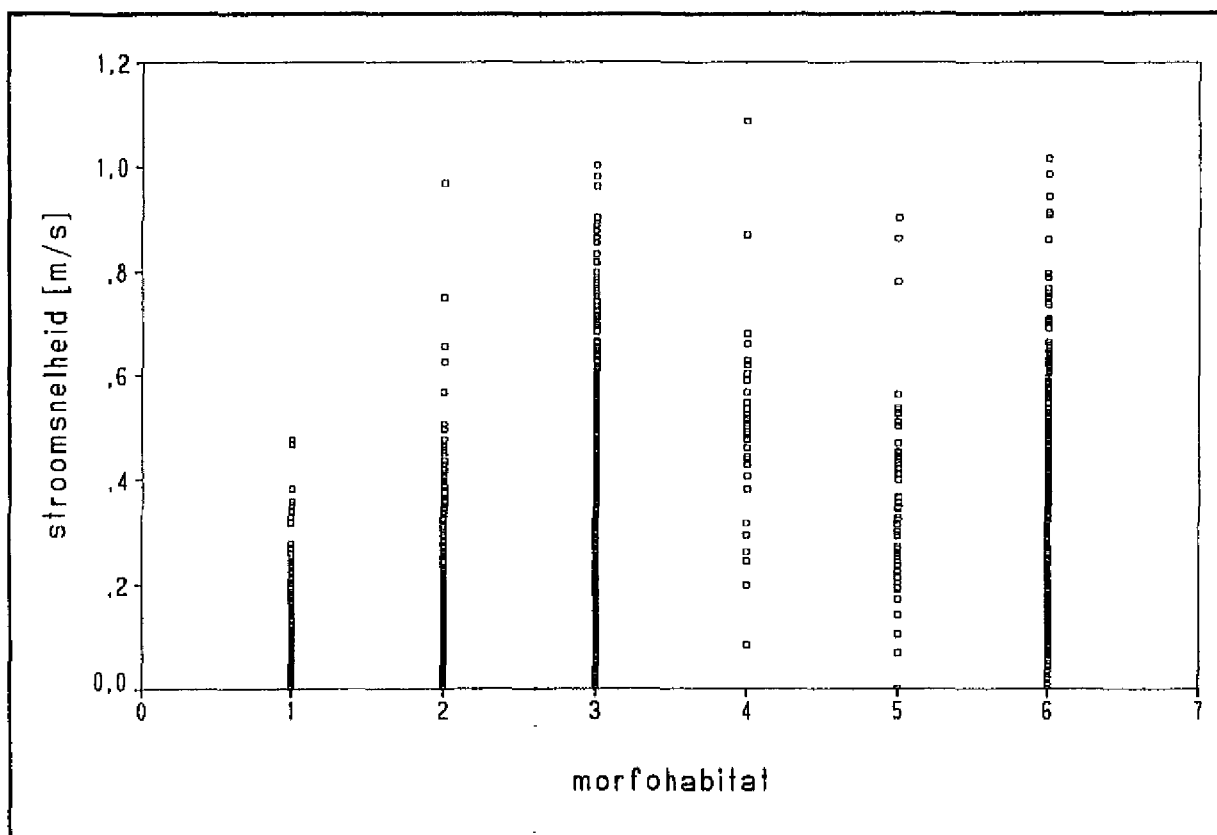
Figuur 11 Mediane korrelgrootte van de verschillende eenheden van de vereenvoudigde morfohabitatindeling in het gebied Westerschelde-Oost.



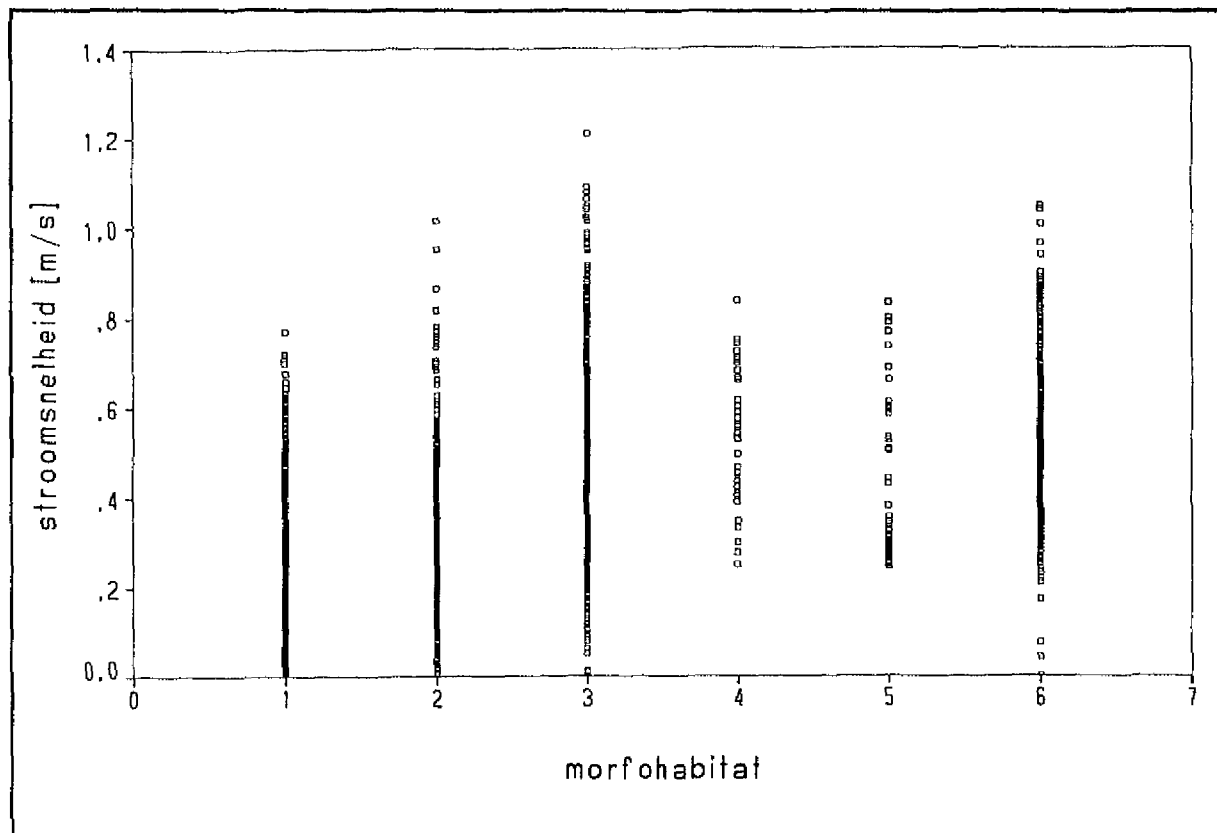
Figuur 12 Kalkgehalte van de verschillende eenheden van de vereenvoudigde morfohabitatindeling in het gebied Westerschelde-Oost.



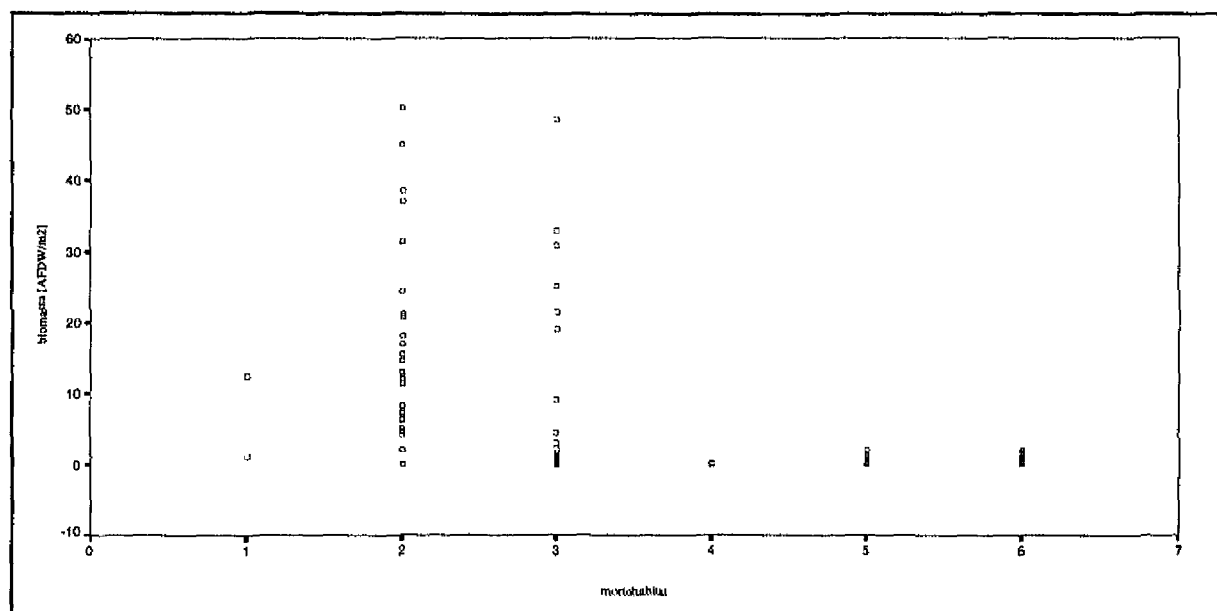
Figuur 13 Humusgehalte van de verschillende eenheden van de vereenvoudigde morfohabitatindeling in het gebied Westerschelde-Oost.



Figuur 14 Maximale stroomsnelheid bij eb voor de verschillende eenheden van de vereenvoudigde morfohabitatindeling in het gebied Westerschelde-Oost.



Figuur 15 Maximale stroomsnelheid bij vloed voor de verschillende eenheden van de vereenvoudigde morfohabitatindeling in het gebied Westerschelde-Oost.



Figuur 16 Biomassa van het macrobenthos voor de verschillende eenheden van de vereenvoudigde morfohabitatindeling in het gebied Westerschelde-Oost.

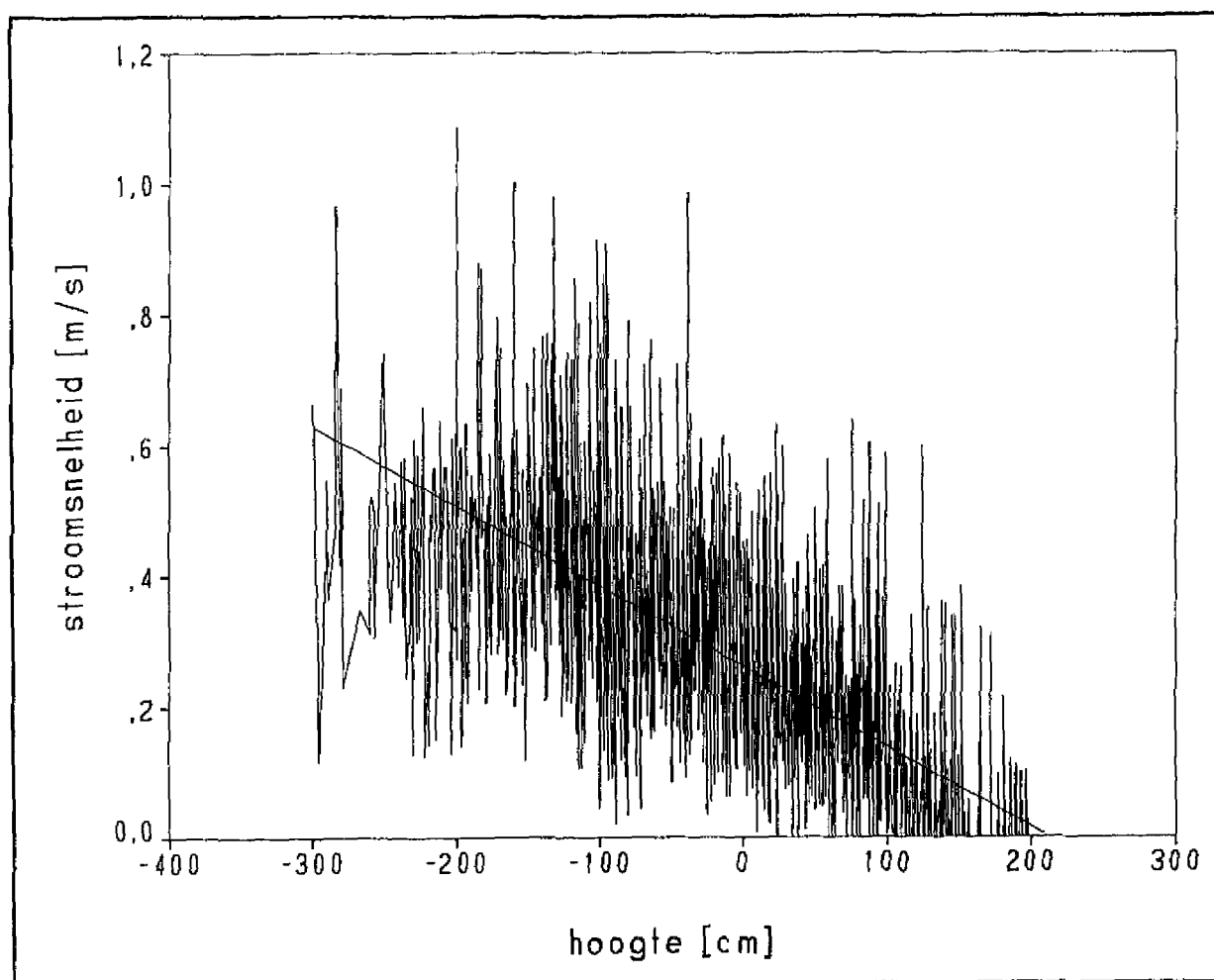
massa's tot zo'n vijf gram asvrij drooggewicht per vierkante meter (gAFDW/m²). Opvallend is evenwel dat ook in de laagdynamische morfohabitats soms zeer lage biomassa's voorkomen. Deze resultaten zijn in overeenstemming met Coosen en Stikvoort (in prep.) die ook een sterke relatie vonden tussen bodemdiervoorkomen en morfohabitats (zie ook hoofdstuk 2).

De relatie tussen soortenrijkdom en morfohabitats is minder duidelijk. De laagdynamische habitats vertonen wel iets hogere soorten aantallen.

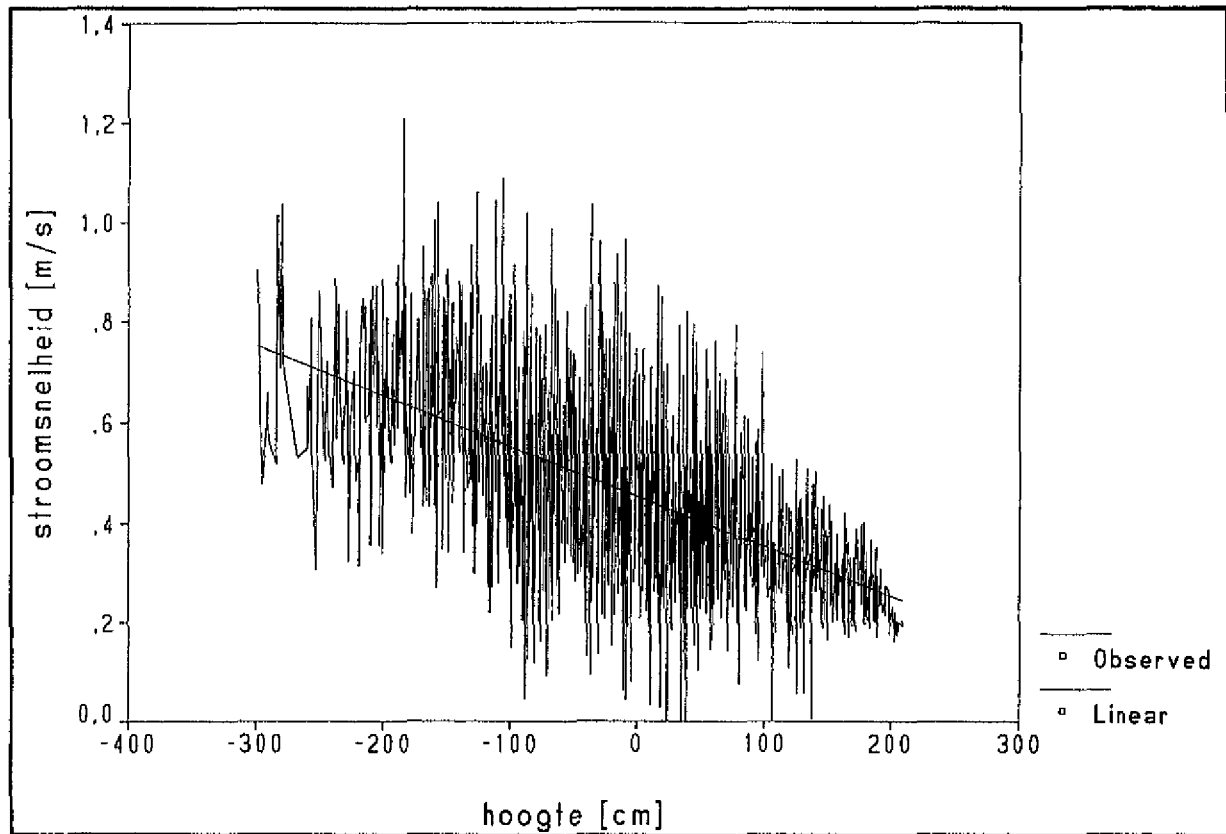
Overige verbanden

Maximale stroomsnelheid bij eb en bij vloed

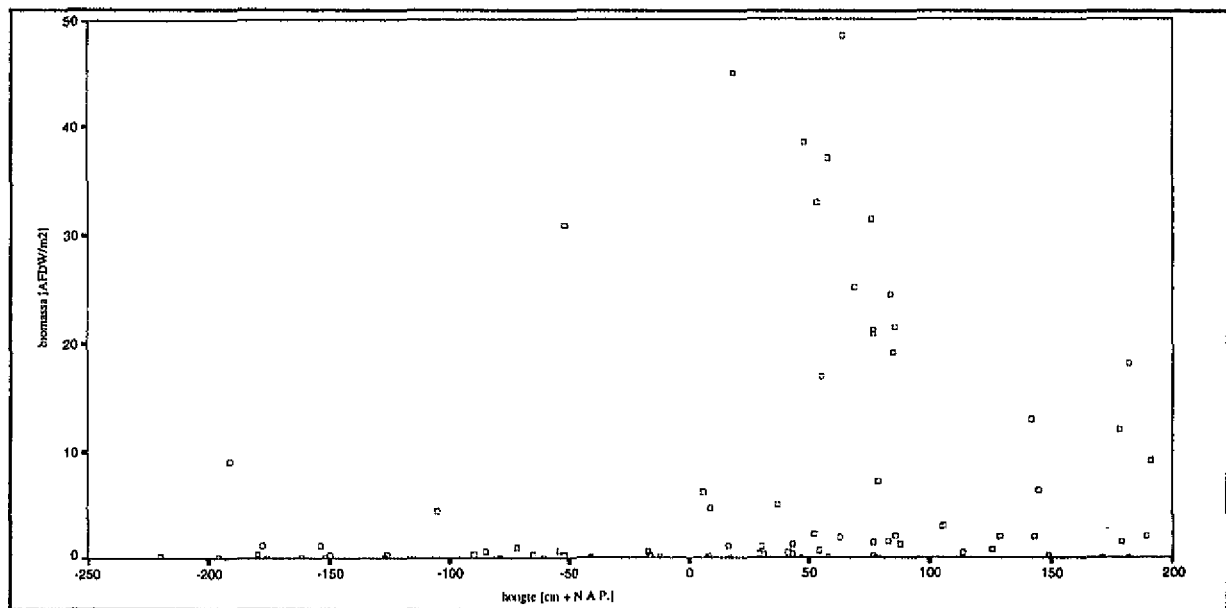
Uit figuur 17 en 18 blijkt dat er een relatief goed verband bestaat tussen de hoogte en de maximale stroomsnelheid bij eb en vloed. Maximale eb en maximale vloednelheid zijn onderling goed gecorreleerd. De correlatiecoëfficiënt is 0.788.



Figuur 17 Maximale stroomsnelheid bij eb in relatie tot de hoogte van het intergetijdegebied in het gebied Westerschelde-Oost.



Figuur 18 Maximale stroomsnelheid bij vloed in relatie tot de hoogte van het intergetijdegebied in het gebied Westerschelde-Oost.



Figuur 19 Biomassa van het macrobenthos in relatie tot de hoogte van het intergetijdegebied in het gebied Westerschelde-Oost.

Verbanden met de biotische component in het substraat

Hoogte (en daarmee o.a. overspoelingsduur) en slibgehalte zijn veel gebruikte parameters om de ruimtelijke spreiding van het benthos te verklaren. Uit figuur 19 - 22 blijkt het verband tussen slibgehalte en biomassa en soorten aantallen nauwelijks waarneembaar. Dit kan wellicht verklaard worden door het geringe aantal stations met hoge slibgehaltenes. Er is in deze dataset geen duidelijk verband tussen soortenrijkdom en hoogte (figuur 20). Er is wel een duidelijk verband aanwezig tussen biomassa en hoogte (figuur 19). De grootste biomassa's komen voor in de hoogtezone 0,5 - 1 m boven N.A.P.

Discussie en conclusie

Uit bovenstaande analyses en de bijbehorende figuren blijkt dat de meeste gevonden verbanden relatief zwak zijn. Wellicht hadden meer geavanceerde statistische bewerkingen nog extra inzicht opgeleverd. Coosen en Stikvoort (in prep.) analyseren een deel van de dataset die betrekking heeft op de biota zeer uitgebreid. Ook zij komen niet tot sterkere verbanden. Op basis van de grote spreiding die in de "scatterplots" zichtbaar is lijkt het echter aannemelijk dat met behulp van deze dataset geen sterke verbanden gevonden -zoals genoemd in de inleiding- gevonden kunnen worden. Dit kan veroorzaakt worden doordat de kwaliteit van de gebruikte dataset hiervoor niet voldoende is. Het lijkt echter ook aannemelijk (vooral ook op basis van veldervaring van diverse RIKZ-medewerkers en de resultaten gepresenteerd in paragraaf 3.3) dat de verschillende morfohabitats heterogeen van aard zijn wat betreft fysische factoren en de biotische component (zie ook Coosen en Stikvoort in prep.).

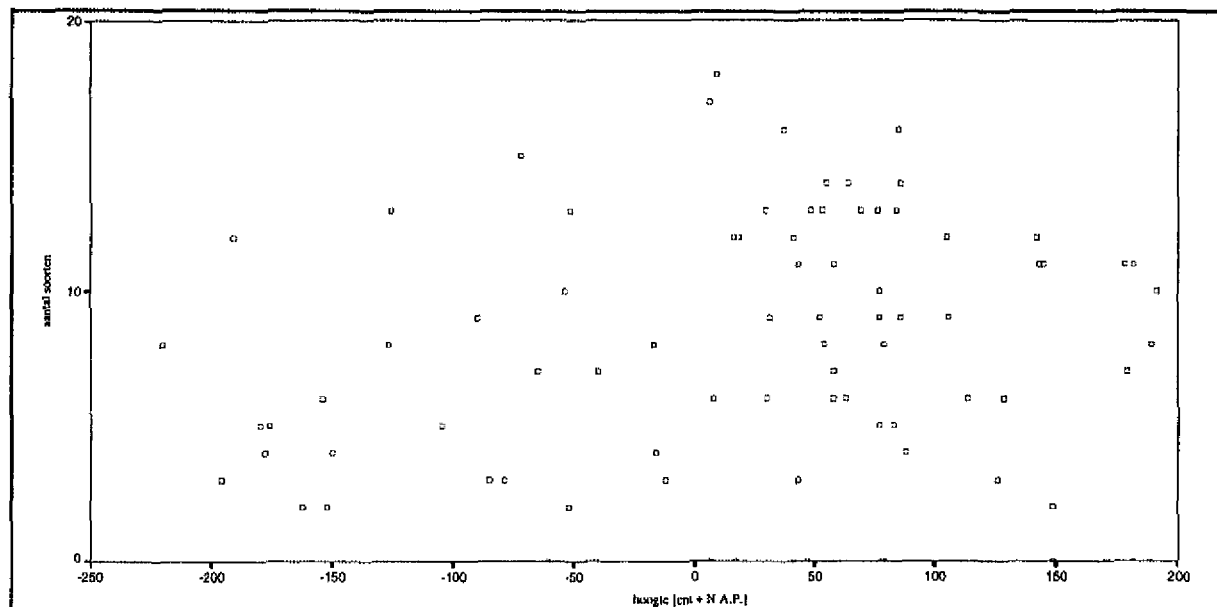
3.3 Analyse erosie en sedimentatieplots; literatuurgegevens

3.3.1 Inleiding

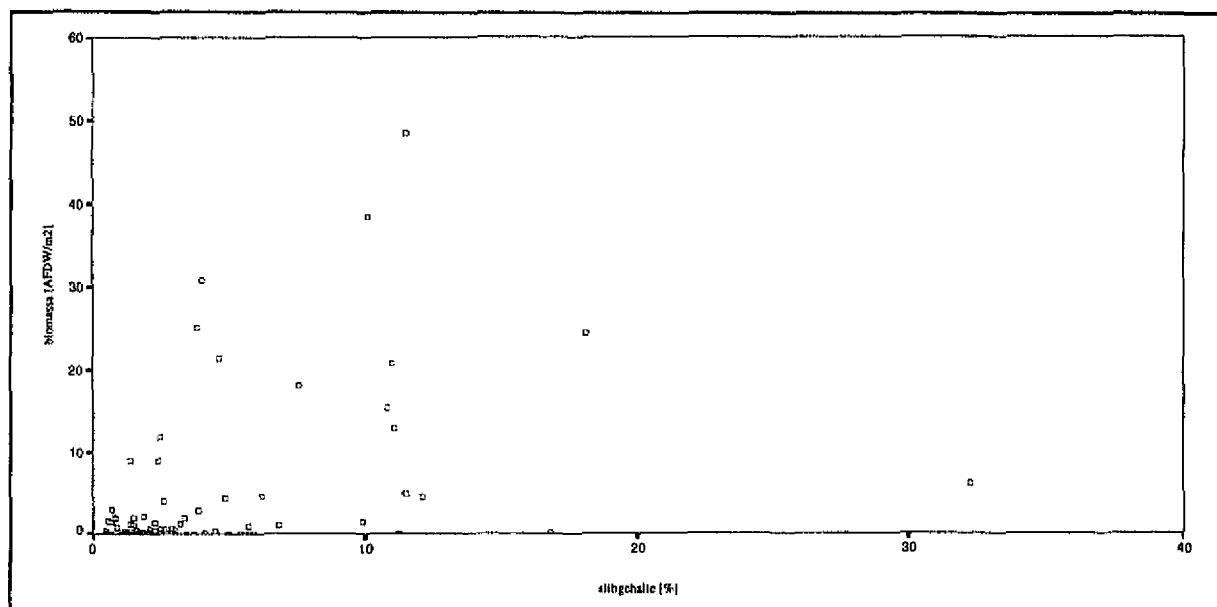
In deze paragraaf wordt uiteengezet hoe op basis van periodieke bodemhoogte metingen de substraatdynamische parameters bepaald kunnen worden. De methode is als test op een bestaande set metingen in het oostelijk deel van de Westerschelde uitgevoerd. De resultaten zijn vervolgens vergeleken met de morfohabitat-benadering van Huijs (1995) en de sturende factoren golfwerking en stroming.

3.3.2 Werkwijze

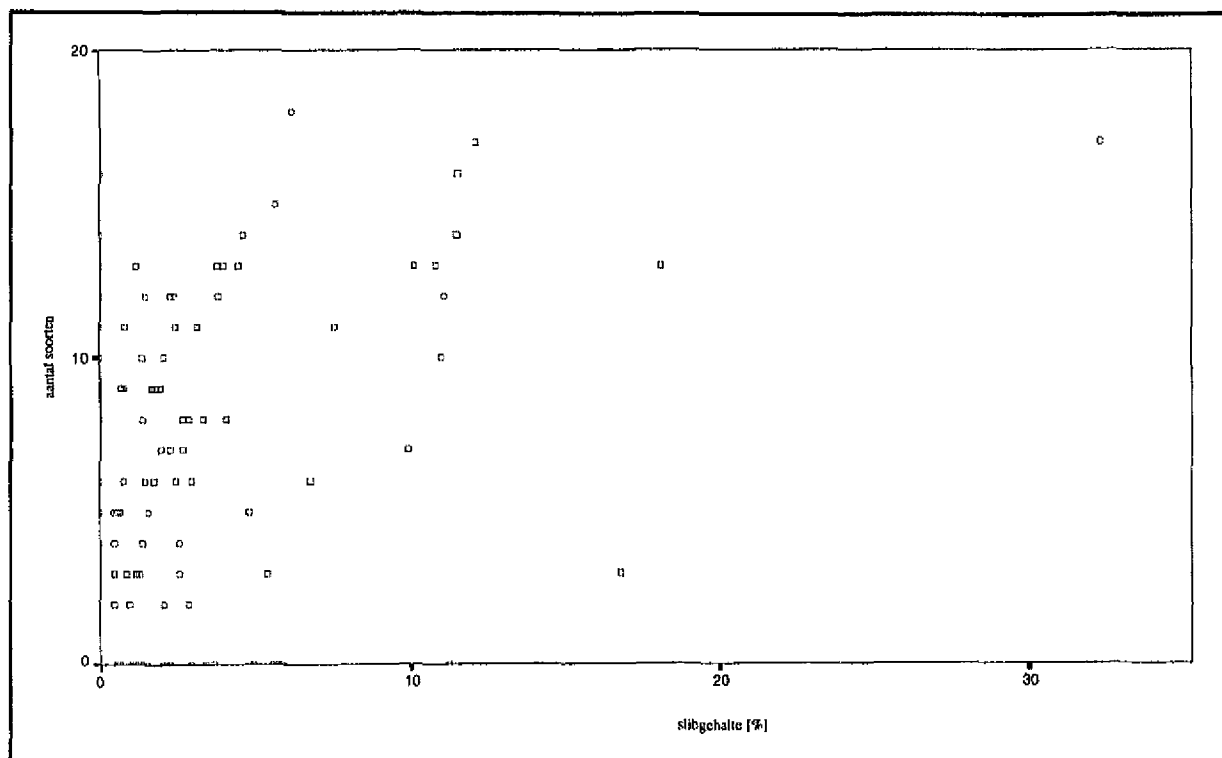
Om de ontwikkeling van de platen in de Westerschelde gedetailleerd te kunnen volgen zijn in 1989 raaien met erosie en sedimentatieplots aangelegd op een aantal platen en slikken. De raaien liggen ongeveer haaks op de plaat- en slikranden. (Ruitenbeek 1995) Bij iedere plot wordt elke maand, ongeveer op hetzelfde moment in de springtij-doodtij cyclus de



Figuur 20 Soortenrijkdom van het macrobenthos in relatie tot de hoogte van het intergetijdegebied in het gebied Westerschelde-Oost.



Figuur 21 Biomassa van het macrobenthos in relatie tot het slibgehalte van het intergetijdegebied in het gebied Westerschelde-Oost.



Figuur 22 Soortenrijkdom van het macrobenthos in relatie tot het slibgehalte van het intergetijdegebied in het gebied Westerschelde-Oost.

bodemhoogte gemeten. In de beginperiode werd soms ook wel iedere veertien dagen gemeten.

De ruwe data uit de opnamestaten (voorbeeld figuur 23) zijn verwerkt door Ruitenbeek (1995). De resultaten staan tezamen met interpretaties en analyses van onder andere weersomstandigheden in Ruitenbeek (1995). De databestanden waarop dat rapport gebaseerd is zijn ook gebruikt voor onderstaande analyse.

Een drietal raaien binnen het vooronderzoeksgebied zijn op basis van het rapport van Ruitenbeek (1995) gekozen voor nadere beschouwing (figuur 24). Voor elke plot is bepaald in wat voor morfohabitat deze gelegen was bij de meest recente morfohabitat-kartering uit 1988-90 (Huijs 1995).

Voor elke plot is een grafiek gemaakt met daarin de bodemhoogte uitgezet tegen de tijd (figuur 25). Door te kiezen voor een zo lang mogelijke bodemhoogte-as konden de bodemhoogtevariaties goed geanalyseerd worden. Dit is gedaan door de gemiddelde (cyclische) hoogteverschillen, haaks op de aanwezige trendlijn in de grafiek, te meten. Ook is de erosie en/of sedimentatiesnelheid behorend bij de aanwezige trendlijnen bepaald door meting in de grafiek. De resultaten van deze metingen zijn gebruikt voor het bepalen van een gemiddelde dikte van de dynamische laag volgens het concept uiteengezet in hoofdstuk 1 (zie ook figuur 3).

Op basis van de ruwe data is ook figuur 26 gemaakt. In deze grafieken staat voor elke tijdsperiode (vanaf ongeveer veertien dagen) de gemiddelde bodemhoogteverandering (dynamiek) weergegeven. Aan de hand van deze grafieken is voor elke plot bepaald in

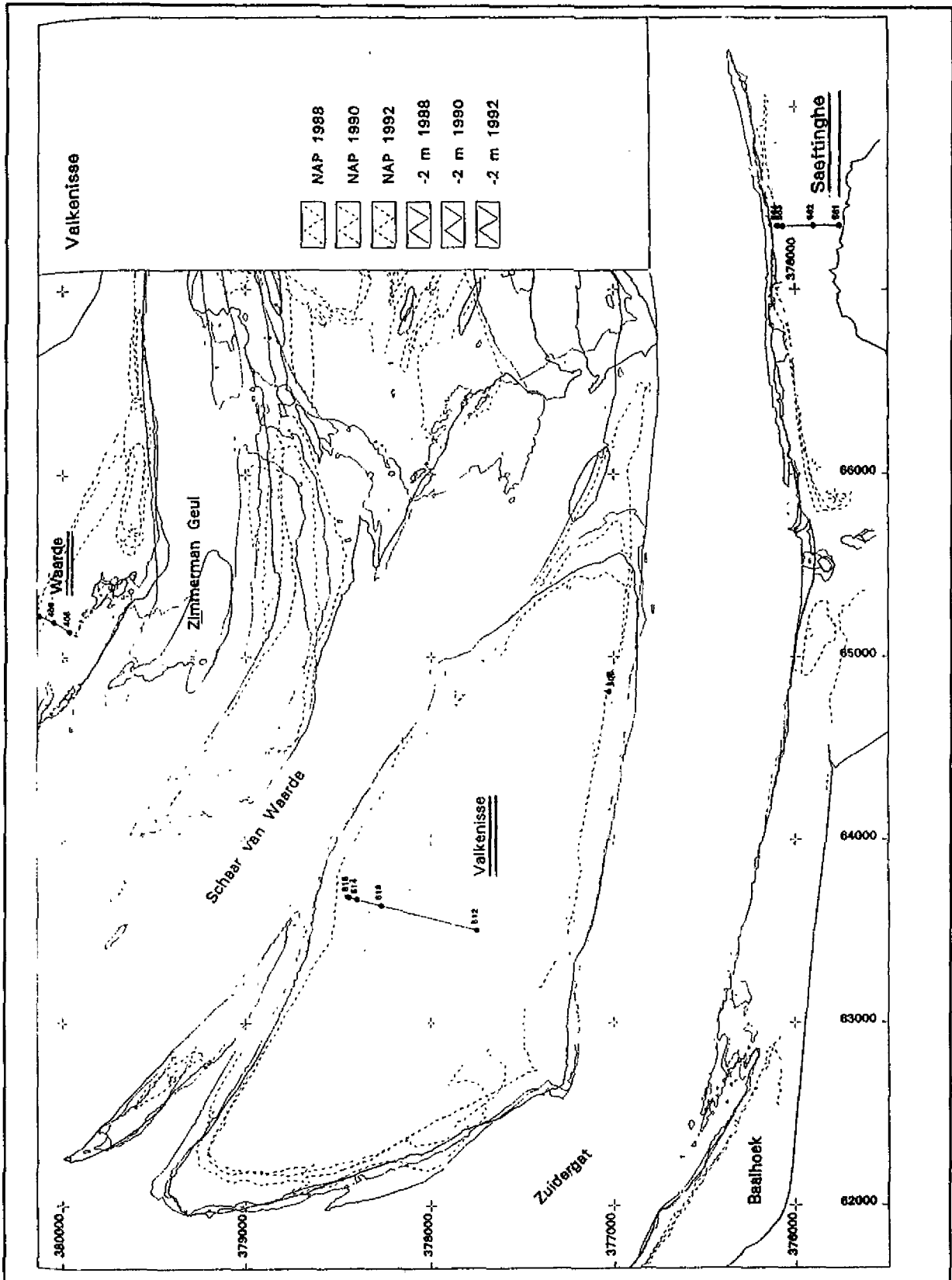
Plotmeting 22-01-1992																
LAND VAN SAEFTINGE																

plot	z	2	6	10	14	18	s1	s2	s3	Co	H	Br	Kam	Dr	Dx	Opmerkingen
585	1	215	206	212	212	205										
585	2	190	194	202	199	201	0	0	0	2	35	190	30	290	100	
585	3	206	208	205	183	195										
584	1	428	438	424	416	412										
584	2	413	415	418	412	414	0	0	0	2	30	190	50	280	100	
584	3	415	411	414	430	431										
583	1	-42	-32	-28	-28	-8										
583	2	-32	-38	-28	-33	-34	0	0	0	2	35	150	23	245	100	ONTGR. 450-550M
583	3	-18	-31	-21	-5	-16										
582	1	541	536	541	543	551										
582	2	556	554	546	549	554	0	0	0	1	6	60	200	10	2	BEVROREN
582	3	550	538	534	533	539										
581	1	188	192	195	191	195										
581	2	198	196	197	196	192	0	0	0	1	6	65	200	10	15	YS TUSSEN RIJBELS
581	3	189	192	191	191	188										
574	1	628	631	641	652	659										
574	2	688	688	691	698	702	0	0	0	0	0	0	0	0	100	HELLING
574	3	690	675	665	654	644										
571	1	69	68	70	72	73										
571	2	71	71	72	72	71	0	0	0	1	3	35	40	30	33	YSVLAKTE
571	3	70	71	69	70	72										
572	1	184	184	203	184	193										
572	2	193	196	197	198	203	0	0	0	1	8	60	40	175	100	YSVLAKTE
572	3	191	198	183	182	186										
573	1	277	253	248	249	249										
573	2	253	253	253	256	264	0	0	0	1	9	70	50	165	100	GEEN
573	3	252	252	255	250	248										
561	1	231	233	233	232	231										
561	2	223	222	222	221	224	0	0	0	1	3	40	40	175	1	KLEIIG
561	3	228	222	225	231	233										
562	1	133	134	139	134	136										
562	2	134	132	135	136	138	0	0	0	0	0	0	0	0	4	KLEIIG
562	3	136	141	139	145	138										
563	1	456	463	473	483	496										
563	2	517	514	511	508	509	0	0	0	0	0	0	0	0	5	ZANDHELLING
563	3	493	481	477	469	461										
564	1	431	442	453	464	478										
564	2	472	458	458	453	458	0	150	0	0	0	0	0	0	3	VEENBONK
564	3	489	475	471	452	440										

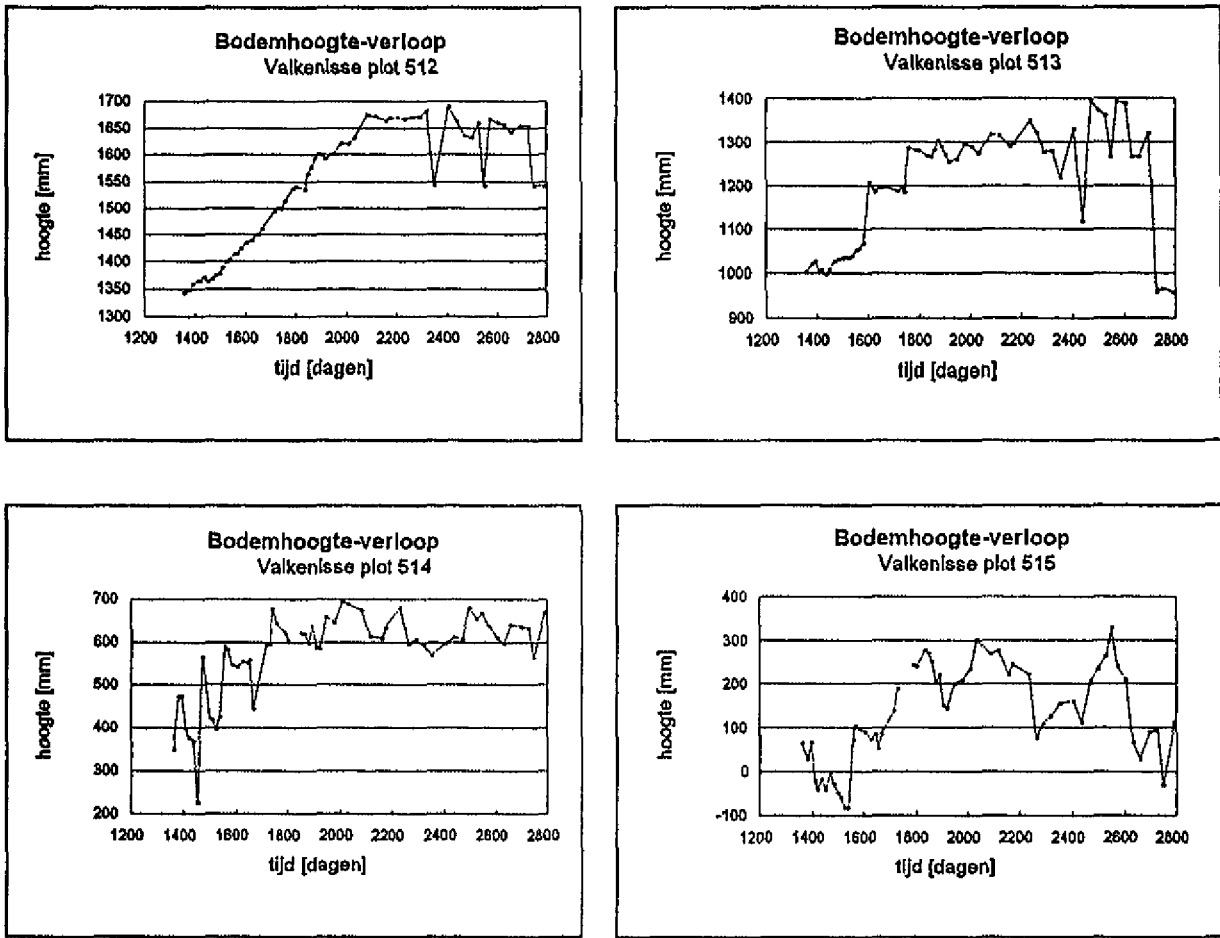
Figuur 23 Voorbeeld van een uitgewerkte veld-opnamestaat zoals wordt gebruikt bij de opnames van de erosie en sedimentatieplots.

welke tijd de bodemhoogteverandering, die overeenkomt met de dikte van de dynamische laag, gemiddeld heeft plaatsgevonden.

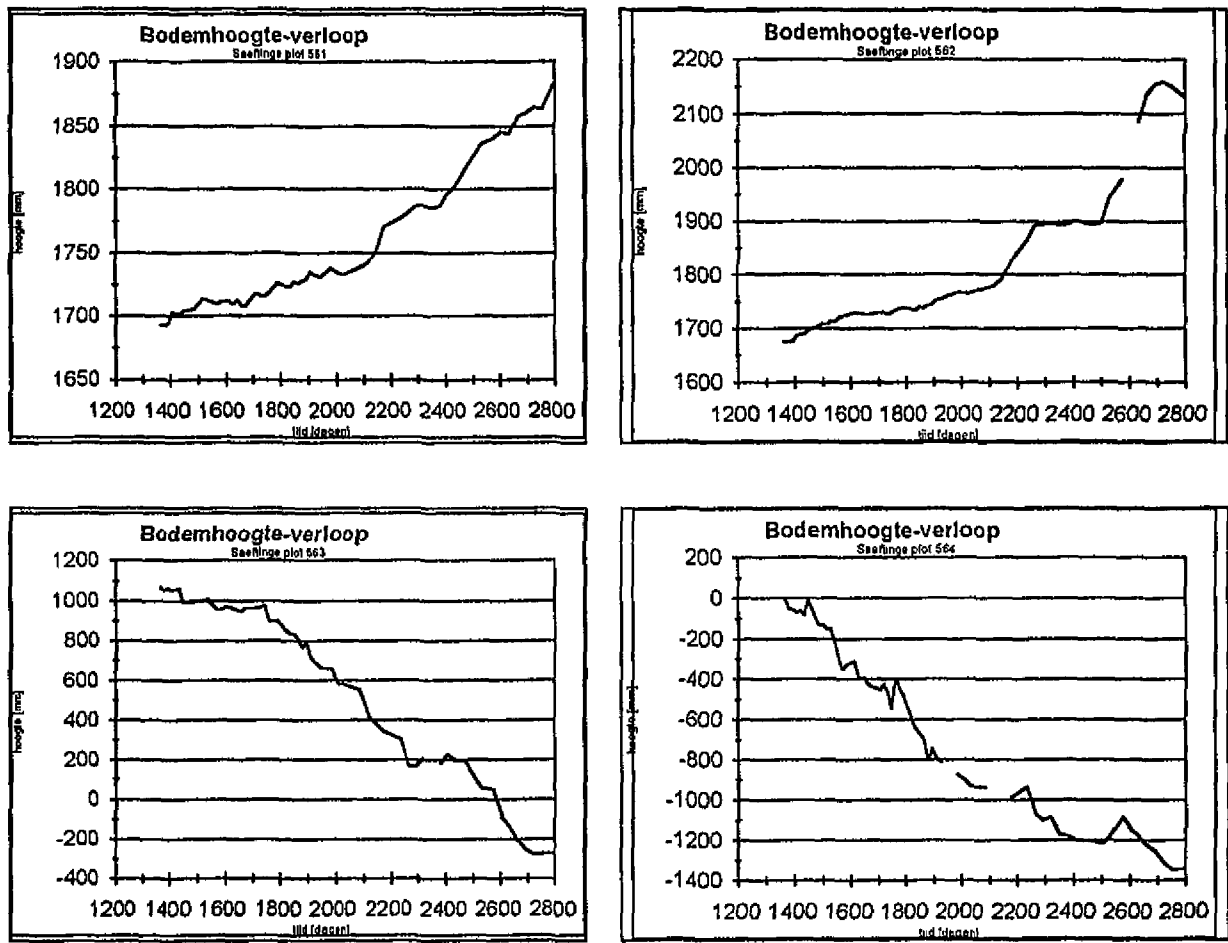
Terwindt en Brouwer (1986) doen verslag van een studie waarbij 2-D en 3-D megaribbels op de Molenplaat (midden Westerschelde) zeer gedetailleerd zijn onderzocht. Uit hun hoogtegegevens en migratiesnelheden van megaribbels zijn de dikte van dynamische lagen en omwerk tijden zoals weergegeven in tabel 2 berekend. Deze ruwe benadering is voor de gebruikte probleemstelling voldoende. De 2-D- en 3-D-megaribbelvelden zijn zo dynamisch dat slechts enkele benthosoorten zich hier kunnen handhaven (Ysebaert et al. 1991; Coosen en Stikvoort in prep.). Deze gebieden behoeven voor het voorgestelde onderzoek geen verdere interne differentiatie naar dynamiek.



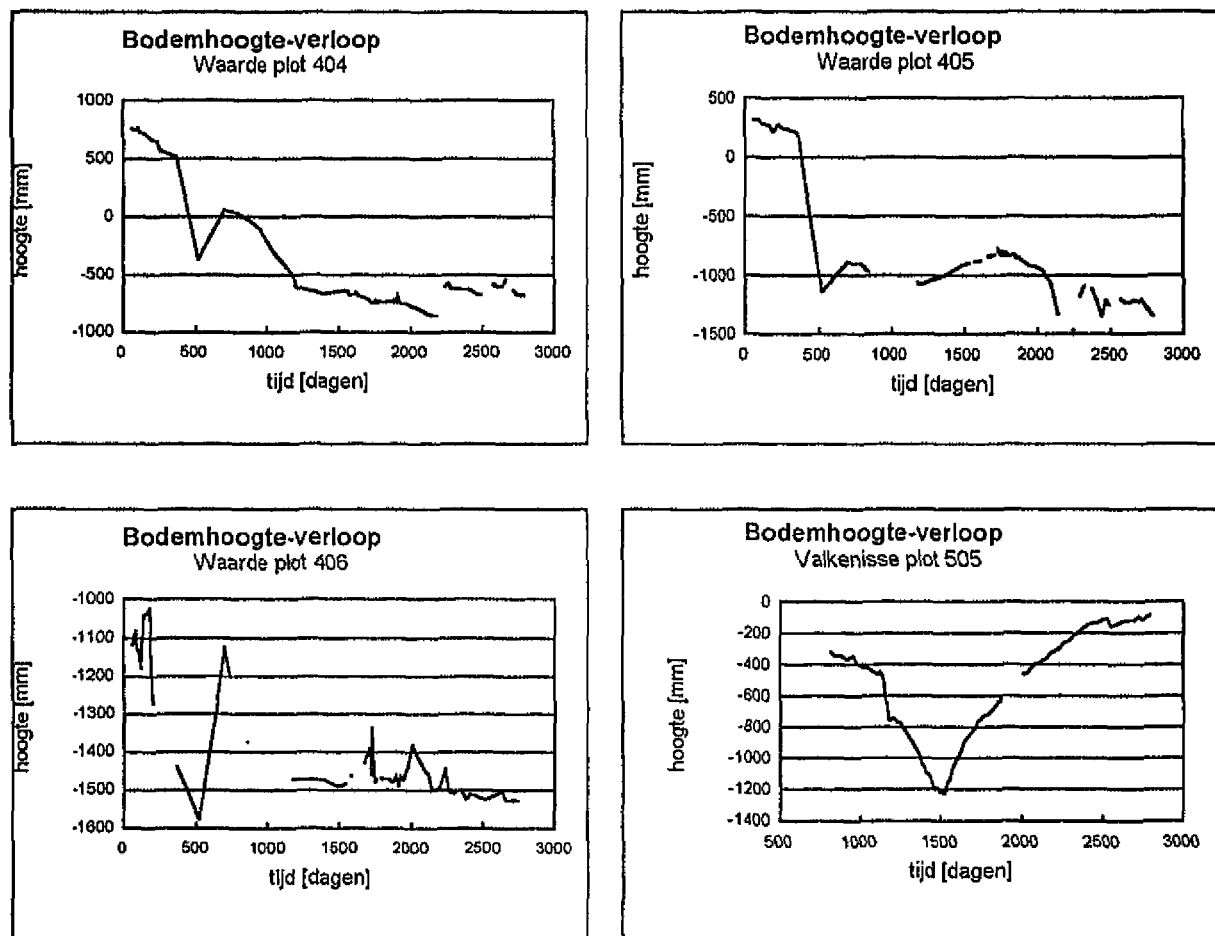
Figuur 24 De geanalyseerde raaien erosie erosie en sedimentatieplots. Naar Ruitenbeek (1995)



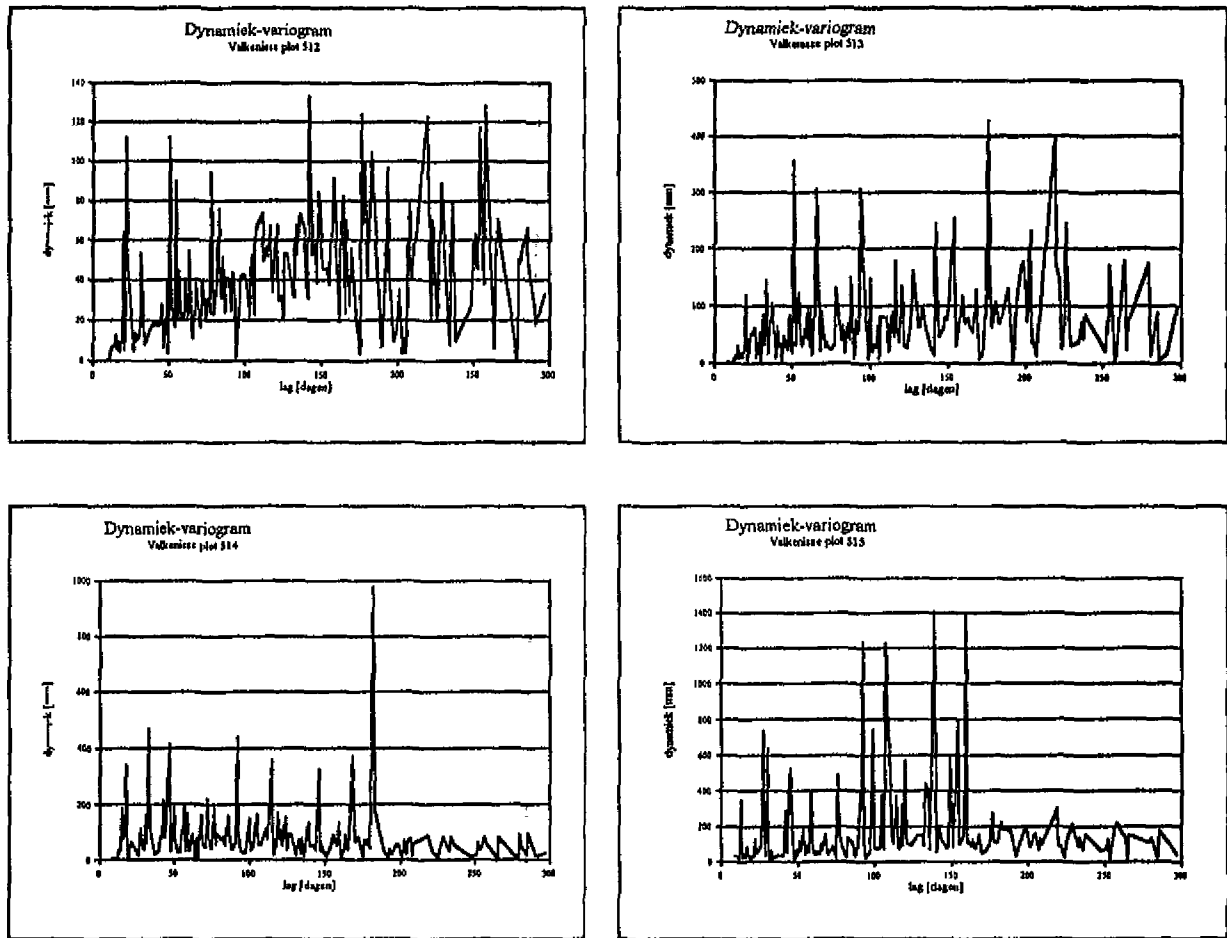
Figuur 25a Bodemhoogteverloop van de plots op de raai van Valkenisse.



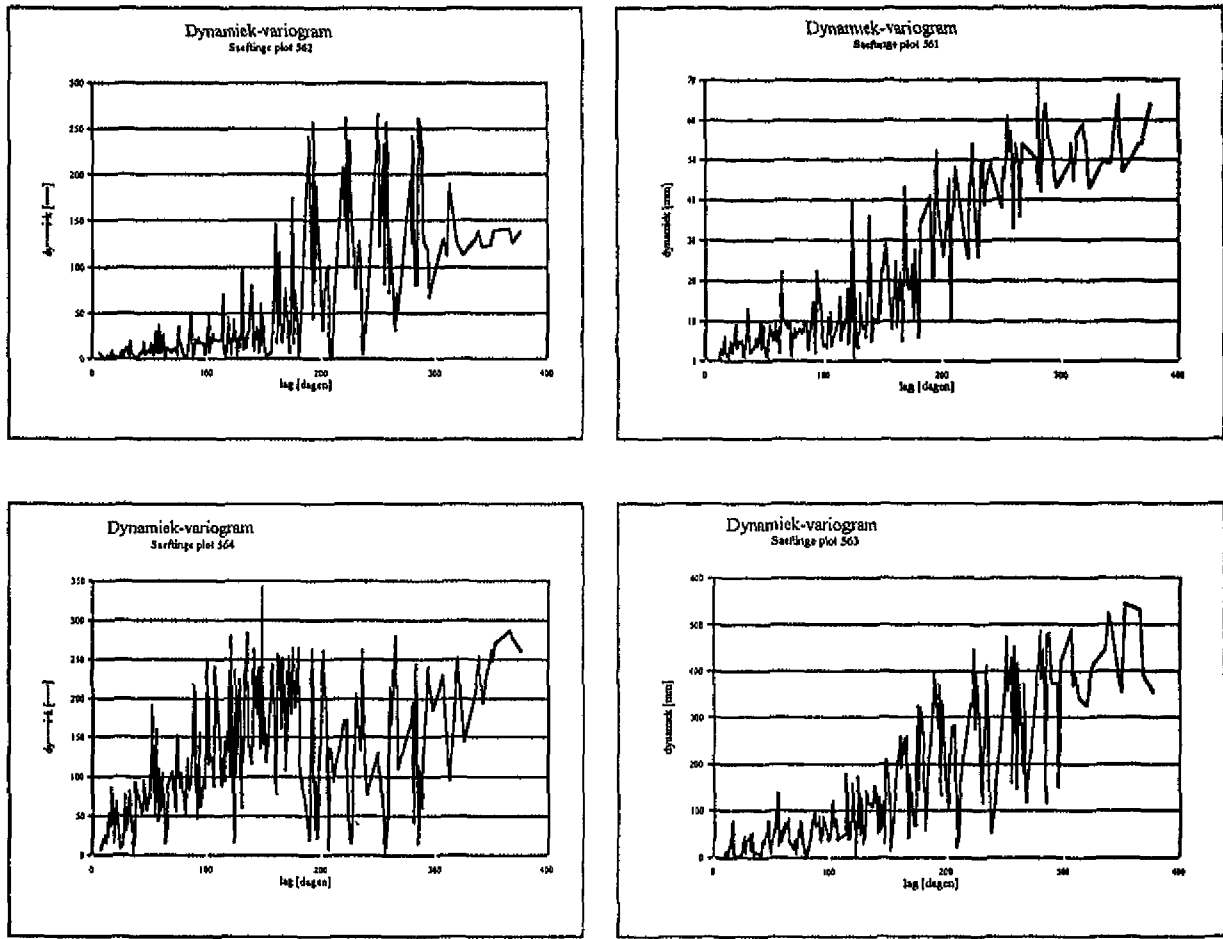
Figuur 25b Hoogteverloop in de tijd van de plots op de raai van Saeftinge.



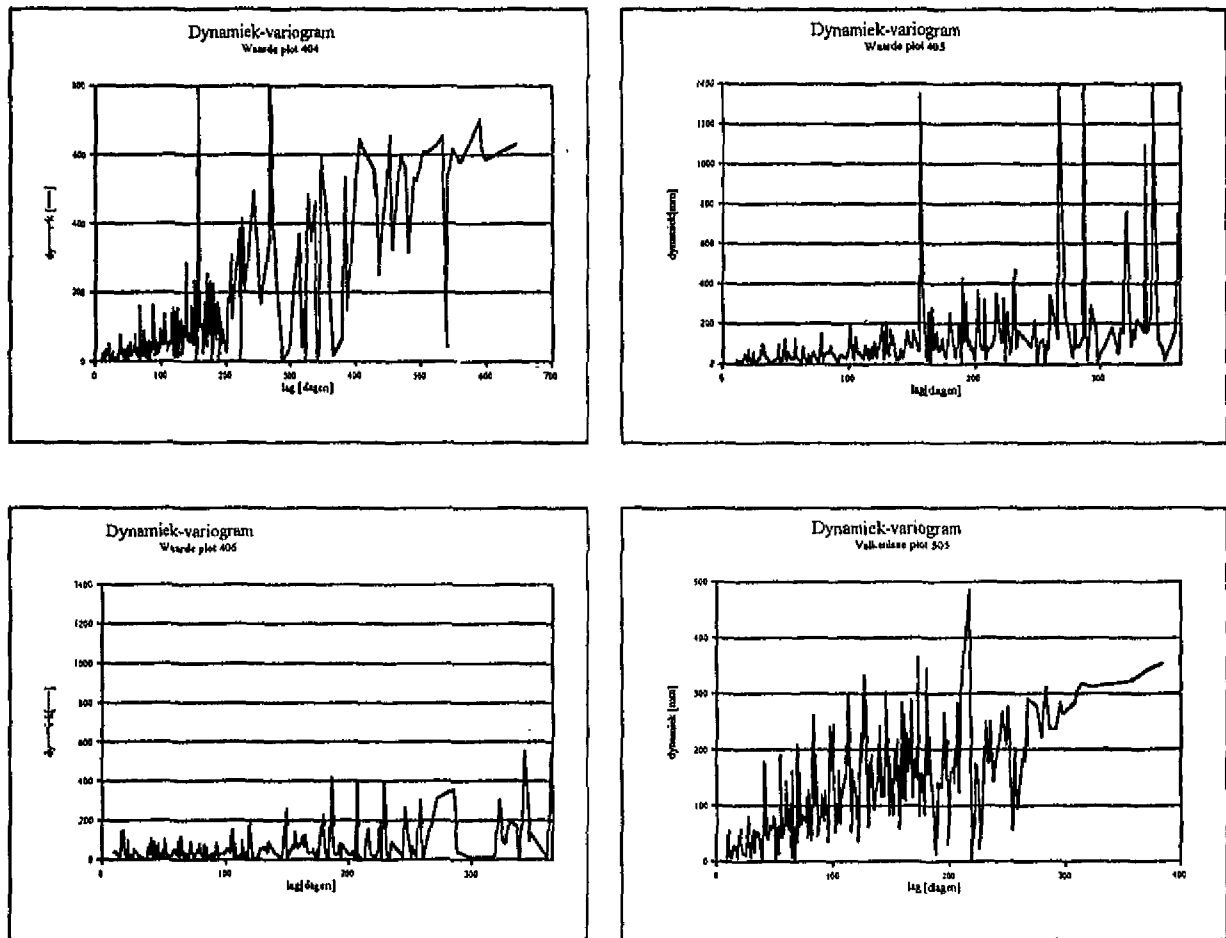
Figuur 25c Bodemhoogteverloop van de plots op de raai van Waarde en een plot op de plaat van Valkenisse.



Figuur 26a Dynamiek variogrammen van de plots van de raai van Valkenisse.



Figuur 26b Dynamiek variogrammen van de plots op de raai van Saeftinge.



Figuur 26c Dynamiek variogrammen van de plots op de raai van Waarde en een plot op de plaat van Valkenisse.

De grootte van de substraatdynamische parameters zijn voor de verschillende raaien vergeleken met de sturende factoren stroomsnelheid en golfwerking. De stroomsnelheden zijn berekend met het WAQUA-model en waren aanwezig in de GIS-dataset. Er waren geen geschikte golfgegevens aanwezig om de substraatdynamische parameters mee te vergelijken.

Daarom is een eerste ruwe benadering gemaakt met behulp van het algemene ENDEC-golf model en de bathymetrie zoals aanwezig in de GIS-dataset. Hiertoe zijn op de plaatsen van de raaien erosie en sedimentatieplots bathymetrische profielen bepaald met behulp van Arc/INFO. Deze profieldata zijn vervolgens geïmporteerd in het ENDEC-model middels een daarvoor geschreven Q-Basic programma. Vervolgens is met golfveldgegevens ($H_{sig} = 1.5m$ en $freq. 0.2 Hz$) gebaseerd op golfveldmetingen nabij Ellewoutsdijk een aantal simulaties gedraaid. Deze golfgegevens zijn vervolgens weer gecombineerd met de bathymetrische gegevens om zo tot een ruwe schatting te komen voor de belangrijke golfparameter h/H (waterdiepte/ golfhoogte) op de plaats van iedere beschouwde erosie en sedimentatieplot.

3.3.3 Resultaten

Een deel van de resultaten is samengevat in tabel 5. De resultaten in deze tabel dienen met enige voorzichtigheid geïnterpreteerd te worden. Door het tijdsverschil tussen de opname van de plots en de data waarop de morfohabitatkaart is gebaseerd zijn een aantal van deze plots geclassificeerd op een wijze die niet meer overeenkomt met de situatie in de periode waarin de hoogtemetingen werden verricht. Uit de veld-opnamestaten bleek dat plots 514 en 515 uit de raai van Valkenisse niet in megaribbelvelden lagen. Slechts incidenteel is er melding gemaakt van megaribbels. Waarschijnlijk lagen de plots wel dicht in de buurt van de megaribbelvelden waar ze volgens de kartering van Huijs (1995) in lagen. Aangrenzend aan de megaribbelvelden komen op deze plaatsen zandige vlakke platen voor.

Uit tabel 5 blijkt dat voor de raaien van Valkenisse en Waarde de dikte van de dynamische laag groter en de omwerkijd kleiner wordt naarmate de plots in meer dynamische habitats liggen. De raai van Waarde vertoont een afwijkend beeld. Uit nadere beschouwing van de veld-opnamestaten bleek dat de plots in de raai van Waarde regelmatig verstoord werdendoor onder andere visserij en de aanwezigheid van stenen. De wat afwijkende resultaten kunnen waarschijnlijk hierdoor verklaard worden.

Uit tabel 5 komt ook naar voren dat voor elk type morfohabitat een vrij grote spreiding bestaat in de dikte van de dynamische laag en de omwerkijd. Dit beeld is nog eens samengevat in de eerste drie rijen van tabel 6. Hieruit blijkt dat de gemiddelden duidelijk verschillen, maar dat er ook sprake is van een overlap van de spreiding. Volgens deze resultaten kan het dus voorkomen dat een deel van een slibrijke vlakke plaat dynamischer is dan een deel van een zandige vlakke plaat. De morfohabitat benadering geeft dus wel een eerste indruk van de gemiddelde dynamiek maar is niet voldoende voor het kwantificeren van substraatdynamiek.

Plot:	mor	d	tb	d/tb	vh	Hsig	Hma
		[mm]	[dgn]		[mm/mnd]	[m]	[m]
512	4	27	75	0.36	14.9	0.06	0.15
513	6	76	50	1.52	16	0.25	0.29
514	12	110	25	4.4	9	0.49	0.62
515	12	110	25	4.4	17	0.6	0.76
561	4	16	150	0.11	3.5	0.07	0.32
562	4	27	150	0.18	11	0.58	0.34
563	6	73	125	0.58	20	0.88	0.77
564	7	116	100	1.16	-30	0.86	1.4
404	4	57	100	0.57	18	0.2	0.21
405	6	52	90	0.58	6	0.32	0.37
406	6	23	25	0.92	1.7	0.39	0.79
505	6	40	35	1.14			

mor = morfohabitat 4: slibrijk vlak
6: zandig vlak
7: plaatrand
12: megaribbels
d = dikte dynamische laag
tb = omwerktime
vh = snelheid eenduidige variatie oppervlak
Hsig = significante golfhoogte
Hma = maximale golfhoogte

Tabel 5 **Overzicht van de morfodynamische parameters en golfhoogtes zoals gesimuleerd met ENDEC voor de verschillende erosie en sedimentatieplots.**

De dikte van dynamische lagen en de bijbehorende omwerkzeiten zoals opgenomen in de laatste twee regels van tabel 6 zijn gebaseerd op de data van Terwindt en Brouwer (1986). Deze resultaten sluiten goed aan op de reeks gebaseerd op de erosie en sedimentatieplots. Tabel 6 geeft zo een oplopende reeks voor de substraatdynamische parameters.

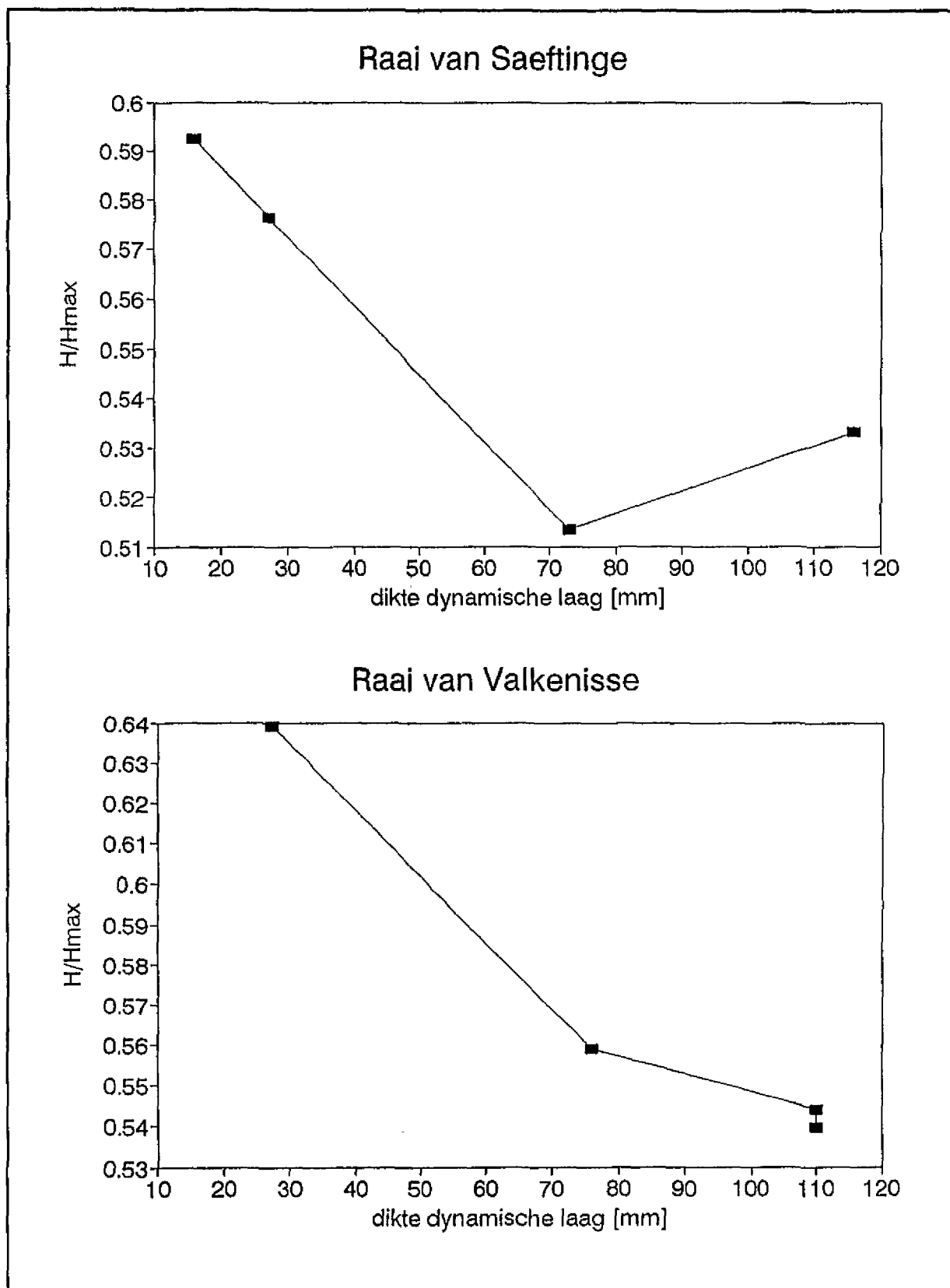
In de figuren 27 en 28 zijn de relaties tussen de substraatdynamische parameters en de sturende factoren samengevat. Hieruit blijkt dat voor iedere raai er een redelijk goed eenduidig verband bestaat tussen de dikte van de dynamische laag en de golfparameter h/H_{max} (waterdiepte/ max. golfhoogte). Het verband tussen maximale stroomsnelheid en

de substraatdynamische parameters is minder sterk. De raaien van Valkenisse en Saeftinge vertonen wel een overwegend positief verband tussen de dikte van de dynamische laag en maximale stroomsnelheid. De raai van Waarde vertoont een sterk afwijkend beeld. De mogelijke oorzaak hiervan (verstoring) is hierboven al toegelicht.

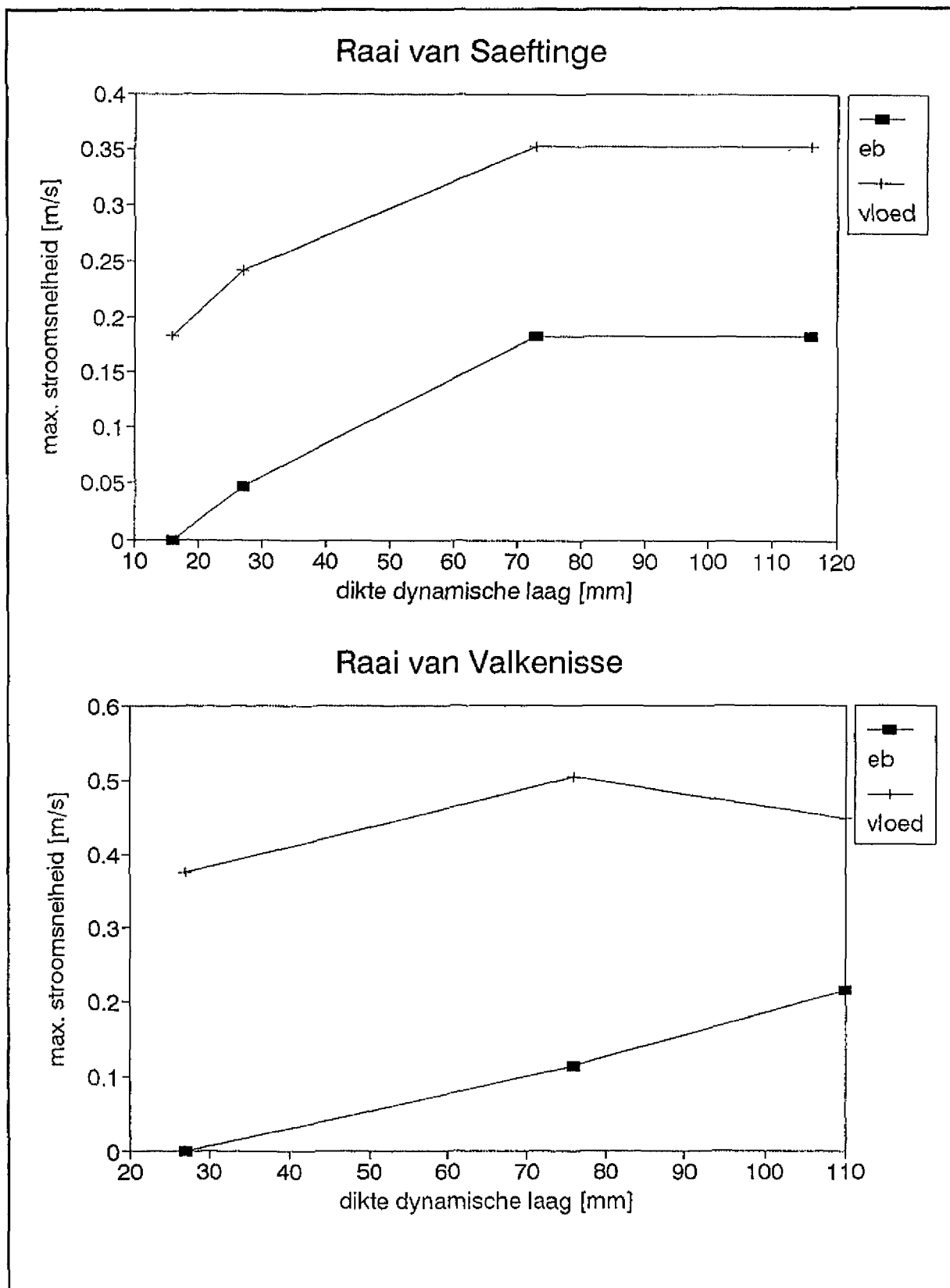
Wanneer de gegevens voor de drie raaien samengenomen worden verdwijnen de aanwezige verbanden. Dit lijkt logisch wanneer bedacht wordt dat de verschillende raaien te maken hebben met verschillende randvoorwaarden (sediment, biota, verstoring, etc). Ook staan zij bloot aan verschillende golfvelden.

Morfo-habitat	Dikte [mm]			Omwerk-tijd [dagen]		
	gem	min	max	gem	min	max
slibrijk vlak	32	16	57	119	75	150
zandig vlak	75	23	110	45	25	125
rand dynamisch	120	120	120	100	100	100
2-D megaribbel	175	100	225	30	15	60
3-D megaribbel	300	100	500	12	6	25

Tabel 6 Gemiddelde dikte en omwerk-tijd voor verschillende morfohabitats in het oostelijk deel van de Westerschelde.



Figuur 27 Substraatdynamiek in relatie tot de sturende factor golfwerking voor twee raaien erosie en sedimentatieplots in het gebied Westerschelde-Oost.



Figuur 28 Substraatdynamiek in relatie tot de sturende factor stroming voor twee raaien erosie en sedimentatieplots in het gebied Westerschelde-Oost.

4 ONDERZOEK NAAR DE RELATIE BENTHOS, SUBSTRAAT-DYNAMIEK, STURENDE FACTOREN

4.1 Het meten van substraatdynamiek

Voor een onderzoek waarin substraatdynamiek een belangrijke plaats inneemt is het van belang dat substraatdynamiek daadwerkelijk in het veld gemeten kan worden. Een uitgebreid overzicht van mogelijke (en minder mogelijke) manieren om substraatdynamiek te meten is opgenomen in bijlage 1. Hieronder is een selectie (en een toelichting daarop) weergegeven van de meetmethodes die het best bruikbaar (of noodzakelijk) lijken voor het voorgestelde onderzoek. Ook deze methodes zijn gedetailleerd beschreven in bijlage 1.

Substraatdynamiek -zoals gedefinieerd in dit onderzoek- valt uiteen in twee delen: de beweeglijkheid van de samenhangende elementen (korrels, aggregaten) waaruit het substraat is opgebouwd en de beweeglijkheid (in op- en neergaande zin) van het oppervlak van het substraat. Beide aspecten vragen een andere meetmethodiek.

De hierboven genoemde tweedeling kan verder verfijnd worden tot een indeling waarbij verschillende wijzen van bewegen van de samenhangende elementen danwel het oppervlak van het substraat worden onderscheiden. Niet al deze wijzen van bewegen hebben een even grote invloed op het benthos. Op grond van literatuur (zie hoofdstuk 2), veldervaring van deskundigen en een persoonlijke inschatting is een keuze gemaakt tussen meer en minder relevante bewegingen en de daarbij behorende meetinstrumenten. De manieren waarop de samenhangende elementen waaruit het substraat is opgebouwd kunnen bewegen zijn: bodemtransport, bioturbatie en diffusieve menging door a) variabele poriënspanningen (veroorzaakt door golfwerking); b) brekende golven en; c) luchtinsluitingen. Niet al deze processen zijn van even groot belang voor het benthos (zie hoofdstuk 2). Voor de relatief dynamische intergetijdegebieden van de Westerschelde is te verwachten dat de fysische processen relatief het belangrijkste zijn. In bepaalde, fysisch laagdynamische, situaties kan echter ook bioturbatie een rol van betekenis spelen (De Jong, pers. comm.).

De manieren waarop de oppervlaktevariëaties plaatsvinden zijn van elkaar te onderscheiden op basis van snelheid en ruimteschaal. Voor het benthos zijn vooral de kleinschalige snelle hoogtevariëaties van belang (zie ook hoofdstuk 2).

De keuze voor bepaalde meetmethodes waarmee bovengenoemde aspecten kunnen worden gemeten zal sterk afhangen van het doel van het onderzoek. Functioneel onderzoek naar de precieze wijze waarop een bepaald bodemdier in zijn gedrag beïnvloedt wordt door substraatdynamiek vergt zeer gedetailleerde metingen. Een onderzoek naar het voorkomen van bepaalde bodemdiergemeenschappen in relatie tot een aantal dynamisch verschillende milieus kan waarschijnlijk volstaan met minder gedetailleerde metingen.

In dit onderzoek kunnen de beste resultaten waarschijnlijk geboekt worden door eenvoudige handmatige metingen en indirecte metingen aan te vullen met een automatische bodemhoogtemeter en een elektronische bodembewegingsmeter. Met behulp van de handmatige methodes kan een groot aantal meetpunten gerealiseerd worden. Dit is van belang door de te verwachten grote mate van ruimtelijke variatie van de substraatdynamiek.

Met de automatische metingen kan een hoge temporele resolutie worden bereikt. Dit is van belang gezien de verwachte hoge temporele variatie van substraatdynamiek.

Voor het voorgestelde onderzoek lijken de volgende methodes het meest geschikt voor het meten van substraatdynamiek (zie bijlage 1):

- "depth of activity rods"
- dunne metalen stangetjes
- "tracer"-methode
- "kralen methode"
- "cone-penetrometer"
- meetnetmethode
- sedimentatie-erosietafels
- fotografische methode
- automatische bodemhoogtemeter
- elektronische bewegingsmeter op basis van verbuigende draden
- "bedload traps"

4.2 Onderzoeksvoorstel

4.2.1 Doelstellingen

In deze paragraaf wordt aangegeven hoe een onderzoek naar de invloed van substraatdynamiek op de ruimtelijke en temporele spreiding van het benthos ingericht kan worden. Het hier voorgestelde onderzoeksprogramma is er op gericht om een bruikbare "tool" op te leveren waarmee de effecten van morfologische veranderingen ten gevolge van beleidsmaatregelen op de ecologie van het benthos geprognosticeerd kan worden. Daarvoor is het van belang substraatdynamiek met behulp van modellen te kunnen voorspellen op basis van de sturende factoren en relevante randvoorwaarden. Verder is het van belang te onderkennen dat substraatsamenstelling ook een belangrijke invloed heeft op de ecologie van het benthos. Bovendien zijn substraatsamenstelling en substraatdynamiek deels afhankelijk van dezelfde processen maar ook deels onderling afhankelijk. Daarom dient substraatsamenstelling in het onderzoek een belangrijke plaats in te nemen.

Voor het voorgestelde onderzoek kunnen de volgende deeldoelstellingen worden geformuleerd:

1. het bepalen van het verband tussen substraatdynamiek en -samenstelling en de ruimtelijke en temporele spreiding van het macrobenthos in het intergetijdegebied van de Westerschelde.
2. het bepalen van het verband tussen substraatdynamiek en -samenstelling en de sturende factoren hydrodynamiek en bioturbatie.
3. prognostiseren van het effect van morfologische veranderingen door beleidsmaatregelen op de ecologie van het benthos.

4.2.2 Onderzoeksopzet

Gezien de grote ruimtelijke en temporele variabiliteit van zowel benthos, substraatdynamiek en sturende factoren is een zeer uitgebreide dataset met veel metingen noodzakelijk. Het onderzoek zal zich daarom in eerste instantie moeten richten op een relatief klein gebied (één slik of plaat). Vervolgens kan geprobeerd worden om de gevonden verbanden met behulp modellen en calibratiemetingen te extrapoleren tot de intergetijdegebieden van de gehele Westerschelde.

Op de gekozen plaat of slik kunnen een aantal laagdynamische gebieden (geen megaribbels) geselecteerd worden voor nader onderzoek. Deze gebieden dienen zo homogeen mogelijk te zijn ten aanzien van alle factoren behalve substraatdynamiek. Vervolgens kan in deze gebieden op een (groot) aantal locaties substraatdynamiek gemeten (en deels gemodelleerd) worden. Op dezelfde locaties dienen benthosbemonsteringen uitgevoerd te worden. Voor elk van deze gebieden kan vervolgens een verband worden gelegd tussen benthosvoorkomen en substraatdynamiek.

In elk van bovengenoemde gebieden dient een representatieve locatie gekozen te worden waar substraatdynamiek en de hydrodynamiek worden gemeten. Op basis van deze data kan het verband worden gelegd tussen (een deel van) de sturende factoren en substraatdynamiek

Vervolgens kunnen bovengenoemde verbanden worden geïntegreerd tot een samenhangend model. Dit model kan met behulp van aanvullende metingen worden geëxtrapoleerd tot een model dat bruikbaar is in alle intergetijdegebieden van de Westerschelde. Met behulp van de ontwikkelde technieken kan een vergelijkbaar model ook ontwikkeld worden in vergelijkbare watersystemen.

In bijlage 2 is een voorbeeld van een schematische onderzoeksopzet voor een meerjarig onderzoek, dat gebaseerd is op voorgaande concepten, opgenomen.

4.3 Haalbaarheid van de doelstelling

In deze paragraaf wordt een inschatting gemaakt van de haalbaarheid van de doelstellingen van het voorgestelde onderzoek. Om aan de onderzoeksdoelstellingen te kunnen voldoen zijn de volgende uitkomsten benodigd:

1. voor een aantal (punt)locaties een dusdanige dataset dat voor de belangrijkste benthossoorten in de Westerschelde een relatie gelegd kan worden tussen de grootte van de substraatdynamiek en het voorkomen van die soort.
2. voor een aantal (punt)locaties een dusdanige dataset dat de grootte van de substraatdynamiek gerelateerd kan worden aan de sturende factoren stroming, golfwerking en bioturbatie. Hierbij dienen vooral ook de randvoorwaarden met voldoende nauwkeurigheid te zijn vastgelegd.
3. voldoende goede modellen (en metingen) voor de sturende factoren en voldoende sterke relaties tussen sturende factoren en substraatdynamiek (aangevuld met oppervlakte kenmerken en randvoorwaarden), waardoor met voldoende nauwkeurigheid

(voorgeschreven door de relaties gevonden onder punt 1) een gebiedsdekkende substraatdynamiek verkregen kan worden.

ad 1) Zoals aangegeven in hoofdstuk 2 kunnen substraatdynamiek en -samenstelling een grote invloed hebben op het benthos. Uit de methodes die tijdens het vooronderzoek toegepast zijn op data van erosie en sedimentatieplots (zie hoofdstuk 3, tabel 6 en figuur 25 en 26) blijkt dat substraatdynamiek ten gevolge van bodemhoogtevariatiës goed kwantificeerbaar is op basis van periodieke hoogtemetingen. Emerson en Grant (1991) lieten zien dat substraatdynamiek door bodemtransport goed meetbaar is op een tijd- en ruimteschaal relevant voor het voorgestelde onderzoek. In de Westerschelde is dit waarschijnlijk echter minder goed mogelijk, maar met behulp van transportvergelijkingen kan een goede benadering verkregen worden (Van de Berg, pers.comm.). Ook de standaardmethoden voor het bepalen van de benthossamenstelling zijn in principe nauwkeurig genoeg om voor de belangrijkste soorten in de Westerschelde data van voldoende kwaliteit in te winnen. Hierbij zal echter wel extra aandacht gegeven moeten worden aan de ruimtelijke variabiliteit van het benthos op kleine ruimteschalen (zie ook Eckman 1979). Punt 1 lijkt bij voldoende onderzoeksinspanning dus goed haalbaar.

ad 2) Uit de literatuur blijkt dat stroomsnelheid en golfhoogte (samen met waterdiepte een goede afspiegeling van golfwerking) vrij nauwkeurig meetbaar zijn (o.a. Schoot en Van Eerd 1985; Ten Brinke et al. 1994). Ook substraatdynamiek lijkt voldoende nauwkeurig meetbaar en kwantificeerbaar (zie hoofdstuk 3). Hiermee lijkt punt 2 haalbaar.

ad 3) Indien onder punt 1 een bruikbaar verband gevonden wordt tussen substraatdynamiek en benthosvoorkomen is het van belang ook goede verbanden te vinden tussen substraatdynamiek en de sturende factoren. Met deze twee verbanden kan dan toegewerkt worden naar punt 3 waardoor een goede prognose van de effecten van inrichtings- en beheermaatregelen mogelijk wordt. In dit vooronderzoek is op een aantal manieren getracht inzicht te krijgen in het directe verband tussen substraatdynamiek en sturende factoren.

Literatuurstudie was van beperkte waarde doordat studies naar substraatdynamiek volgens bovenstaand of vergelijkbaar concept in relatie tot sturende factoren vrijwel afwezig zijn. Emerson en Grant (1991), Grant (1981) en Schoot en Van Eerd (1985) hebben enige aandacht aan dit soort relaties besteed. Hun onderzoeken zijn echter onvoldoende gedetailleerd om uitspraken te kunnen doen over het verband tussen de sturende factoren en substraatdynamiek. Steele et al. (1970) vonden met technieken vergelijkbaar met de hier voorgestelde een relatie tussen golfhoogte en dikte van de omgewoelde laag op een strand. Deze relatie was slechts gebaseerd op een klein aantal datapunten maar bevestigde de resultaten van King (1951) (Steele et al. 1970).

Tijdens het vooronderzoek is verder getracht relaties te leggen tussen de verschillende morfohabitats als indicatie voor substraatdynamiek en sturende factoren (zie bijlage B4). Het bleek hierbij mogelijk om een, weliswaar zwak, verband te vinden tussen morfohabitats en maximale stroomsnelheid bereikt bij eb en bij vloed. Door de kwaliteit van de dataset met betrekking tot stroomsnelheden was een beter verband niet waarschijnlijk. Door de afwezigheid van golfgegevens was het ook niet mogelijk de -voor substraatdynamiek- waarschijnlijk zeer belangrijke golfwerking in de analyses te betrekken.

Mede hierdoor bleek dit onderzoekje onvoldoende gedetailleerd om uitspraken te kunnen doen over de sterkte van het verband tussen substraatdynamiek en de sturende factoren.

Op basis van de data van de erosie en sedimentatieplots zijn betere resultaten geboekt (zie hoofdstuk 3). Ondanks de grove benaderingen en het geringe aantal datapunten lijkt er toch sprake te zijn van een voldoende duidelijk verband tussen de sturende factoren en substraatdynamiek (figuur 27 en 28) om hoopvol te zijn over het vinden van een goed verband tussen substraatdynamiek en de sturende factoren.

De haalbaarheid van punt 3 is dus afhankelijk van de nauwkeurigheid van modellen en metingen. In het kader van dit vooronderzoek is hiernaar geen onderzoek gedaan. Wel is het zo dat dit onderdeel niet volledig gehaald dient te worden om beleidsvragen te kunnen beantwoorden. Prognose van de richting en grootte van een verandering in de benthosgemeenschap ten gevolge van inrichtings- of beheermaatregelen is ook mogelijk indien de onder punt 1 en 2 genoemde verbanden voldoende sterk zijn. Hierbij wordt dan de voorspelling gebaseerd op de invloed die inrichtings- of beheermaatregelen hebben op de sturende factoren voor substraatdynamiek.

5 CONCLUSIES EN HYPOTHESEN

In dit onderzoek is getracht het "vage begrip" substraatdynamiek, zoals dat al enige tijd wordt gebruikt om een eigenschap van het substraat en de bijbehorende omgeving te omschrijven, te concretiseren. Dit heeft geleid tot de volgende gecombineerde definitie waarbij substraatdynamiek wordt gedefiniëerd als:

- 1: de mate van beweging van de samenhangende elementen (korrels, aggregaten) waaruit het substraat is opgebouwd en;
 - 2: de mate van beweging (in op- en neergaande zin) van het oppervlak van het substraat.
- Deze definitie is weliswaar ingewikkeld, maar lijkt toch goed bruikbaar door de mogelijkheid afzonderlijke onderdelen te beschouwen.

Verder is een concept geformuleerd op basis waarvan de verschillende aspecten van substraatdynamiek gekwantificeerd kunnen worden. Op basis van bestaande data is het concept gedeeltelijk uitgetest. De resultaten daarvan geven goede hoop op een goede praktische bruikbaarheid van het concept. Ook is een aantal meetmethodes beschreven. Hiervan lijken vooral de methodes waarmee substraatdynamiek in de vorm van bodemhoogtevariëaties gemeten kan worden goed bruikbaar lijken.

Uit de literatuurstudie, maar ook uit overleg met deskundigen blijkt dat substraatdynamiek van (groot) belang voor de ecologie van het bodemgebonden leven kan zijn. Dit is van belang omdat substraatdynamiek als morfologische parameter dan gebruikt kan worden om de effecten van morfologische veranderingen op het bodemleven door inrichting- en beheermaatregelen in estuaria te prognostiseren.

Een onderzoek naar de relatie tussen benthos, substraatdynamiek en sturende factoren op basis waarvan bovengenoemde effecten geprognostiseerd kunnen worden is geformuleerd. Uit een eerste inschatting naar de haalbaarheid van dit onderzoek lijken voldoende aanwijzingen te zijn gekomen om zo'n onderzoek te rechtvaardigen. Het genoemde onderzoek gaat daarbij uit van de volgende hypothesen:

- Substraatdynamiek heeft invloed op de ruimtelijke en temporele spreiding van het macrobenthos.
- Deze invloed is zo groot, ook in relatie met andere factoren die op een vergelijkbare tijd- en ruimteschaal spelen, dat deze bij voldoende goede metingen aantoonbaar is.
- De relevante aspecten van substraatdynamiek zijn voldoende goed te meten en te kwantificeren.
- De ruimtelijke en temporele spreiding van het benthos is voldoende goed te meten en te kwantificeren.
- Substraatdynamiek en sturende factoren hangen op zodanige wijze met elkaar samen dat substraatdynamiek voorspeld kan worden aan de hand van de sturende factoren en relevante randvoorwaarden.
- Sturende factoren en relevante randvoorwaarden kunnen voldoende nauwkeurig worden gemeten.
- Bovengenoemde relaties zijn van zodanige aard dat vergelijkbare modellen gebruikt kunnen worden in verschillende delen van de Westerschelde.

REFERENTIES

Ariathurai R. and K. Arulanandan (1984), An electrical method to measure in-situ sediment densities. In: Mehta, A.J. (ed.), *Estuarine Cohesive Sediment Dynamics*. Springer Verlag Berlin pp. 206..218.

Bijkerk, R. (1988), Ontsnappen of begraven blijven, De effecten op bodemdieren van een verhoogde sedimentatie als gevolg van baggerwerkzaamheden. RDD aquatic ecosystems, Groningen.

Bos, D (1996), Effecten van morfologische ingrepen in estuaria op fourageermogelijkheden van vogels. Probleemschets, relevante processen en onderzoeksrichting. Delta Project Management, Middelburg.

Boumans, R.M.J., J.W. Day Jr. (?), Measurement of small elevation changes in shallow coastal areas using a Sedimentation-erosion table. ?

Brenchley, G.A. (1981), Disturbance and community structure: an experimental study of bioturbation in marine soft-bottom environments. *J. Mar. Res.* 39(4): 767-790.

Cadee, G.C. (1976), Sediment reworking by *Arenicola marina* on tidal flats in the Dutch Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 10: 440-460.

Cadee, G.C. (1979), Sediment reworking by the polychaete *Heteromastus filiformis* on a tidal flat in the Dutch Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 13: 441-456.

Cadee, G.C. en J. Hegeman (1974), Primary production of the benthic microflora living on tidal flats in the dutch wadden sea. *Neth. J. Sea Res.* 8(2-3): 260-291.

Carling, P.A. (1982), Temporal and spatial variation in intertidal sedimentation rates. *Sedimentology* 29: 17-23.

Coosen, J. en E. Stikvoort (in prep.), Bodemdieren litoraal Platen van Valkenisse, slikken van Waarde, Baalhoek & Saeftinge; september 1990. Concept Werkdocument Rijksinstituut voor Kust en Zee.

Dalrymple, R.W. en R.N. Rhodes (1995), Estuarine dunes and bars. In: G.M.E. Perillo (ed.), *Geomorphology and sedimentology of estuaries. Developments in sedimentology* 53. Elsevier.

De Boer, P.L. (1979), Convolute lamination in modern sands of the estuary of the Oosterschelde, the Netherlands, formed as the result of entrapped air. *Sedimentology* 26: 283-294.

- De Boer, P.L. (1981), Mechanical effects of micro-organisms on intertidal bedform migration. *Sedimentology* 28: 129-132.
- Eckman, J.E. (1979), Small-scale patterns and processes in a soft-substratum, intertidal community. *J. Mar. Res.* 37(3): 437-457.
- Emerson, C.W. en J. Grant (1991), The control of soft-shell clam (*Mya Arenaria*) recruitment on intertidal sandflats by bedload transport. *Limnol. Oceanogr.* 36(7): 1288-1300.
- Erlingsson, U. (1991), A sensor for measuring erosion and deposition. *J. Sed. Petrol.* 61(4): 620-623.
- Erlingsson, U. (1995), Sedimeter application example: bedload transport. AB-Hydroconsult Internet homepage, <http://www.bahnhof.se/~hydroconsult/SedEx1.html>.
- Grant, J. (1981), Sediment transport and disturbance on a intertidal sandflat: Infaunal distribution and recolonization. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 6: 249-255.
- Grant, J. (1983), The relative magnitude of biological and physical sediment reworking in an intertidal community. *J. Mar. Res.* 41: 673-689.
- Huijs, S.W.E. (1995), Geomorfologische ontwikkelingen van het intergetijdegebied in de Westerschelde 1935-1989. Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht Rapport 95-3, Universteit Utrecht.
- Jumars, P.A. en A.R.M. Nowell (1984), Effects of benthos on sediment transport: difficulties with functional grouping. *Cont. Shelf Res.* 3(2): 115-130.
- Knighton (1984), Fluvial processes; characteristics of adjustment.
- Kroon, A. (1994), Sediment transport and morphodynamics of the beach and nearshore zone near Egmond, the Netherlands. Ph.D.-thesis Utrecht University.
- Levin, L.A., E.L. Leithold, T.F. Gross, C.L. Huggett, C. DiBacco (1994), Contrasting effects of substrate mobility on infaunal assemblages inhabiting two high-energy settings on Fieberling Guyot. *J. Mar. Res.* 52(3): 489-522.
- Myers, A.C. (1977), Sediment processing in a marine subtidal sandy bottom community. I physical aspects. *J. Mar. Res.* 35: 609-632.
- Myers, A.C. (1977), Sediment processing in a marine subtidal sandy bottom community: II. Biological consequences. *J. Mar. Res.* 35(3): 633-647.

- Nowell, A.R.M., P.A. Jumars, R.F.L. Self, J.B. Southard (1989), The effect of sediment transport and deposition on infauna: Results obtained in a specially designed flume. In: Lopez, G., G. Taghon, J. Levington (eds.) (1989), Ecology of marine depositfeeders. Lecture notes on Coastal and Estuarine Studies. Springer, Berlin.
- Onneweer, Y (1992), Bodemtransportberekening, toepassing van twee bodemtransportformules en bepaling van het bodemtransport uit de ribbelmigratie voor de intergetijdeplaat Valkenisse-Noord, Westerschelde. Westruw stageverslag, Universiteit Utrecht.
- Orth, R.J. (1977), The importance of sediment stability in seagrass communities. In: Coul, B.C. (ed.), Ecology of Marine Benthos. University of South Carolina press.
- Otter, L.C. en H. van der Vloet (1996), Handboek richtlijnen GIS-applicaties. Rijkswaterstaat.
- Reineck, H., J. Dörjes, S. Gadow, G. Hertweck (1968), Sedimentologie, Faunenzonierung und Faziesabfolge vor der Ostküste der inneren Deutschen Bucht. Senckenbergiana biologica 49(3/4): 265-272.
- Reise, K. (1983), Biotic enrichment of intertidal sediments by experimental aggregates of the deposit feeding bivalve *Macoma balthica*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 12: 229-236
- Schoellhamer, D.H. (1995), Sediment resuspension mechanisms in Old Tampa Bay, Florida. Estuarine, Coastal and Shelf Science 40: 603-620.
- Schoot P.M. en J.E.A. de Jong (1982), Sedimentatie en erosiemetingen met behulp van de Sedi-eros. Tafel (SET). Rijkswaterstaat Notitie DDMI-82.401, Deltadienst Middelburg.
- Schoot, P.M. en M.M. van Eerdt (1985), Toekomstige ontwikkeling van de schorgebieden in de Oosterschelde -procesonderzoek schorsystemen-. Deltadienst RWS nota DDMI-85.23, Middelburg.
- Steele, J.H., A.L. Monro, G.S. Giese (1970), Environmental factors controlling the epipsammic flora on beach and sublittoral sands. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 50: 907-918.
- Stikvoort, E.C. (1995), Evaluatie schorverdediging Zuidgors: effecten op bodemdieren. Concept Werkdocument RIKZ/AB-95.???x. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.
- Storm, C. (1995), Opzet onderzoek Substraat Dynamiek en Samenstelling. Rapport RIKZ/OS-95.819X. RIKZ, Middelburg.
- Suhayda, J.N. (1984), Interaction between surface waves and muddy bottom sediments. In: Mehta, A.J. (ed.), Cohesive sediment dynamics. Springer, Berlin.

- Sun, M.Y., R.C. Aller, C. Lee (1994), Spatial and temporal distributions of sedimentary chloropigments as indicators of benthic processes in Long Island Sound. *J. Mar. Res.* 52: 149-176.
- Ten Brinke, W., H. Ridderinkhof, B. de Winder, T. Tiemissen (1994), Research program on tidal flats in the Wadden Sea. Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht Rapport 94-11, Universiteit Utrecht.
- Van Alphen, J. (1982), De te verwachten veranderingen in het morfodynamisch gedrag van de oosterschelde na het gereedkomen van de stormvloedkering. Een literatuurstudie naar het morfodynamisch gedrag van estuaria. Geomor nota 83.01. Rijkswaterstaat.
- Van Rijn, L.C. (1993), Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas. Aqua Publications, Amsterdam.
- Van der Meer, J. (1991), Exploring macro benthos environment relationship by Canonical Correlation Analysis. *J. Exp. Mar. Biol.* 148: 105-120.
- Wilson Jr., W.H. (1981), Sediment-mediated interactions in a densely populated infaunal assemblage: the effects of the polychaete *Abarenicola pacifica*. *J. Mar. Res.* 39(4): 735-748.
- Wilson, K.C., J.S. Andersen, J.K. Shaw (1995), Effects of wave asymmetry on sheet flow. *Coastal Engineering* 25: 199-204.
- Wynberg, P. en G.M. Branch (1994), Disturbance associated with bait-collection for sandprawns (*Callinassa kraussi*) and mudprawns (*Upogebia africana*): Long term effects on the biota of intertidal sandflats. *J. Mar. Res.* 52: 523-558.
- Ysebaert, T., N. DeRegge, D. Maes, P. Meire (1991), Populatiodynamiek van macrozoöbenthos op sedimentatie/erosieplots in het oostelijk deel van de Westerschelde. Rapport W.W.E. 26.

NIET GECITEERDE REFERENTIES

Anderson, F.E. (1983), The northern muddy intertidal: Seasonal factors controlling erosion and deposition- A review. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40(suppl. 1): 143-159.

Anderson, F.E. en L. Black (1981), A temporal and spatial study of mudflat erosion and deposition. *J. Sed. Petrol.* 51(3): 729-736.

Beukema, J.J. (1989), Long-term changes in macrozoobenthic abundance on the tidal flats of the western part of the Dutch Wadden Sea. *Helgoländer Meeresunters.* 43: 405-415.

Beukema, J.J. en E.C. Flach (1995), Factors controlling the upper and lower limits of the intertidal distribution of two *Corophium* species in the Wadden Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 125: 117-126.

Bloks, P. en H.J. Buist (1984), Geomorfologische processen Oosterschelde -een pilot study-. RWS Nota DDMI-84.06.

Bos, D. (1994), Effects of decreasing food availability on wintering Oystercatchers *Haematopus ostralegus*: literature review and model study. RWS Rapport RIKZ-94.014.

Brosschot, M. (1987), Het ruimtelijk patroon van kokkels (*Ceratoderma edule*). Stageverslag Hogeschool Midden Nederland, vakgroep Biologie/ RWS, Dienst Getijdewateren.

Chivers, R.C., N. Emerson, D.R. Burns (1990), New acoustic processing for underway surveying. *Hydrograph. J.* 65: 9-17.

Coull, B.C. (ed.) (1977), Ecology of marine benthos. University of South Carolina Press, South Carolina.

Dyer, K.R. (1989), Sediment processes in estuaries: future research requirements. *J. Geoph. Res.* 94(C10): 14327-14339.

Frostick, L.E. en I.N. McCave (1979), Seasonal shifts of sediment within an estuary mediated by algal growth. *Est. Coast. Mar. Sc.* 9: 569-576.

Grant, J. en G. Daborn (1994), The effects of bioturbation on sediment transport on an intertidal mudflat. *N. J. Sea Res.* 32(1): 63-72.

Grant, W.D., L.F. Boyer en L.P. Sanford (1982), The effects of bioturbation on the initiation of motion of intertidal sands. *J. Mar. Res.* 40(3): 659-677.

- Green, T. en D. Houk (1980), The resuspension of underwater sediment by rain. *Sedimentology* 27: 607-610.
- Herman, P., M. de Vries, P. Thoolen, M. Vonk et al. (1995), BEON habitat project: MICRO-MACRO; Een onderzoek naar de relatie tussen hydrodynamische factoren en kleinschalige verspreiding van macro-benthos. Waterloopkundig Laboratorium Rapport VR1212.95
- Kohsiek, L.H.M., H.J. Buist, P. Bloks, R. Misdorp et al. (1988), Sedimentary processes on a sandy shoal in a mesotidal estuary (Oosterschelde, The Netherlands). In P.L. de Boer et al. (eds.), *Tide-influenced sedimentary environments and facies*, 201-214.
- Kuyper, M.W.M. en C. Kuyper (1994), Estuariene habitat simulatie; Mogelijkheden en gewenste ontwikkelingen. Waterloopkundig Laboratorium Rapport VR697.94/z652-10.
- McLachlan, A. en T. Erasmus (eds.) (1983), *Sandy beaches as ecosystems*. Junk, Den Haag.
- McMaster, R.L. (1967), Compactness variability of estuarine sediments: An in situ study. In: G.H. Lauff (ed.), *Estuaries*. Am. Ass. Advancement Sci., Washington.
- Nijkamp, H. en C. Slegtenhorst (1992), Some representative species of the Wadden Sea and their dependence on the (physical) environment. AIDEnvironment (SEA Division), Amsterdam.
- Paterson, D.M. (1989), Short-term changes in the erodibility of inetrtdal cohesive sediments related to the migratory behaviour of epipellic diatoms. *Limnol. oceanogr.* 34(1): 223-234.
- Paterson, D.M., R.M. Crawford en C. Little (1990), Subaerial exposure and changes in the stability of intertidal estuarine sediments. *Est. Coast. Shelf Sc.* 30: 541-556.
- Reise, K. (1985), *Tidal flat ecology; An experimental approach to species interactions*. Ecological Studies 51. Springer, Berlijn.
- Sanford, L.P. (1992), New sedimentation, resuspension, and burial. *Limnol. Oceanogr.* 37(6): 1164-1178.
- Smit, C.J. (1995), Food for shellfish eating birds: can prey species other than Cockle and Mussel provide sufficient alternative food for birds in meagre years?. *WSNL* 2: 5-8.
- Soetaert, K., M. Vincx, J. Wittoeck, M. Tulkens, D. Van Gansbeke (1994), Spatial patterns of Westerschelde Meiobenthos. *Est. Coast. Shelf Sc.* 39: 367-388.

Sternberg, R.W. (1989), Instrumentation for estuarine research. *J. Geoph. Res.* 94(c10): 14289-14301.

Suhayda, J.N., T. Whelan, J.M. Coleman, J.S. Booth en L.E. Garrison (1976), Marine sediment instability: Interaction of hydrodynamic forces and bottom sediments. Preprint 2426, Eighth annual Offshore Technology Conference, Houston.

Ten Brinke, W.B.M. (1993), The impact of biological factors on the deposition of fine-grained sediment in the Oosterschelde (The Netherlands). Universiteit Utrecht, Vakgroep Fysische Geografie.

Van den Berg, J.H. (1981), Rhythmic seasonal layering in a mesotidal channel fill sequence, Oosterschelde Mouth, The Netherlands. *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment.* 5: 147-159.

Van den Berg, J.H. (1987), Bedform migration and bed-load transport in some rivers and tidal environments. *Sedimentology* 34: 681-698.

Van den Berg, J.H. en A. van Gelder (1993), A new bedform stability diagram, with emphasis on the transition of ripples to plane bed in flows over fine sand and silt. *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment.* 17: 11-21.

Van den Heiligenberg, T. (1986), Effects of mechanical and manual harvesting of Lugworms *Arenicola marina* L. on the benthic fauna of tidal flats in the Dutch Wadden Sea. *Biol. Cons.* 39: 165-177.

Van Rijn, L.C. (1989), Handbook sediment transport by currents and waves. Waterloopkundig Laboratorium Rapport H 461.

Vos, P.C., P.L. de Boer, R. Misdorp (1988), Sediment stabilization by benthic diatoms in intertidal sandy shoals; Qualitative and quantitative observations. In: P.L. de Boer et al. (eds.) Tide-influenced sedimentary environments and facies.

Ysebaert, T. en P. Meire (1993), Het voorkomen van macrozoobenthos in de littorale zone van het Schelde en Eems-estuarium in relatie tot zoutgradient en sedimentkenmerken. Rapport RUG-WWE nr. 29.

Bijlage 1 HET METEN VAN SUBSTRAATDYNAMIEK

Inleiding

In deze bijlage wordt aangegeven op welke wijze substraatdynamiek gemeten kan worden. Hierbij wordt aandacht gegeven aan de instrumentatie, maar ook aan de ruimtelijke en temporele spreiding van te verrichten metingen. Een aantal van de besproken meetmethodes vallen onder meer dan één van de hieronder onderscheiden categorieën. De beschrijving van deze methodes staat in de categorie waarin de belangrijkste toepassing ligt.

Substraatdynamiek -zoals gedefinieerd in dit onderzoek- valt uiteen in twee delen: de bewegingen van de samenhangende elementen (korrels, aggregaten) waaruit het substraat is opgebouwd en de bewegingen (in op- en neergaande zin) van het oppervlak van het substraat. Beide aspecten vragen een andere meetmethodiek.

De hierboven genoemde tweedeling kan verder verfijnd worden tot een indeling waarbij verschillende wijzen van bewegen van de samenhangende elementen danwel het oppervlak van het substraat worden onderscheiden. Niet al deze wijzen van bewegen hebben een even grote invloed op het benthos. Op grond van literatuur (zie hoofdstuk 2), veldervaring van deskundigen en persoonlijke inschattingen is een keuze gemaakt tussen meer en minder relevante bewegingen. Hieronder wordt de keuze toegelicht en weerspiegeld in de uitvoerigheid waarmee de verschillende onderdelen behandeld worden.

Instrumentatie

Meting van de bewegingen van de samenhangende elementen

Er zijn een aantal manieren te onderscheiden waarop de samenhangende elementen waaruit het substraat is opgebouwd kunnen bewegen: bodemtransport, bioturbatie en diffusie door variabele poriënspanningen (veroorzaakt door golfwerking). Niet al deze processen zijn van even groot belang voor het benthos (zie hoofdstuk 2). Voor het intergetijdegebied van de Westerschelde is te verwachten dat bodemtransport van relatief het grootste belang is. In bepaalde (fysisch laagdynamische) situaties kan echter ook bioturbatie een rol van betekenis spelen (De Jong, pers. comm.). Mogelijke methodes om deze bewegingen te meten zijn hieronder weergegeven.

Bodemtransport

De grote van het bodemtransport is een maat voor substraatdynamiek. Deze maat sluit echter niet goed aan bij het concept van dikte van een dynamische laag. Variaties in dikte van een bodemtransport laag zijn echter relatief gering en wellicht van ondergeschikt belang (zie hoofdstuk 2).

Emerson en Grant (1991) gebruikten bedload-traps (figuur 29) in hun onderzoek naar de relatie tussen bodemtransport en de strandgaper (*Mya arenaria*) populatie. Bij deze methode blijft de informatie beperkt tot een gemiddeld bodemtransport over een bepaalde periode.

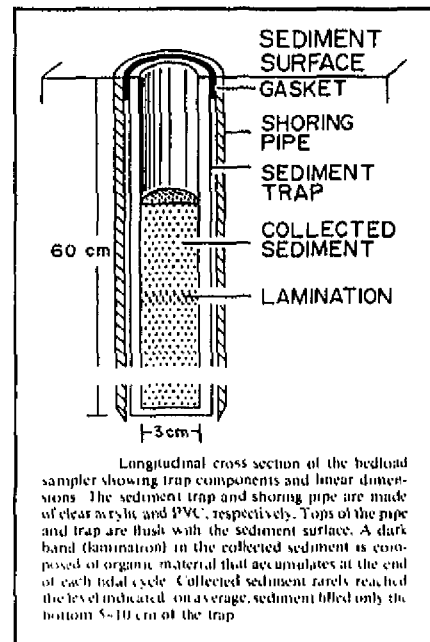
Als alternatief kan misschien een Optical Backscatter Sensor (OBS) worden gebruikt voor het bepalen van zowel bodemtransport als bodemhoogtevariaties. Met behulp van OBS sensoren kan de sedimentconcentratie in water worden bepaald. Indien echter in het "blikveld" van de OBS sensor een reflecterend oppervlak aanwezig is dan is de afgegeven spanning niet alleen afhankelijk van de sedimentconcentratie maar ook van de afstand tot het oppervlak. Indien een OBS gebruikt wordt voor metingen aan de hoogte van het substraatoppervlak, dan moet de gemeten waarde worden gecorrigeerd voor de sedimentconcentratie. Dit kan wellicht worden gedaan met behulp van een tweede OBS sensor die slechts de sedimentconcentratie bepaalt. Op deze manier worden dan twee aspecten van substraatdynamiek tegelijkertijd gemeten. Literatuur met informatie over deze toepassing van OBS sensoren is niet aanwezig (Haak, pers. comm.). Het belangrijkste probleem bij het toepassen van OBS-sensoren is de sterke reflectie door slibdeeltjes in verhouding tot de reflectie door zanddeeltjes. Hierdoor is het niet goed mogelijk om betrouwbare concentratiemetingen te doen in zand-slib mengsels (Kroon; Ebben, pers. comm.). Met behulp van een MEX, die licht absorptie meet, is dit wel mogelijk.

Volgens Erlingsson (1995) is het -in voldoende diep water- ook mogelijk de hoeveelheid bodemtransport te meten met zijn sedimeter. Hij geeft echter niet aan hoe dit precies dient te gebeuren. Volgens Van Rijn (1993) wordt infra-rood licht zeer sterk door het water geabsorbeerd waardoor het water bij slechts een decimeter diepte voldoende is om gebruikt te kunnen maken van OBS-sensoren.

Bioturbatie

Door de gevoeligheid van benthos voor artefacten in het substraat (Eckman 1979) is het lastig om bioturbatie direct met meetinstrumenten te bepalen. Het is in principe echter wel mogelijk de hoeveelheid bioturbatie te bepalen met behulp van de verdeling van natuurlijke of kunstmatige tracers in het substraat.

De meest gebruikte methode is gebaseerd op de verdeling (in de diepte) van isotopen (opgenomen uit de waterkolom) in het substraat. Tot nu toe was het echter wel noodzakelijk dat er sprake is van een constante sedimentatiesnelheid over de gehele diepte van het beschouwde profiel (Christensen 1982, Silverberg et al. 1986, Sharma et al. 1987). Aan deze voorwaarde wordt slechts zelden voldaan zodat de methode gebaseerd op deze

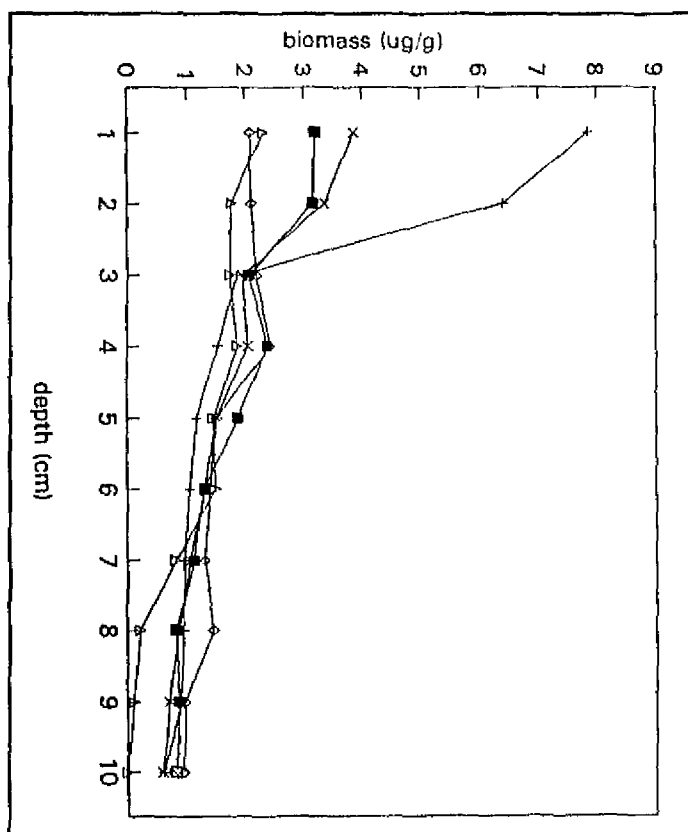


Figuur 29 "Bedload trap" zoals gebruikt door Emerson & Grant (1991)

aanname hooguit bruikbaar is in de laagdynamische schorgebieden.

Bij het NIOO/CEMO gaat men er echter vanuit dat een model ontwikkeld kan worden waarbij de isotopenverdeling gerelateerd kan worden aan een constante waarde heel diep uit het profiel (waar gedurende langere tijd -meerdere seizoenen- geen beweging heeft plaats gevonden. Met dit model moet het dan mogelijk zijn om dikte van dynamische lagen en omwerksnelheden behorend bij erosie, sedimentatie en bioturbatie processen te bepalen (Herman, pers. comm.).

De verdeling van chlorophyll-a in de diepte kan in principe ook gebruikt worden voor het registreren van hoogtevariaties en omwoeling. Benthische diatomeen zijn belangrijke producenten van chlorophyll-a. De diatomeen kunnen tot op grotere diepte (ten minste 20 cm) in het substraat aanwezig zijn. Zodra de diatomeenpopulatie aan licht wordt blootgesteld begint zij sterk te groeien en produceert zo een hoog chlorophyll-a gehalte in de bovenste paar mm van de bodem (Cadee en Hegeman 1974). Door mengingsprocessen kan het chlorophyll-a vervolgens herverdeeld worden in de bodem. Een profiel van chlorophyll-a gehalte in de diepte (voorbeeld figuur 30) geeft dus een afspiegeling van de omwoeling van het substraat. Hierbij dient wel bedacht te worden dat het chlorophyll-a gehalte van de bovenste één à twee centimeter bepaald wordt



Figuur 30 Vb. Chlorophyll-a profielen.

door de condities (erosie en sedimentatie) van de laatste drie dagen. Verder neemt het chlorophyll-a gehalte (bij afwezigheid van produktie) af met ongeveer 2 procent per dag. Bovendien blijkt er ook een herverdeling van chlorophyll-a in de diepte op te treden zonder dat er sprake is van omwoeling of erosie- en sedimentatieprocessen (Cadee en Hegeman 1974). Het relatieve aandeel van deze factoren in de verdeling van chlorophyll-a in de diepte is lastig te bepalen. Voor het interpreteren van diepte-chlorophyll-a curves zijn wel modellen ontwikkeld (o.a. Sun et al. 1994). Het is echter nog niet zo ver dat de methode operationeel is en gebruikt kan worden om substraatdynamiek te kwantificeren.

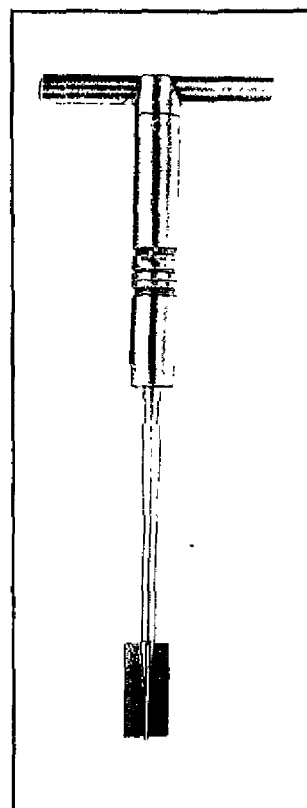
Myers (1977) ging uit van de veronderstelling dat bioturbatie de compactheid van het substraat verandert. Hij meette vervolgens tijdens een laboratorium experiment de compactheid van het substraat op verschillende dieptes met een "shear vane" (figuur 31).

Op basis van deze metingen was hij in staat omwerkdieptes en omwerksnelheden te bepalen. Wellicht is het ook mogelijk om deze methode in het veld te gebruiken. Het is dan wel noodzakelijk om te bepalen in hoeverre de dikte van een dynamische laag ten gevolge van erosie- en sedimentatieprocessen invloed heeft op de metingen. Het is misschien zelfs wel mogelijk om ook dit aspect van substraatdynamiek met behulp van de "shear vane" methode te bepalen.

Omwoeling door variabele poriënspanningen en luchtinsluitingen
De invloed van substraatbewegingen door variabele poriënspanningen op het benthos wordt gering geacht. De verwachte bewegingen zijn klein en aanwezig in hooguit de bovenste drie centimeter van het substraat (Kroon, pers. comm). Deze bewegingen worden in principe wel meegenomen indien met behulp van bovengenoemde tracermethoden wordt gemeten aan bioturbatie.

Met ingegraven drukopnemers in het substraat is het bovendien mogelijk om een indruk te krijgen van de diepte waarop dit proces van belang is. Dit levert bovendien inzicht in de hoeveelheid golfenergie die aan het substraat afgegeven wordt.

Het belang van substraatbewegingen door luchtinsluitingen (De Boer 1979) wordt voor de Westerschelde gering geacht (Van den Berg, pers. comm.). Ook de bewegingen veroorzaakt door dit proces worden in principe wel meegenomen indien met behulp van bovengenoemde tracermethoden wordt gemeten aan bioturbatie.



Figuur 31
Vb. "shear vane"

Meting van de bewegingen van het oppervlak van het substraat

Er zijn vele manieren om de beweeglijkheid van het oppervlak van het substraat te bepalen met een meetfrequentie lager dan één maal per getijcyclus. Deze methoden zijn echter allen handmatig waardoor bij hogere meetfrequenties zeer veel menskracht nodig is. Een aantal van deze methoden zijn in deze paragraaf toegelicht. Om de meetfrequentie op te voeren tot meer dan één maal per getij en/of op menskracht te besparen is het nodig een instrument te ontwikkelen dat automatisch de bodemhoogte meet. Uit het bodemhoogteverloop in de tijd kan met een methode analoog aan die beschreven in paragraaf 3.3.2 de substraat-dynamische parameters worden bepaald.

Handmatige bodemhoogte metingen

Er zijn een aantal opstellingen waarmee op een handmatige wijze periodiek de hoogte van het oppervlak kan worden bepaald.

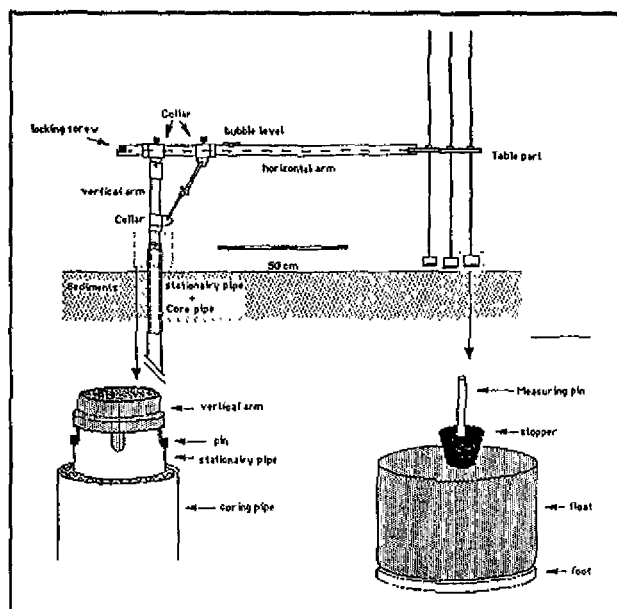
De meetnetmethode wordt onder meer in de Westerschelde gebruikt voor de al eerder genoemde erosie-sedimentatie plots. Er is voor de metingen inmiddels een standaard

protocol aanwezig. De methode is nauwkeurig genoeg om de bodemhoogte met een nauwkeurigheid van ongeveer 1 à 2 mm te bepalen (Storm, pers. comm).

Ook kunnen erosie-sedimentatie tafels (figuur 32) gebruikt worden. Deze methode is onder andere toegepast in de Oosterschelde (Schoot en Van Eerd 1985). Voor deze methode is een standaard protocol aanwezig (Schoot en de Jong 1982; Boumans en Day Jr. ?). Bezwaar van deze methode is dat ze nog arbeidsintensiever is dan de meetnetmethode.

Indien het milieu hoogdynamisch genoeg is om het materiaal eenmalig sterk te mogen verstoren kan ook een vlakke plaat op enige diepte ingegraven worden. Vervolgens kunnen de hoogtemetingen verricht worden door met een stok met een maatverdeling tot op dit referentienivo te prikken. Deze methode is gebruikt door Emerson en Grant (1991) waarbij een nauwkeurigheid van ongeveer 6 mm is behaald.

Het is ook mogelijk om vanaf een platform periodiek stereo-foto's te maken. Met fotogrammetrische technieken kunnen vervolgens hoogteverschillen in de tijd maar ook verschillen in micromorfologie worden bepaald. Hierdoor kan een goed inzicht verkregen worden over de processen en de uitwerking daarvan op een enkele locatie. De methode is wel arbeidsintensief en duur. De bereikte nauwkeurigheid is ongeveer 1 mm (Tiemissen pers. comm.). Deze techniek wordt toegepast door de Meetdienst RWS.

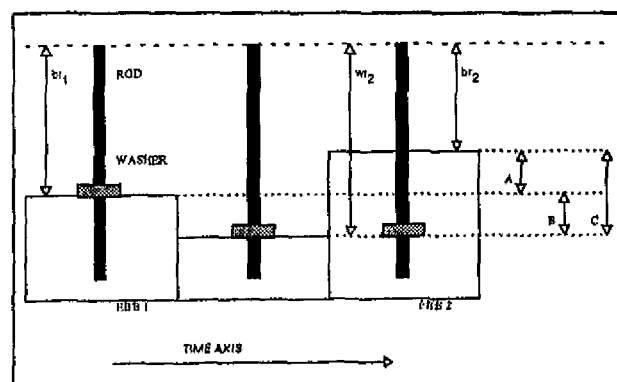


Figuur 32 Sedimentatie-erosie tafel (Boumans en Day Jr. ?)

Handmatige bodemhoogtemeting met behulp van zelf-registrerende methodes

Er zijn een aantal methodes waarbij behalve het hoogteverschil tussen twee opnames ook nog de laagste bodemhoogte tussen de twee opnames geregistreerd wordt. Bij alle hieronder beschreven methodes dient het meetinstrument uitgegraven te worden bij iedere opname. Daarom kunnen deze methodes alleen gebruikt worden in relatief hoogdynamische gebieden.

Kroon (1994) gebruikte "depth of activity rods" voor het registreren van bodemhoogte verandering en grootste erosiediepte. Ze bestaan uit stalen stokken die verticaal in het substraat worden geplaatst waaromheen een ring vrij kan bewegen



Figuur 33 "depth of activity rod" (Kroon 1994)

(figuur 33). Het ringetje volgt de benedenwaartse beweging van het substraatoppervlak bij erosie. Bij sedimentatie wordt het ringetje begraven. De diepte van het ringetje geeft daardoor de grootste erosiediepte aan. Deze methode is uitgebreid getest en vergeleken met andere methodes. Hieruit blijkt dat de methode uitstekend bruikbaar is en voldoende nauwkeurig (Kroon 1994).

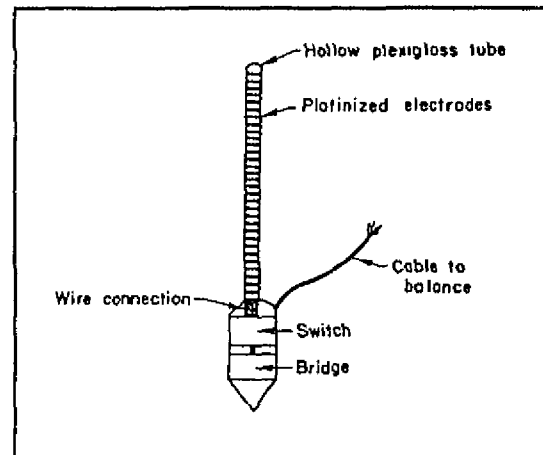
Een andere -veel gebruikte- methode is het aanbrengen van kolommen gekleurd zand in het substraat. De diepte waarop het gekleurde zand wordt teruggevonden en de totale lengte van de overgebleven kolom gekleurd zand geven in principe dezelfde parameters als de "depth of activity rods". Deze beide methodes blijken ook in het veld zeer overeenkomstige resultaten te geven (Kroon, pers. comm.). Ook Grant (1981), Myers (1977) en Steele et al. (1970) bereikten goede resultaten met deze methode.

Carling gebruikte in zijn promotieonderzoek (niet gepubliceerd) "thin metal rods" voor het meten van de diepte van verstoring (Carling 1982). De methode wordt in Carling (1982) niet verder beschreven maar het lijkt logisch dat een dun (makkelijk buigbaar) metalen stangetje met bekende lengte in het substraat ingebracht werd met behulp van een buisje. Later kan dan het stangetje worden uitgegraven waarbij het buigpunt de grootste erosiediepte aangeeft. Ook deze methode levert in principe dezelfde parameters als de "depth of activity rods". Doordat slechts zeer dunne stangetjes in het substraat ingebracht dienen te worden werkt de methode wellicht nauwkeuriger op plaatsen waar "scour"-effecten een belangrijke rol kunnen spelen. De methode lijkt snel en doeltreffend en uitstekend bruikbaar indien uitgraven acceptabel is.

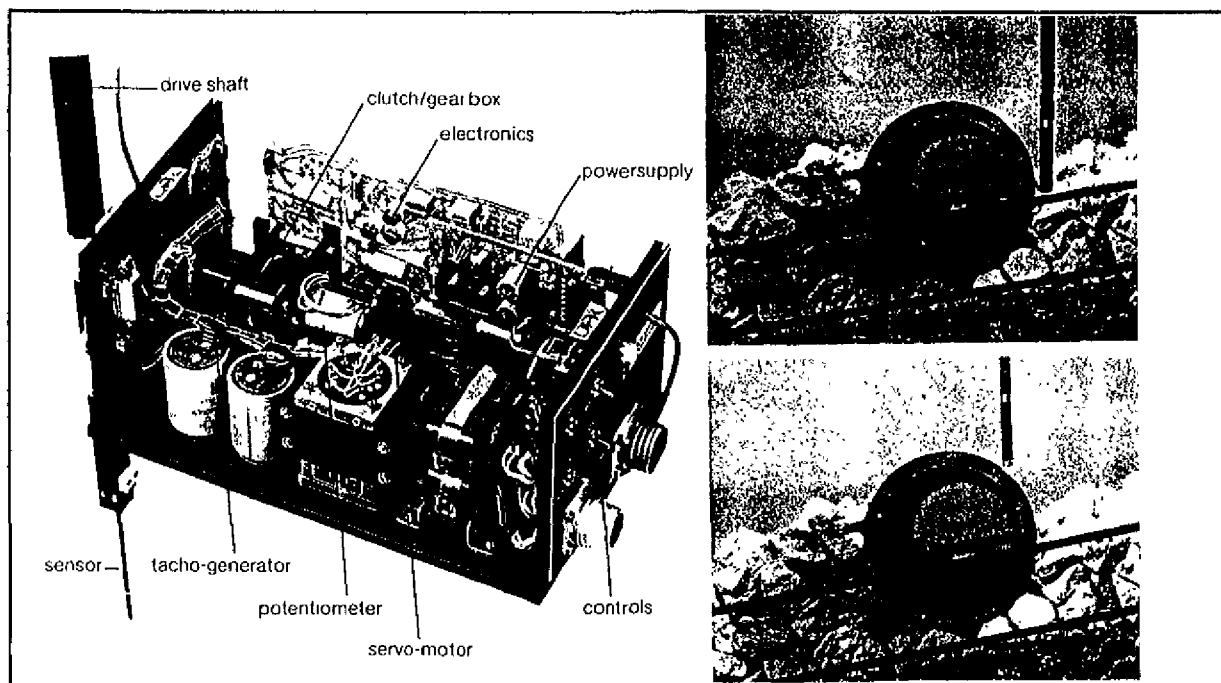
Automatische bodemhoogte metingen

Een automatische bodemhoogte meter kan door de mogelijkheid van een hoge meetfrequentie een zeer goed inzicht geven in de dynamiek van het substraat. Bovendien kan de data die verzameld zijn met handmatige methoden beter bruikbaar en interpreteerbaar maken. Er zijn verschillende benaderingen volgens welke een automatische bodemhoogte meter geconstrueerd kan worden.

Een mogelijke benadering is die met behulp van een geleidbaarheid-dichtheidsmeter zoals voorgesteld door Ariathurai en Arulanandan (1984). Hierbij wordt een stokvormig meetapparaat verticaal in het substraat gezet (figuur 34). Op regelmatige afstanden zijn hierop elektrodes bevestigd waarmee de dichtheid van het substraat op basis van elektrische geleiding wordt gemeten. Hiermee kan dan de substraat-water overgang worden vastgelegd. Wellicht



figuur 34 geleidbaarheid bodemhoogtemeter zoals voorgesteld door Ariathurai en Arulanandan (1984).

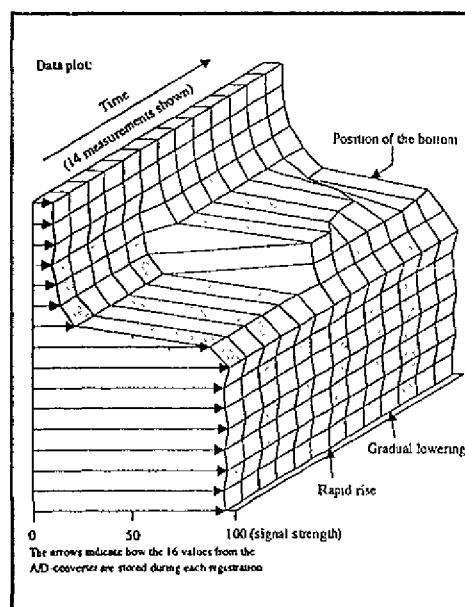


Figuur 35 Bodemhoogte-sensor zoals ontwikkeld door het WL.

is het ook mogelijk om de diepte waarop variabele poriënspanningen door golfwerking optreden vast te leggen door met zeer korte tijdsinter-vallen de dichtheid van het substraat te meten.

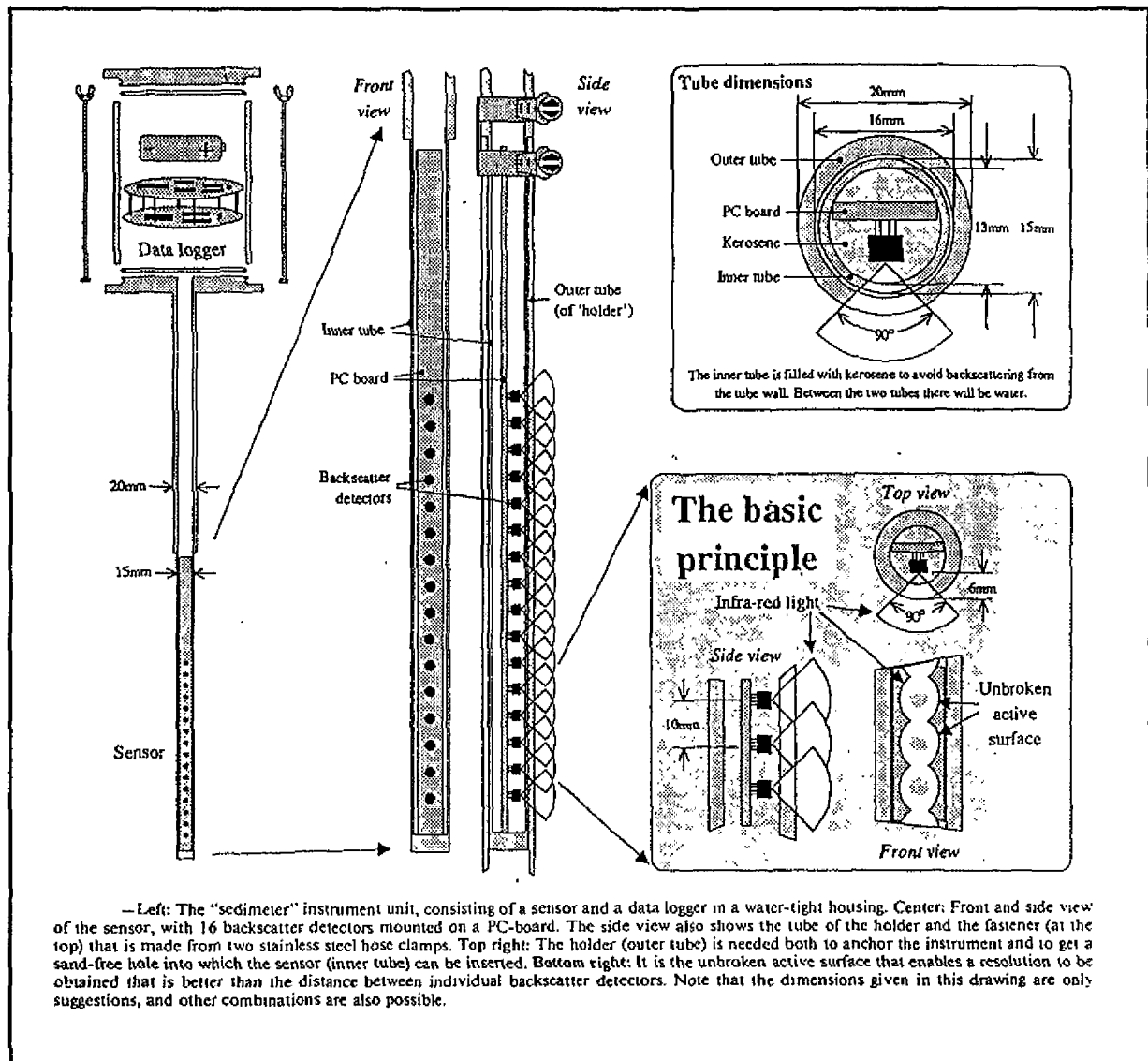
Het waterloopkundig laboratorium ontwikkelde op het geleidbaarheidsprincipe een "profile indicator" (figuur 35) die het bodem-hoogteverloop over een profiel kan meten. Dit apparaat is zeer nauwkeurig maar strikt voor laboratorium gebruik. Wellicht kan een vergelijkbaar apparaat voor veldtoepassingen ontwikkeld worden.

Een stokvormige automatische bodemhoogtemeter valt ook te construeren met behulp van optische sensoren in plaats van elektrodes. Zo'n apparaat is ontwikkeld door Erlingsson (1991). Zijn sedimeter meet zeer nauwkeurig bodemhoogtevariëaties maar ook sedimentconcentraties in de waterkolom vlak boven het substraatoppervlak (figuur 36). Hij gebruikt hiervoor een reeks OBS'en met een datalogger in een zelfstandige eenheid (figuur 37). Het apparaat zoals dat op de markt is, is echter zo fragiel dat het niet in een intergetijdegebied toepasbaar is (Tiemissen pers. comm.). Het moet echter wel mogelijk zijn om op basis van dit principe een geschikt meetinstrument te ontwikkelen (Tiemissen, Haak pers. comm.).



Figuur 36 Voorbeeld van een bodem-water overgang op basis van metingen door de sedimeter. (Erlingsson 1991)

Bij stokvormige meetapparaten vormt zich een ontgrondingskuiltje ten gevolge van stroomveldveranderingen rond de stok ("scour"-effect). De grootte van de meetfout die hierdoor ontstaat dient onderzocht te worden. Wellicht is het effect gering doordat de diepte van het kuiltje relatief constant in de tijd blijkt te zijn. Bij de sedimentmeter is dit probleem relatief gering door het grote blikveld van een OBS. Volgens Erlingsson (pers. comm.) blijft de diepte van het kuiltje bij de sedimentmeter beperkt tot ongeveer één millimeter.



De Sedimeter. (Erlingsson 1991)

Het volgende tweetal methoden werken minder sterk versturend op het stromingsveld. De eerste methode is gebaseerd op het meten van de bodemhoogte op het moment dat de plaat droogligt. Hierdoor wordt het stromingsveld totaal niet verstoord. Er dient hiervoor een apparaat gebouwd te worden dat bij laagwater een sonde vanaf een vast referentieniveau neerlaat die voelt wanneer de bodem bereikt wordt. De afstand die daarbij afgelegd wordt kan worden gemeten en vervolgens opgeslagen met behulp van een datalogger. Het grootste

probleem bij deze methode is het ontwikkelen van een betrouwbaar mechanisme. Eventueel kan zo'n apparaat ook vervaardigd worden door het aanpassen van een getijschrijver.

De tweede methode is gebaseerd op het inbrengen van een zeer dunne meetlat in het substraat. Hierdoor wordt het stroomveld slechts minimaal verstoord. Vervolgens kan van deze meetlat en het substraat automatisch een foto worden gemaakt met een in de nabijheid opgestelde camera. Doordat bij kleine sedimentlast in het water het zicht al snel sterk afneemt is het waarschijnlijk slechts bij laagwater mogelijk om bruikbare foto's te maken. Grootste probleem bij deze methode is de relatief grote afstand waarop de camera moet worden opgesteld om het stroomveld niet te sterk te verstoren.

Overige meetmethodes

Wellicht is het ook mogelijk de dikte van de dynamische laag op een indirecte wijze te meten. Hiertoe zou een scherpe overgang in substraat-eigenschappen in de diepte als indicator kunnen werken. Myers (1977) kon zo bioturbatie dieptes registreren aan de hand van overgangen in afschuifweerstand gemeten met een "shear vane". Met behulp van een cone-penetrometer (figuur 38) kan wellicht een vergelijkbaar resultaat worden behaald op een grovere schaal. De overgang dynamische laag-vast substraat zou gepaard kunnen gaan met een scherpe overgang in penetrometer weerstand. Met behulp van een stok is in het veld wel een scherpe overgang in "indruk-weerstand" gevonden (Duiker, pers. obs.). Onbekend is of deze overgang samen viel met de overgang dynamische laag-vast substraat. Verder geven deze instrumenten belangrijke informatie over de aard van het substraat die belangrijk zijn bij het bepalen voor zowel het benthos als het verband tussen sturende factoren en de grootte van substraatdynamiek.



Figuur 38 Voorbeeld van een "cone-pentrometer"

Een beter inzicht in schuivende beweging (in horizontale zin) in het substraat kan met behulp van een tweetal vergelijkbare technieken worden verkregen. De eerste techniek maakt gebruik van een stapel plastic ringen rond een lange visdraad die als een kolom in het substraat worden geplaatst. De diepte tot waar de ringen zijn verdwenen geeft de diepste erosie (vgl. "depth of activity rod"). Verschoven ringetjes beneden dit niveau geven aan of er sprake is geweest van schuivende beweging in de bodem. Lastig hierbij is het precies in één verticale lijn plaatsen van de ringetjes.

De tweede methode gebaseerd op een glaciologische techniek ondervindt geen hinder van dit probleem. Hierbij wordt een stapel kralen met behulp van een doorlopende stalen kern (vgl. telraam) verticaal in het substraat geplaatst. Ook hier geven de verschoven kralen weer een indicatie van schuifkrachten in de bodem.

Bodembewegingen kunnen ook op een geavanceerdere en kostbare wijze worden geregistreerd. Hierbij worden bewegingen in het substraat omgezet in elektronische signaaltjes. Apparatuur hiervoor dient nog wel ontwikkeld te worden. Genoemd zijn hier een tweetal mogelijke principes.

Het eerste is gebaseerd op het veranderen van elektrische eigenschappen bij het verbuigen van een materiaal (kwikdraad of een speciale rubbersoort). Het apparaat kan bestaan uit een basis dieper in het substraat waarvan draden met oplopende lengte rechtop (naar boven) het substraat insteken. Met behulp van een datalogger kan dan worden vastgelegd op welke dieptes variaties in elektrische eigenschappen (en daarmee beweging) plaatsvinden. Wellicht is de mate van variëren (in tijd en grootte) ook nog in verband te brengen met de snelheid van bewegen.

Het tweede principe is gebaseerd op kleine verplaatsingsopnemers die op verschillende dieptes in het substraat worden ingebracht. Gedacht kan worden aan een soort gramfoonnaaldjes die bij zeer geringe bewegingen al elektrische spanning afgeven.

Bijlage 2 VOORBEELD SCHEMATISCH ONDERZOEKSOPZET VOOR EEN MEERJARIG ONDERZOEK

Eerste jaar:

Activiteiten:

Ontwikkelen en testen meetmethodieken voor substraatdynamiek

Selecteren onderzoeksgebied(en) binnen de Westerschelde

Opstellen meetplan

Metingen -substraatdynamiek en -samenstelling

-benthos

-oppervlakte kenmerken

-sturende factoren

Data verwerken (en opnemen in GIS) en presenteren

Analyseren van de verbanden in de dataset. Met name:

- substraatdynamiek (&samenstelling) en sturende factoren.

- substraatdynamiek (&samenstelling) en oppervlakte kenmerken

- substraatdynamiek (&samenstelling) en benthos

modelbouw substraatdynamiek uit sturende factoren

modelbouw golfwerking en stroming op intergetijdegebied in de Westerschelde

Producten:

Rapport meetmethodieken substraatdynamiek

Meetplan

Morfologische kaart (functioneel t.a.v. substraatdynamiek)

Substraatdynamiek kaart onderzoeksgebied(en)

Rapport toelichting en analyse dataset

Conceptueel model (op basis van statistisch en functioneel onderzoek) dat de relatie beschrijft tussen benthos-voorkomen en substraatdynamiek

Tweede jaar:

Activiteiten:

Meetinspanning continueren op aangepaste tijd- en ruimteschalen

(t.b.v. uitbreiding en validatie van de modellen)

Data verwerken en in GIS opnemen

Afregelen modellen voor golfwerking en stroming op intergetijdegebied

Afregelen en uitbreiden model voor substraatdynamiek uit sturende factoren

Modellen extrapoleren tot Westerschelde-breed

Valideren modellen

Onderzoek mogelijkheid/ontwikkelen techniek voor het karteren van substraatdynamiek op basis van oppervlakte kenmerken en Remote Sensing technieken (met name luchtfoto's en radarbeelden)

Uitwerken (kwantificeren) relatie benthos <-> substraatdynamiek

Producten:

Substraatdynamiek kaarten (verschillende tijd- en ruimteschalen)

Verbeterde en Westerschelde-brede modellen

Eventueel Remote-Sensing techniek voor kartering substraatdynamiek

Kwantitatief model samenhang benthos <-> substraatdynamiek

Rapporten met modelbeschrijvingen

Derde jaar:

Activiteiten:

Meetinspanning continueren (slechts enkele metingen)

Verdere verfijning modellen en extrapolatie naar andere watersystemen

Bouwen eenvoudige GIS-applicatie "substraatdynamiek" en het koppelen aan een Decision Support System (DSS)

Toepassen van de kennis en modellen bij concrete inrichtingsprojecten. Prognostiseren van het effect van uitgevoerde inrichtingsmaatregelen

Integratie

Producten:

Substraatdynamiek kaarten (verschillende tijd- en ruimteschalen)

Generiek model substraatdynamiek

Eenvoudige GIS-applicatie "substraatdynamiek" en een module voor een DSS

Rapport inrichtingsmaatregelen en substraatdynamiek

Eindrapport