

SLIB IN HET ESTUARIUM VAN DE SCHELDE:
PADEN EN LOTGEVALLEN deel 2

*een analyse van de problematiek,
een synthese van de kennislacunes
en een plan van aanpak voor toekomstig onderzoek*

Drs. W.B.M. ten Brinke

Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek Utrecht (IMAU)

rapport R 92-10 (RUU-IMAU)
werkdokument GWAO-92.864X (RWS-DGW)

Middelburg, november 1992

INHOUD:

	Blz.
1. Inleiding	4
2. Fysische en ecologische slibproblemen in het estuarium: een inventarisatie	5
2.1. De tijdsafhankelijkheid van de slibbalans	5
2.2. De input van fluviatiel slib	6
2.3. Menging marien-fluviatiel slib	6
2.4. Netto slibuitwisseling met de Noordzee	7
2.5. Bruto slibuitwisseling met de Noordzee	7
2.6. Recirculatie slib in marien troebelheidsmaximum Belgische kust	8
2.7. Sanering Zeeschelde	13
2.8. Sweepbeam baggeren toegangsgeulen haven Antwerpen	14
2.9. Slibberging Land van Saeftinge	15
2.10. Concentratie gesuspendeerd slib	17
2.11. Verblijftijd slib	19
2.12. Slibaccumulatie havens	20
3. Definitie onderzoeksvragen	22
3.1. Inleiding: drie typen problemen	22
3.2. Voorlopig nog niet aan te pakken problemen	22
3.3. Praktische problemen	23
3.4. Inhoudelijke problemen	23
4. Plan van aanpak toekomstig onderzoek	25
4.1. Praktisch onderzoek	25
4.2. Inhoudelijk onderzoek	29
4.2.1. Twee onderzoeksvelden	29
4.2.2. Modelleren troebelheidsmaximum	29
. van belang zijnde processen	29
. maatschappelijke relevantie	31
. wetenschappelijke relevantie	32

4.2.3. Verplaatsing en verblijftijd slib	33
4.2.3.1. Verplaatsing slib	33
. van belang zijnde processen	33
. maatschappelijke relevantie	33
. wetenschappelijke relevantie	33
4.2.3.2. Verblijftijd slib	34
. van belang zijnde processen	34
. maatschappelijke relevantie	35
. wetenschappelijke relevantie	35
4.2.4. Onderzoeksplan	36
4.3. Samenvatting eerste inschatting kosten/capaciteit praktisch en wetenschappelijk onderzoek	39
5. Samenvatting en discussie	40
5.1. Verbetering inzicht slibhuishouding met beschikbare gegevens	41
5.2. Lacunes inzicht slibhuishouding	42
5.3. Vergroting areaal natuurlijke overstromingsgebieden	44
5.4. Kritiek op Belgische visie slibhuishouding Schelde estuarium	45
5.5. Kritek op Belgische visie slibhuishouding mondingsgebied	46
6. Referenties	48

1. INLEIDING

Dit rapport is het tweede deel van een set van 2 rapporten waarin een literatuurstudie naar 'de paden en lotgevallen' van slib in het Schelde estuarium wordt samengevat. Doelstellingen van deze studie zijn: (1) het in kaart brengen van de huidige slibproblematiek van de Westerschelde, (2) het aangeven van lacunes in de huidige kennis met betrekking tot het gedrag van slib in het estuarium, en (3) het uitzetten van de lijnen voor het toekomstig slibonderzoek in het estuarium. Deze 3 doelstellingen worden in dit deelrapport behandeld. Deelrapport 1 behandelt de slibbalans van het Schelde estuarium.

Dit deelrapport 2 begint met een overzicht van fysische en ecologische slibproblemen in het Schelde estuarium (hoofdstuk 2). Dit overzicht is, grotendeels, verkregen door met verschillende inputtermen van de slibbalans te 'spelen'. In totaal zijn 16 verschillende scenario's van de slibbalans doorgekend (zie deelrapport 1). Op basis van het overzicht van de slibproblemen zijn onderzoeksvragen gedefinieerd (hoofdstuk 3). Deze onderzoeksvragen zijn uitgewerkt tot een plan van aanpak voor toekomstig onderzoek (hoofdstuk 4).

De literatuurstudie is uitgevoerd in de periode april-oktober 1992 door de Rijksuniversiteit Utrecht (RUU), vakgroep Fysische Geografie, in opdracht van de Dienst Getijdewateren (DGW) in Middelburg onder contractnummer overeenkomst DG-431. Het onderzoek is begeleid door Dr. J.H. van den Berg (RUU) en Ir. A. Langerak (DGW). Graag wil ik hier, naast de genoemde begeleiders, voor hun begeleiding, discussies en kritische kanttekeningen bedanken: Ir. J. Vroon, Ing. A. Holland, Ing. R. Boeijs, Ir. T. Pieters (DGW), Ing. F. de Bruyckere, Ir. S. Vreeke, Ir. M. Maulblok en Drs. O. v. Kleef (Dir. Zld.).

2. FYSISCH EN ECOLOGISCH SLIBPROBLEEM IN HET ESTUARIUM: EEN INVENTARISATIE

2.1. DE TIJDSAFHANKELIJKHEID VAN DE SLIBBALANS

Samenvatting probleem: 'Grootschalige slibtransportprocessen vragen om een verfining van de tijdschalen waarover de slibbalans betrekking heeft, terwijl beschikbare data een balans op hooguit jaarbasis mogelijk maken'.

Toelichting probleem: Een slibbalans geldt alleen maar voor de periode waarover wordt gemiddeld. Veelal geeft een balans de jaargemiddelde situatie weer. Dit geldt ook voor de vigerende slibbalans van de Westerschelde (Van Maldegem, 1992). Deze balans is weliswaar opgesplitst in 4 kwartalen, maar deze opsplitsing is gebaseerd op een zeer aanvechtbare aanname (gesteld is dat de transporten in de balans in verhouding staan tot de slibconcentraties in suspensie) en niet op de kwantifiering van balanstermen per seizoen.

Deelrapport 1 (notitie GWA0-92.841X) toont aan dat de menging van marien en fluviatiel slib varieert met de rivieraafvoer. Dit betekent dat de slibbalans, voor wat betreft de menging van marien en fluviatiel slib, moet worden opgesplitst in een balans voor januari-juni en een balans voor juli-december. Binnen deze 2 halfjaren treedt nog een temporele variatie op doordat platen en slikken in voorjaar en zomer veel slib accumuleren dat in najaar en winter weer aan de geulen wordt prijs gegeven (Helsloot en Storm, 1988; Siereveld, 1991). Van Maldegem (1992) heeft afgeschat dat de hoeveelheid slib, die in voorjaar en zomer op het intergetijdegebied accumuleert, het verschil in slibconcentratie in het water van de geulen tussen voorjaar/zomer en najaar/winter kan verklaren.

De noodzaak tot slibbalansen op kwartaalbasis is duidelijk. Echter, de meeste data worden op jaarbasis verzameld (morfologische veranderingen, fluviatiele slibinput etc.), waardoor een jaargemiddelde balans voor de hand ligt. Bij het toepassen van een balans als instrument om het effect van een ingreep of ontwikkeling te evalueren, kan men hierdoor behoorlijk de mist in gaan. Zo is het niet uitgesloten dat het Schelde estuarium, hoewel slib importerend op jaarbasis, in een bepaald seizoen slib exporteert. Bij handelingen als slibstortingen voor de Belgische kust kunnen dergelijke variaties voor het beleid van groot belang zijn.

2.2. DE INPUT VAN FLUVIATIEL SLIB

Samenvatting probleem: *'Bij de afschatting van de fluviatiele slibproductie in het stroomgebied van de Schelde moeten zoveel aannames worden gedaan, dat de fluviatiele slibinput in de Schelde slechts met een zeer grote band van onzekerheid kan worden gekwantificeerd'.*

Toelichting probleem: Zoveel onderzoekers, zoveel verschillende getallen voor de input van fluviatiel (en marien!) slib (zie overzicht Van Maldegem, 1992, blz.55). De oorzaak hiervoor is gelegen in een gebrek aan informatie om de input goed te berekenen waardoor men is aangewezen op aannames. Deze aannames zijn vaak slecht onderbouwd.

De onzekerheid in de aannames dient zoveel mogelijk te worden verkleind. Dit betekent in principe dat bij het doen van aannames een reële onzekerheidsmarge moet worden aangegeven. De slibinput is een combinatie van aannames en daardoor groeit de onzekerheid van het getal. Voor het Schelde estuarium is een slibinput van $1-6 \cdot 10^5$ ton jr^{-1} berekend (Ten Brinke, 1992). De brede range is misschien teleurstellend maar wel reël. Een verdere aanscherping van de fluviatiele slibinput is, met de beschikbare data, op dit moment niet mogelijk.

2.3. MENGING MARIEN-FLUVIATIEL SLIB

Samenvatting probleem: *'Op dit moment kan de menging van fluviatiel en marien slib, representatief voor een bepaalde periode, niet voldoende nauwkeurig uit beschikbare tracer gegevens worden berekend'.*

Toelichting probleem: In deelrapport 1 (notitie GWAO-92.841X) zijn de percentages fluviatiel slib tussen Rupel en Vlissingen berekend op basis van verschillende tracers. De variatie in de onderlinge resultaten is groot. In genoemd deelrapport is bediscussieerd dat deze variatie het gevolg kan zijn van onzekerheden/fouten bij de gebruikte tracers, maar dat een temporele (en zelfs ruimtelijke) variatie ongetwijfeld ook zijn stempel op de resultaten zal hebben gedrukt. Bovendien is niet geheel duidelijk wat het effect is van het bemonsteren van suspensief materiaal in vergelijking met bodemsediment. In de scenario's, die in deelrapport 1 zijn besproken, zijn deze onzekerheden als spreidingsband meegenomen.

2.4. NETTO SLIBUITWISSELING MET DE NOORDZEE

Samenvatting probleem: *'De onzekerheidsmarge rond de netto slibuitwisseling tussen het Schelde estuarium en de Noordzee is zo groot dat zelfs de richting van dit netto transport niet eenduidig kan worden vastgesteld.'*

Toelichting probleem: Het berekenen van de slibuitwisseling tussen een estuarium en het aangrenzende kustwater is geen eenvoudige zaak. Voor de Westerschelde volgt de slibuitwisseling met de Noordzee als resultante uit de boekhouding van bron- en puttermen, en de menging van marien en fluviatiel slib. Gaande van de rivier naar de zee groeit de onzekerheid van de transporten in de slibbalans. In het voorgaande is al gesteld dat zelfs de rivierinput al met een grote band van onzekerheid is omgeven. Het zal duidelijk zijn dat de onzekerheid rond het netto slibtransport in de Westerschelde monding vele malen groter is dan het transportgetal zelf (Ten Brinke, 1992). Rest de vraag of deze onzekerheid kan worden gereduceerd.

De oplossing moet in ieder geval niet worden gezocht in fluxmetingen. Fluxmetingen met schepen in de monding zullen nooit het gewenste resultaat opleveren. Niet alleen varieert het netto transport van dag tot dag, maar ook het netto transport tijdens één eb-vloed cyclus is niet anders te kwantificeren dan met een zeer grote band van onzekerheid. Ten Brinke (1991) bediscussieert deze problematiek naar aanleiding van onderzoek in de Oosterschelde. De netto slibuitwisseling met de Noordzee is in de Westerschelde nooit berekend aan de hand van fluxmetingen.

Een verdere aanscherping van de slibbalans, bijvoorbeeld door een betere onderbouwing van de menging van marien en fluviatiel slib (dus: betere tracer bepalingen), zal zeker vruchten afwerpen. Daarnaast is het verstandig om de mechanismen achter het grootschalige slibtransport in het systeem (processen als sprong-type transport in relatie tot getijasymmetrie, dichtheidstroming) te proberen te doorgronden.

2.5. BRUTO SLIBUITWISSELING MET DE NOORDZEE

Samenvatting probleem: *'De netto slibuitwisseling tussen de Westerschelde en de Noordzee zegt niets over de werkelijke uitwisseling van particulier materiaal (met daaraan gebonden verontreinigingen) tussen het estuarium en de kustzone.'*

Toelichting probleem: Bij de berekening van het netto slibtransport wordt niet gekeken naar de beweging van de afzonderlijke deeltjes. Als er net zoveel deeltjes van A naar B gaan als van B naar A, is het netto transport nul. Als de oorspronkelijke deeltjes bij A anders zijn van samenstelling, bijvoorbeeld sterker verontreinigd, dan bij B, is het netto effect van de uitwisseling tussen A en B niet nul.

De Westerschelde illustreert dit probleem heel duidelijk. De mariene slibimport vanuit de Noordzee is zeer laag: maximaal $13 \pm 40 \cdot 10^4$ ton jr^{-1} (Ten Brinke, 1992). Ter vergelijking: de slibimport in de Oosterschelde bedraagt gemiddeld $120 \cdot 10^4$ ton jr^{-1} (Ten Brinke, 1991). De lage import voor de Westerschelde is het gevolg van het feit dat de accumulatie van marien slib in het midden en oostelijke deel van de Westerschelde voor een groot deel kan worden verklaard met erosie van fossiel sediment in het westelijke deel. Er is maar weinig Noordzeeslib nodig om de balans sluitend te maken. Vanuit een balans geredeneerd komt al het slib uit het westelijke deel in het midden en oosten terecht. In werkelijkheid verdwijnt een groot deel van het geërodeerde slib in het westelijke deel misschien naar de Noordzee terwijl de Noordzee zelf slib levert voor het midden en oostelijke deel van het estuarium. Onderzoek is vereist naar de ligging van slibhoudende erosiegebieden in het westelijke deel ten opzichte van eb- en vloedscharen. In combinatie met proceskennis over de beweging van slibdeeltjes in het mondingsgebied, levert dit inzicht in de werkelijke uitwisseling met de Noordzee.

2.6. RECIRCULATIE SLIB IN MARIEN TROEBELHEIDSMAXIMUM BELGISCHE KUST

Samenvatting probleem: *'Hoewel de slibcirculatie tussen de stortlokaties en de slibaccumulatiegebieden voor de Belgische kust een vrijwel gesloten circuit vormt, is een nadelig effect van gestort verontreinigde specie op het Schelde estuarium hoogst waarschijnlijk. Immers, de slibfluxen binnen de slibcirculatie voor de Belgische kust zijn zo enorm groot in verhouding tot de slibfluxen binnen het Schelde estuarium dat een relatief gering slibverlies uit het circulatiepatroon voor de Belgische kust naar de Westerschelde zwaar op de slibbalans van het estuarium, en daarmee de kwaliteit van het systeem, kan aantikken.'*

Toelichting probleem: Voor de Belgische kust, ruwweg tussen Duinkerke en Cadzand, bevindt zich een gebied waarvan de bodem bestaat uit ongeconsolideerde

sliblagen van 30 tot 60 cm dikte (Malherbe, 1991) (Figuur 1). Dit slib is ter plaatse geërodeerd en maakte oorspronkelijk deel uit van afzettingen uit het tertiair (Houbolt, 1968). De aanwezigheid van deze ongeconsolideerde sliblagen uit zich in een marien troebelheidsmaximum voor de Belgische kust (Eisma, 1981) dat zich tot in de Westerschelde monding uitstrekt (Visser et al., 1991). De kern van het troebelheidsmaximum lag in het verleden tussen Duinkerke en Zeebrugge. Sinds de havenuitbouw van Zeebrugge ligt de kern tussen Zeebrugge en Cadzand (Malherbe, 1991).

Kennelijk blijft het materiaal na erosie door specifieke hydrodynamische omstandigheden in het gebied ingevangen. Volgens Van Veen (1936) en Bastin (1974) komt dit door een wisselwerking van (1) de twee reststromen van eb en vloed, en (2) de resultante van de orbitale golfbeweging in de richting van de kust.

Het mariene troebelheidsmaximum leidt tot een gigantische baggerinspanning die nodig is om de Belgische zeehavens en de toegangsecul naar de Westerschelde op diepte te houden. In totaal werd in het werkjaar 1988-1989 25 miljoen ton specie gebaggerd (De Wolf en Baeteman, 1991), waarvan 12 miljoen ton slib. Ter vergelijking: aan marien slib wordt in de Rotterdamse haven jaarlijks 6 miljoen ton gebaggerd (Malherbe, 1991).

Al de gebaggerde specie wordt op verschillende lokaties voor de Belgische kust gestort. Deze lokaties zijn ruwweg in twee groepen te splitsen: (1) lokaties ten oosten van Zeebrugge nabij de havens van Nieuwpoort, Oostende en Blankenberge waar de, relatief geringe, hoeveelheden specie uit deze havens worden gestort, en (2) lokaties zeewaarts van de hoofdvaargeul naar de Westerschelde waar de enorme hoeveelheden specie uit de haven van Zeebrugge en de toegangseculen naar deze haven en de Westerschelde worden gestort.

In het Belgische rapport 'Ecologische impact van baggerspecielossingen voor de Belgische kust' (Belgisch Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu, 1990) worden de gestorte volumes alsmede de dichtheden en slibgehalten (gedefinieerd als $< 63 \mu\text{m}$) van het gebaggerde materiaal vermeld. Uit deze gegevens zijn de gewichtshoeveelheden gestort slib op de twee groepen stortlokaties in het werkjaar 1988-1989 berekend (Tabel 1). In het jaar 1988-1989 is alleen onderhoudsbaggerwerk uitgevoerd. Duidelijk is dat niet ver van de Westerschelde monding gigantisch grote hoeveelheden slib worden gestort: 12 miljoen ton in één jaar. De stortingen ten westen van Zeebrugge vallen hierbij in het niet.

Uit onderzoek is gebleken dat alle 12 miljoen ton slib uit het sediment weer snel in suspensie komt en van de stortplaats wordt getransporteerd. Terwijl

over het algemeen meer dan de helft van de specie uit slib bestaat, blijkt de bodem van de stortlokaties uit zand te bestaan (Belgisch Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu, 1990; Malherbe, 1991). Blijkbaar blijft na storting alleen het zand op de stortplaats achter. Volgens Malherbe (1991) is de stortefficiëntie slechts 20-40%. Malherbe heeft het transport van slib na storting gevolgd door aan de specie radioactieve tracers toe te voegen. Uit zijn resultaten blijkt dat minstens 85% van het gestorte slib weer terecht komt in het mariene troebelheidsmaximum.

De onderzoeksresultaten van Malherbe (1991) liggen ten grondslag aan de uitspraken in het rapport "Ecologische impact van baggerspecielossingen voor de Belgische kust". In dit rapport wordt aangegeven dat het storten van specie voor de Belgische kust de levensgemeenschappen in met name het oostelijke deel van het Belgische kustgebied duidelijk heeft beïnvloed. In het rapport wordt, op basis van het onderzoek van Malherbe, ook gesteld dat de uitwisseling van sediment tussen het mariene troebelheidsmaximum incl. stortplaatsen en de rest van de Noordzee of de Westerschelde gering is. Deze stelling is op zich juist maar moet wel gezien worden in relatie tot de schaal van het probleem dat wordt bestudeerd. Het probleem van Malherbe is het rondpompen van het slib in het Belgisch kustgebied. Vanuit die optiek is een 'lekverlies' van minder dan 15% gering. Het 'lekverlies' zal sowieso vrij gering moeten zijn omdat het totale slibtransport langs de Belgisch-Nederlandse kust in de orde van 8.5 miljoen ton per jaar ligt (Van Alphen, 1991). Echter bij een jaarlijkse slibstorting van 12 miljoen ton is 15% maar liefst 1.8 miljoen ton. De mariene slibimport voor de Westerschelde bedraagt, volgens de meest recente schatting (Ten Brinke, 1992), slechts 100.000 tot 200.000 ton.

Een verwaarloosbaar netto 'lekverlies' (incl. transport door diffusie naar omliggend gebied) bij het rondpompen van baggerslib voor de Belgische kust kan voor de Westerschelde grote consequenties hebben, zeker gezien het feit dat de stort- en transportprocessen over lange termijn (enkele decaden) voortduren. Het is dan ook niet vreemd dat in de Westerschelde monding bij de SAWES studies (Rijkswaterstaat, 1989) relatief hoge concentraties zink, kwik en PAK's, nauw gecorreleerd met het zwevend stofgehalte, aan het licht kwamen. De link met de Belgische stortingen, al gelegd door de SAWES onderzoekers, ligt wel erg voor de hand. Bij de tracerproef van Malherbe bleek een deel van de tracer de Westerschelde binnen te dringen. In dit verband is het zinvol om op de fysische randvoorwaarden tijdens de tracerproef (februari 1988) te wijzen: abnormaal hoge Scheldeafvoer (3-4 keer de normale winterafvoer) in combinatie met stormachtige winden uit het noordoosten. Zoals Malherbe ook aangeeft, zal

het mariene troebelheidsmaximum bij deze omstandigheden een abnormale zuidwestverplaatsing hebben ondergaan. Verwacht mag worden dat onder minder extreme omstandigheden een grotere hoeveelheid tracer tot in de Westerschelde kan worden gevolgd.

Het koppelen van het rondpompen van slib voor de Belgische kust aan de slibbalans van de Westerschelde is in wezen een schaalprobleem, zowel ruimtelijk als temporeel. Het ruimtelijke aspect in in bovenstaande reeds geschetst en betekent feitelijk dat wat voor het probleem 'circulatie Belgische kust' gering is, voor het probleem 'Westerschelde' groot kan zijn. Het temporele aspect heeft betrekking op de werkelijke betekenis van het getal 12 miljoen ton slib per jaar. Dit bruto getal bevat deels slib dat meerdere keren per jaar wordt rondgepompt. De zeer snelle recirculatie van het slib na storting (binnen 12 dagen; Malherbe (1991)) wijst hierop. Dus is de hoeveelheid verontreinigde specie die voor de scheepvaart problemen veroorzaakt, in werkelijkheid kleiner dan 12 miljoen ton. Dit betekent dat feitelijk, op jaarbasis, meer dan 15% van de verontreinigde specie in de scheepvaartgeulen en de havens uit het mariene troebelheidsmaximum verdwijnt. Als men stelselmatig bij iedere storting 15% van het slib uit het circulatie patroon kwijtraakt terwijl de hoeveelheid slib in het mariene troebelheidsmaximum niet afneemt maar eerder toeneemt (Belgisch Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu, 1990), dan raakt het zogenaamde bijna gesloten systeem continu verontreinigd slib kwijt dat continu wordt aangevuld met (waarschijnlijk relatief schoon marien) slib van elders (zie probleem sectie 2.5). Het systeem is dan weliswaar bijna gesloten op korte termijn, maar op lange termijn (b.v. één of enkele jaren) wordt misschien al het verontreinigde slib in het troebelheidsmaximum vervangen door schoner slib van elders. Het circulatiesysteem is daarmee dan een netto bron van verontreinigingen geworden.

Dat het proces van slibcirculatie voor de Belgische kust veel dynamischer in elkaar steekt dan het concept van rondpompen doet vermoeden, blijkt wel uit het feit dat slechts 10% van de tracer door Malherbe op de oorspronkelijke baggerlokaties wordt teruggevonden. De rest van het gelabelde slib verspreidt zich na storting over een oppervlak van meer dan 1000 km² (Malherbe, 1991).

Gezien het feit dat (1) de convergentiezone van residuele slibtransporten na de havenuitbreiding van Zeebrugge noordwaarts van Zeebrugge is gelegen (Malherbe, 1991) en (2) het netto slibtransport langs de Belgisch-Nederlandse kust vanuit het Kanaal en de Vlaamse Banken in noordwaartse richting optreedt (Van Alphen, 1990), is het waarschijnlijk dat de geulen en havens bij Zeebrugge, na te zijn uitgebaggerd, voor een groot deel opnieuw worden gevuld met relatief

schoon marien slib vanuit het zuiden.

In bovenstaande is alleen ingegaan op het mogelijke 'weglekken' van verontreinigd slib vanuit de Belgische kustzone richting Westerschelde. Hoewel buiten de strekking van deze notitie, moet bij de problematiek van het storten van baggerspecie ook gekeken worden naar het mobiliseren van verontreinigingen vanuit de particuliere naar de opgeloste fase. Het gedrag van slib voor de Belgische kust zegt dus niet alles over het effect van speciéstortingen voor de kwaliteit van de Westerschelde. Zelfs al zou al het gestorte slib binnen het circulatiepatroon gevangen blijven, dan nog zal het storten van verontreinigde specie via desorptie van verontreinigingen de kwaliteit van de Westerschelde beïnvloeden. Als voorbeeld dient het cadmiumgehalte in de Westerscheldemonding. De SAWES onderzoekers (Rijkswaterstaat, 1989) constateren verhoogde cadmiumconcentraties in de Westerscheldemonding maar relateren dit niet aan de Belgische speciéstortingen omdat de cadmiumconcentraties niet nauw gecorreleerd zijn met het zwevend stofgehalte. Echter het slib uit de haven van Zeebrugge is met name sterk verontreinigd met cadmium (Belgisch Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu, 1990) en van de zware metalen heeft met name cadmium een hoge desorptiecapaciteit (Förstner en Wittmann, 1983).

Tabel 1. Hoeveelheden gestort slib voor de Belgische kust in het jaar 1988-1989.

Stortlokatie	Herkomst	Hoeveelh (*10 ³ m ³)	specie	Droge dichtheid % (ton/m ³)	% < 63 µm	Hoeveelh slib (*10 ³ ton)
Sl+S2+R4+	geulen	4400		0.9377	66	4957
Zeebr.oost		4200		0.9377	49	
		1800		0.9377	18	
	haven Zeebr	3500		0.9377	60	6982
		8100		0.9377	66	
					totaal	11939
Westende+	geulen	81		1.3601	0	250
Oostende+		515.5		1.689	24	
Blankenberge+		129		1.689	19	
Lombartsijde havens		539		0.9377	62	742
		1669		0.3262	72	
		37.5		0.9377	40	
		31.5		0.9377	77	
					totaal	992

2.7. SANERING ZEESCHELDE

Samenvatting probleem: *'Het is onduidelijk of een sanering van huishoudelijke en industriële slibblozingen op Belgisch grondgebied, zonder sanering van de onderwaterbodem in de Zeeschelde, op korte termijn zal resulteren in een lager fluviatiel slibtransport over de Belgisch-Nederlandse grens. De grootte van de nalevering van slib uit de onderwaterbodem kan op dit moment niet worden ingeschat.'*

Toelichting probleem: Een deel van de fluviatiele slibbelasting op het Schelde estuarium is van huishoudelijke en industriële herkomst. Sanering van deze slibbronnen zou de hoeveelheid fluviatiel slib die de Westerschelde binnenkomt, moeten doen afnemen en de kwaliteit van dit slib moeten doen toenemen. De vraag is of op relatief korte termijn na sanering, op Nederlands grondgebied een verbetering van de fluviatiele slibbelasting merkbaar is. Het is namelijk te verwachten dat de geulbodem van de Zeeschelde verontreinigd slib blijft naleveren. De grootte van deze nalevering, en daarmee de noodzaak tot sanering van de onderwaterbodem, verdient nadere aandacht.

Een eerste afschatting van het probleem is gemaakt door Langerak (1989). Als de onderwaterbodem niet zou worden gesaneerd, duurt het volgens de aannames van Langerak 30 tot 80 jaar voor er enige verandering op Nederlands grondgebied merkbaar is. Echter deze prognose is gebaseerd op nogal ruwe aannames. Langerak hanteert een actieve bodemlaag van 1-2 m en komt, uitgaande van 40% slib (beleidsplan 1989), op een actieve buffervoorraad van $\pm 10 \cdot 10^6$ ton slib. Dit is m.i. veel te veel. Van Maldegem (1992) berekent een slibbuffer voor het hele estuarium van $40 \cdot 10^6$ ton slib en geeft aan dat deze slibbuffer vrijwel in zijn geheel op Nederlands grondgebied ligt. Uit de figuren gepresenteerd door Van Maldegem kan worden afgeleid dat de slibbuffer in de Zeeschelde hooguit $1 \cdot 10^6$ ton bedraagt. Dit lagere getal is deels het gevolg van een kleinere actieve bodemlaag (1 m) maar wordt voor het grootste deel veroorzaakt door het feit dat de bodemslibgehalten in de Beneden Zeeschelde over het algemeen veel lager (<10%) zijn dan door Langerak wordt aangenomen (40%). Waarschijnlijk is zelfs het getal van Van Maldegem aan de hoge kant aangezien het begrip actieve bodemlaag feitelijk alleen betrekking heeft op de lokaties waar gebaggerd wordt. Dit zijn de drempels in de vaargeul en de toegangsgeulen van de zee-sluizen naar de haven van Antwerpen. Het overgrote deel van de geul heeft een stabiele bodem waar weliswaar door stroming wel wat materiaal erodeert en weer sedimenteert, maar dit mag niet worden uitgedrukt in een actieve bodemlaag van

1 m.

Uit bovenstaande redenering kan worden opgemaakt dat een substantiële reductie van de fluviatiele slibbelasting waarschijnlijk veel sneller op de grens tussen België en Nederland merkbaar is in de vorm van lagere slibconcentraties dan door Langerak (1989) is geschat. Overigens moet worden opgemerkt dat de maximale reductie van de fluviatiele slibbelasting door sanering van de huishoudelijke en industriële lozingen waarschijnlijk veel lager is dan tot op heden is aangenomen. Uit een recente Belgische studie (verwerkt in notitie GWAO-92.841X) blijkt dat de bijdrage van erosie van landbouwgronden e.d. aan de fluviatiele slibbelasting veel groter is dan eerdere schattingen (D'Hondt en Jacques, 1982) aangaven zodat slechts 15-39% van de fluviatiele slibbelasting organisch is.

2.8. SWEEPBEAM BAGGEREN TOEGANGSGEULEN HAVEN ANTWERPEN

Samenvatting probleem: 'De hoeveelheid slib die middels de sweepbeam vanuit de toegangsgeulen in de Zeeschelde wordt geschoven, is waarschijnlijk zo groot ten opzichte van de hoeveelheid slib die in de hoofdgeul wordt gebaggerd, dat deze baggermethode periodiek mogelijk voor sterk verhoogde slibconcentraties in de hoofdgeul zorgt. Hierdoor wordt wellicht meer verontreinigd slib vanuit de Zeeschelde naar de Westerschelde getransporteerd.'

Toelichting probleem: Schattingen van het effect van baggeren op de slibconcentratie in suspensie worden in principe gebaseerd op de hoeveelheid baggerwerk. Bij de sweepbeam (ploeg) methode wordt het slib niet opgebaggerd maar verplaatst. Over deze activiteit zijn dus geen statistieken beschikbaar zodat de impact van dit ploegen op de slibopwerveling niet is gekwantificeerd.

Toch kan een indruk worden verkregen van de hoeveelheid slib die met dit ploegen gepaard gaat. De toegangsgeul tot de Kallosluis is in de periode 1983-1986 ieder jaar gebaggerd (Gemeenschapsministerie van het Vlaamse Gewest, 1990). Tabel 2 laat zien dat het volume specie gebaggerd uit deze toegangsgeul weliswaar niet schikbarend groot is, maar dat het gewicht aan gebaggerd slib, uitgaande van 100% slib, de baggergetallen voor de Zeeschelde ver overtreft. En dan gaat het hier nog maar om één van de sluizen. Volgens de rapportage van het Gemeenschapsministerie van het Vlaamse Gewest (1990) onderhoudt de drukke scheepvaart de diepte in de andere toegangsgeulen grotendeels.

Het mogelijke effect van het ploegen in alle toegangsgeulen tesamen dient te

worden onderzocht. Dit materiaal wordt in de hoofdgeul door de stroming verplaatst. Gezien de zeer lage consolidatiegraad van dergelijk materiaal zal waarschijnlijk al in de toegangsgeulen resuspensie optreden, al beweert het Gemeenschapsministerie van het Vlaamse Gewest (1990) dat het ploegen zonder noemenswaardige opwoeling gepaard gaat.

De keuze voor ploegen in plaats van baggeren met een sleepzuiger is waarschijnlijk gebaseerd op het zo min mogelijk hinderen van de scheepvaart. Bij het opstellen van een scenario voor sanering van de slibhuishouding voor de Zeeschelde verdient de optie van baggeren in de toegangsgeulen aandacht. Deze toegangsgeulen zijn namelijk ideale slibvangen waar het slib in zijn meest pure vorm, en daarmee de verontreiniging het sterkst geconcentreerd, terecht komt. Definitieve onttrekking van de specie uit de toegangsgeulen en berging aan land levert waarschijnlijk een zeer efficiënte bijdrage aan de sanering van de slibhuishouding van het Schelde estuarium. De huidige plannen ten aanzien van het sweepbeam baggeren sluiten hier op aan: de eerstkomende 2 jaar wordt niet geploegd, maar wordt het slib aan het systeem onttrokken. Er wordt gewerkt aan een definitieve bergingslokatie voor dit slib.

Tabel 2. Hoeveelheden gebaggerd slib in Beneden Zeeschelde en de toegangsgeul naar de Kallosluis. De data zijn ontleend aan Gemeenschapsministerie van het Vlaamse Gewest (1990).

Lokatie	Periode	Gebaggerd volume (*10 ⁵ m ³ jr ⁻¹)	Slib-%	Dichtheid (ton m ⁻³)	Gebaggerd gewicht (*10 ⁵ ton jr ⁻¹)
Zeeschelde	1981-1989	19.2	5	1.35	1.30
Zeeschelde	1981-1989	5.0	40	1.625	3.25
Kallosluis	1983-1986	5.4	100	1.625	8.78

2.9. SLIBBERGING LAND VAN SAEFTINGE

Samenvatting probleem: 'Doordat beschikbare informatie ontoereikend is voor de vaststelling van het al dan niet volraken van het Land van Saeftinge met sediment (zand en slib), kan het toekomstig belang van het Land van Saeftinge als 1) waardevol dynamisch schorgebied en 2) slibput binnen de slibbalans van het hele estuarium, op dit moment niet goed worden ingeschat.'

Toelichting probleem: Het Land van Saeftinge bestrijkt een dusdanig groot oppervlak binnen het Schelde systeem dat de slibaccumulatie in dit gebied belangrijk is voor de slibhuishouding van het estuarium. Schorren hebben niet

het eeuwige leven. Er komt een moment, meestal na zo'n honderd jaar, dat de schorren dusdanig zijn opgehoogd dat de overstromingsfrequentie sterk gaat afnemen: de schorren verlanden.

Afgaande op indrukken van verschillende onderzoekers die het Land van Saeftinge goed kennen, ziet het er naar uit dat de schorren in dit gebied de verlandingsfase zijn ingegaan. Op zich is dit een onvermijdelijk natuurlijk proces, ware het niet dat de snelheid van de verlanding waarschijnlijk sterk is toegenomen door het decennia lang storten van baggerspecie nabij Saeftinge west (lokatie Konijneschor). Dit storten heeft de morfologie en textuur van de overgang tussen schor en slik van het westelijke deel van Saeftinge duidelijk beïnvloed (Houtekamer, 1991).

Volgens Van Eck en Van Maldegem (1990) is niet alleen het gedeelte nabij de stortlokatie maar het Land van Saeftinge in zijn geheel sterk beïnvloed door de speciéstortingen. Zij leggen een verband tussen de veranderingen in de stortstrategie sinds 1930 en (1) veranderingen in de komberging van het schorsysteem en (2) de accumulatiesnelheid van de schorren volgens ^{210}Pb bepalingen, en concluderen dat de stortactiviteiten ter hoogte van Saeftinge invloed hebben (gehad) op de snelheid van slibafzetting in dit gebied.

Bij deze conclusie moeten enkele kanttekeningen worden geplaatst. De conclusie dat het verloop van ^{210}Pb met de diepte in sediment cores van schorren in dit gebied veranderingen laat zien die zijn te koppelen aan veranderingen in de stortstrategie, wordt door mij niet gedeeld. Het aantal ^{210}Pb bepalingen per core is te gering voor een dergelijke conclusie. Sterker nog, in de oorspronkelijke rapportage over de ^{210}Pb resultaten wordt juist gesproken van een regelmatige sedimentatie (Berger en Eisma, 1988). De hypothese dat veranderingen in komberging kunnen worden gerelateerd aan veranderingen in de stortstrategie is goed te onderbouwen. Echter, een verdergaande interpretatie als zou een sterkere afname in komberging gelijk zijn aan een versnelde ophoging van schorren, hetgeen door Van Eck en Van Maldegem (1990) wordt gesuggereerd, is op zijn minst voorbarig. De gestorte specie is relatief grof van samenstelling. Als dit materiaal het schorsysteem wordt ingevoerd, zal het met name accumuleren in geulen (/geuluiteinden) en op oeverwallen. Het materiaal is te grof om de kommen van het systeem, waar het minder snel stroomt, te bereiken. Dit zou betekenen dat met name de geulen en oeverwallen sterk omhoog komen en de overstromingsfrequentie sterk afneemt, wat leidt tot de geconstateerde afname in komberging en een verlandende vegetatie. Deze redenering geeft aan dat de kommen (verreweg het grootste deel van het schorsysteem) mogelijk nog veel meer slib zouden kunnen bergen maar dat een onnatuurlijk snelle ophoging

van geulen en oeverwallen dit verhindert. Een stelling als 'het Land van Saeftinge zit vol!' is met beschikbare gegevens niet hard te maken.

De hypothese dat de opvulling van het Land van Saeftinge zich concentreert rond de kreken levert een goede verklaring voor het feit dat uitgaande van veranderingen in komberging een veel hogere accumulatiesnelheid voor het schor wordt berekend (2.6 cm jr^{-1}) dan op basis van coreanalyses en waterpassingen (Ten Brinke, 1992). De hypothese wordt ondersteund door recente bodemgegevens van het gebied die wijzen op een sterk kleiige textuur van de kommen (Stikvoort, 1992), hetgeen goed is te rijmen met de gedachte dat de zandige baggerspecie accumuleert in geulen en op oeverwallen. Het is duidelijk dat de problematiek van het Land van Saeftinge meer onderzoek vereist vooraleer aan maatregelen gedacht kan worden. Misschien blijkt uit vervolgonderzoek dat met het efficiënt baggeren van geulen en afgraven van oeverwallen een mooi natuurgebied voor decennia behouden kan blijven!

Vermoedelijk is het belang van Saeftinge voor de slibbalans van het estuarium veel minder groot dan tot op heden werd gedacht. In deelrapport 1 (notitie GWA0-92.841X) is een slibberging berekend van $(10-15) \cdot 10^4 \text{ ton jr}^{-1}$. Dit is aanmerkelijk minder dan in het Beleidsplan Westerschelde (1989) is aangenomen ($41 \cdot 10^4 \text{ ton jr}^{-1}$). Het verschil wordt veroorzaakt door een verschil in de aangenomen dichtheid van het schorsediment. In het Beleidsplan is deze geschat en in deelrapport 1 is deze ontleend aan onderzoek in de Oosterschelde.

2.10. CONCENTRATIE GESUSPENDEERD SLIB

Samenvatting probleem: 'Doordat niet bekend is welke processen in welke mate de slibconcentratie in het Schelde estuarium bepalen, kan de invloed van baggeractiviteiten en eventuele saneringen op de slibconcentratie en daarmee het slibtransport niet worden gekwantificeerd. Tevens is onduidelijk in welke mate de afname van natuurlijke mogelijkheden voor slibsedimentatie (b.v. door het veronderstelde volraken van het Land van Saeftinge) wordt weerspiegeld in een verhoging van de troebelheid'

Toelichting probleem: De slibconcentratie in een estuarium hangt af van vele processen: variaties binnen het getij, doodtij-springtij cyclus, golfklimaat (stormen), watertemperatuur (effect viscositeit op valsnelheid slibvlokken), invloed organische stof op flocculatie, biologische factoren (filterfeeding, bioturbatie), menging fluviaal-marien slib in relatie tot dichtheidstroming,

locale bronnen/putten van slib, allerlei ruimtelijke effecten als vloed- en ebscharen, baggeren en storten, scheepvaart. En wellicht vergeet ik dan nog het een en ander. Het zal duidelijk zijn dat het effect van baggeren en storten op de slibconcentratie in het water niet zo eenvoudig is te bepalen. Voor de Westerschelde is dit nog niet gelukt (Van Maldegem en Storm, 1990). Voor het Eems estuarium is wel een verband gevonden tussen de baggeractiviteit en het slibgehalte in suspensie (De Jonge, 1983). Het is echter maar de vraag of de resultaten voor de Eems ook van betekenis zijn voor de Westerschelde. Uit het onderzoek van De Jonge blijkt dat niet het baggeren zelf de slibconcentratie in de Eems beïnvloedt (De Jonge vindt ook geen relatie tussen gebaggerd volume en slibgehalte), maar dat het baggeren de slibconcentratie indirect heeft beïnvloed doordat met het baggeren het evenwicht werd verstoord tussen morfologie en stromingspatroon (De Jonge vindt een relatie tussen lengte baggerwerk, lees: omvang morfologische verstoring, en slibconcentratie). Het is dus de verandering in de morfologie en niet het baggeren waardoor de slibconcentratie in de Eems is toegenomen. Bovendien is de verandering in de slibconcentratie in de Eems over de onderzochte periode veel groter (tot 100% toename) dan in de Westerschelde over de periode 1969-1990 (Van Maldegem en Storm, 1990).

Voor zover een eventuele relatie tussen het slibgehalte in de Westerschelde en het baggerwerk überhaupt kan worden vastgesteld, dient dit te gebeuren voor het westelijke deel van de Westerschelde. In het oostelijke deel en de Zeeschelde drukken variaties in zoetwaterafvoer een te grote stempel op de slibconcentraties, waarvoor niet goed kan worden gecorrigeerd (De Jonge heeft zijn onderzoek ook zeewaarts en buiten het bereik van het troebelheidsmaximum uitgevoerd). De Westerschelde monding is bovendien een geschikt gebied voor deze oefening omdat het baggerwerk hier sinds de zestiger jaren sterk is toegenomen terwijl voor de rest van het estuarium geen duidelijke trend in het baggerwerk optreedt (Van Maldegem en Storm, 1990).

In de afgelopen decennia zou de troebelheid van het water in het Schelde estuarium sterk zijn toegenomen door een drastische vermindering van het oppervlak aan natuurlijke sedimentatiegebieden. Het eventueel volraken van het Land van Saeftinge zou hier in de toekomst nog een schepje bovenop kunnen doen. Als het systeem zijn slib niet meer kwijt kan, nemen de slibgehalten in het water toe en zal de fractie van de fluviaatiele slibbelasting die naar de zee wordt gevoerd, toenemen. De waarschijnlijk vrij grote export van fluviaatiele slib die in notitie GWA0-92.841X (Ten Brinke, 1992) is berekend, wijst mogelijk in deze richting. Van Maldegem en Storm (1990) geven aan dat het

slibgehalte in het Westerschelde water over de periode 1970-1990 mogelijk met $\pm 1 \text{ mg l}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ is toegenomen. Deze toename houdt mogelijk verband met een toename van de Schelde afvoer in genoemde periode (Van Maldegem en Storm, 1990).

2.11. VERBLIJFTIJD SLIB

Samenvatting probleem: 'De verblijftijd van slib in suspensie in een estuarium hangt af van de snelheid waarmee fluviatiel en marien slib door het estuarium worden getransporteerd, de efficiëntie waarmee de gravitatiecirculatie slib in het troebelheidsmaximum ingevangen houdt, en de grootte van de slibuitwisseling tussen water en bodem. Het probleem van de nalevering van verontreinigd slib vanuit de bodem na een sanering van de fluviatiele slibbelasting moet bezien worden vanuit het totaal aan processen dat de verblijftijd van slib beïnvloedt. Het huidige concept waarbij wordt gekeken naar de bodemlaag die, uitgaande van een bepaalde ribbelhoogte, periodiek wordt omgewerkt, is een te simpele benadering.'

Toelichting probleem: Twee kernvragen in de Westerschelde, die al binnen het kader van SAWES zijn geformuleerd, zijn: (1) Hoelang blijft het slib in het estuarium en (2) Hoe groot is de uitwisseling van slib tussen water en bodem. Hoewel ogenschijnlijk verschillende problemen, zijn deze 2 vragen nauw aan elkaar gekoppeld. Vraag (2) maakt onderdeel uit van vraag (1); de grootte van de slibuitwisseling tussen water en bodem bepaalt mede de verblijftijd van slib in het estuarium. Onderzoek naar de verblijftijd van slib in de Westerschelde is van groot belang met het oog op de nalevering van verontreinigd slib vanuit de bodem na een sanering van de fluviatiele slibbelasting. Deze nalevering vanuit de bodem hangt af van de snelheid waarmee en de diepte waarover de bodem wordt omgewerkt. Dit concept is verwerkt in de slibbalans van de Westerschelde (Van Maldegem, 1991). Echter, uit dit concept van de actieve bodemlaag kunnen niet zonder meer conclusies worden getrokken over de ontwikkeling van de kwaliteit van het gesuspendeerde slib. Onderzoek naar de bodemwater uitwisseling moet deel uitmaken van een groter onderzoek naar het gedrag van slibdeeltjes in het estuarium. Een dergelijk onderzoek moet zich richten op de modellering van het gedrag van slib in het menggebied van zout en zoet water, de wijze waarop het slib vanuit zee het estuarium in wordt getransporteerd, en de wijze waarop en mate waarin fluviatiel slib buiten de invloedssfeer van de gravitatiecirculatie wordt getransporteerd en naar zee verdwijnt.

2.12 SLIBACCUMULATIE HAVENS

Samenvatting probleem: 'De periodieke belasting van de Westerschelde met verontreinigd slib uit havens langs de Westerschelde is onvermijdelijk en vraagt om een beleid waarbij deze belasting minimaal is. Twee beleidsopties dienen zich aan: (1) terugdringen verontreinigingsgraad slib en (2) baggeren en storten op het moment dat dit het minst kwaad kan.'

Toelichting probleem: Slibsedimentatie in havens is onvermijdelijk. De havens worden periodiek uitgebaggerd waarbij het slib in de geul voor de havenmond wordt gedumpt. Voor de havens langs de Westerschelde gaat het om relatief kleine hoeveelheden. Het probleem zit in de relatief sterke verontreinigingsgraad van het slib. Deze verontreiniging is een probleem dat elders in het estuarium, op een ander schaalniveau, speelt. Strikt genomen, horen de havens niet in het rijtje met slibproblemen en kennislacunes ten aanzien van het Schelde estuarium thuis. Dat het baggeren in havens hier toch wordt besproken als toekomstig aandachtspunt, heeft alles te maken met verstandig beleid ten aanzien van het noodzakelijke baggerwerk.

Centraal uitgangspunt bij het baggerwerk zou m.i. moeten zijn de kwaliteit van de specie ten opzichte van het materiaal in suspensie in de geul waar het slib gestort gaat worden. De kwaliteit van gesuspendeerd slib is geen constante factor maar varieert met de verhouding marien-fluviatiel slib als gevolg van variaties in de Schelde afvoer. In de loop van het jaar zijn er dus momenten die beter cq minder goed geschikt zijn voor het storten van specie. Bij zeer lage Schelde afvoer, over het algemeen de tweede helft van het jaar, bestaat het gesuspendeerde slib in de Westerschelde uit relatief veel marien materiaal, is relatief schoon, waardoor speciéstortingen de waterkwaliteit op dat moment sterker beïnvloeden dan het geval zou zijn bij hoge Schelde afvoer. Bovendien zouden bij het storten van specie de maanden vermeden kunnen worden waarin veel slib op de intergetijdegebieden accumuleert. Hier dient het belang van een goede slibbalans op kwartaalbasis (Ten Brinke, 1992) als instrument voor het plannen van ingrepen/activiteiten in het systeem zich aan. Bij het plannen van het baggeren van sterk verontreinigd slib zou ook gekeken kunnen worden waarom de verontreinigingsgraad relatief hoog uitvalt: door een relatief grote bijdrage van fluviatiel slib of door een relatief fijne textuur als gevolg van deeltjesgrootte selectie (hoe verder de haven in, hoe fijner het sediment, hoe groter de adsorptiecapaciteit voor verontreinigingen). Als de verontreinigingsgraad een gevolg is van deeltjesgrootte selectie bij het tran-

sport de haven in, dan wijkt het materiaal na storting en resuspensie misschien nauwelijks af van het fijnste slib in suspensie en is de momentane verslechtering van de waterkwaliteit wellicht minimaal.

3. DEFINITIE ONDERZOEKSVRAGEN

3.1. Inleiding: drie typen problemen

Op basis van het overzicht van de slibproblemen in het estuarium kunnen nu onderzoeksvragen worden opgesteld. Het brede scala van probleemvelden in voorgaand hoofdstuk bevat, naast problemen die door een gebrek aan data voorlopig niet kunnen worden aangepakt, problemen die vragen om praktisch of inhoudelijk onderzoek (tabel 2). Problemen worden in tabel 2 als praktisch aangeduid als zij om concrete, kortlopende onderzoeksinspanningen vragen. De inhoudelijke problemen vragen om langjarig wetenschappelijk onderzoek, uitgedrukt in twee clusters (— en ===) welke overeenkomen met twee onderzoeksvoorstellen (hoofdstuk 4).

Tabel 2. De slibproblemen in het Schelde estuarium onderverdeeld naar onderzoeksaanpak (— wetenschappelijk onderzoek 1, === wetenschappelijk onderzoek 2)

Nog niet aan te pakken	Praktische problemen	Inhoudelijke problemen
.De tijdsafhankelijkheid van de slibbalans .De input van fluviatiel slib .Netto slibuitwisseling met de Noordzee .Slibaccumulatie havens	.Sweepbeam baggeren toegangsgeulen haven Antwerpen .Slibberging Land van Saeftinge	.Menging marien-fluviatiel slib .Bruto slibuitwisseling met de Noordzee .Recirculatie slib in marien troebelheidsmaximum Belgische kust .Verblijftijd slib
		.Sanering Zeeschelde .Concentratie gesuspendeerd slib

3.2. Voorlopig nog niet aan te pakken problemen:

Vier van de problemen uit tabel 2 zijn constatering van een gebrek aan kennis zonder dat een mogelijke aanpak van deze lacune voorhanden is. De problemen 'tijdsafhankelijkheid slibbalans' en 'input fluviatiel slib' zullen lacunes blijven omdat bepaalde data niet voldoende frequent of gedetailleerd beschikbaar zijn. Het probleem 'netto uitwisseling met Noordzee' kan alleen worden aangepakt via de aanpak van met name het inhoudelijke probleem 'menging

marien-fluviatiet slob'. Het probleem 'aanslibbing havens' is geen onderzoeks-
maar een beleidsprobleem.

3.3. Praktische problemen:

Uit de 2 praktische problemen in tabel 2 volgen onderstaande onderzoeksvra-
gen:

1) Sweepbeam baggeren toegangsgeulen haven Antwerpen: Hoe groot is de resus-
pensie van slob bij het sweepbeam baggeren, waar vindt deze resuspensie plaats
(in de toegangsgeulen tijdens het baggeren of in de hoofdvaargeul door het
getij), over welke afstand en gedurende welke tijdsduur is deze invloed merk-
baar, en hoe groot is de hoeveelheid geresuspendeerd slob gemiddeld over ruim-
te en tijd ten opzichte van de totale hoeveelheid slob die in het troebel-
heidsmaximum in beweging is?

2) Slobberging Land van Saeftinge: In welke mate is de afname van de komber-
ging van 'het Land van Saeftinge' versneld door het storten van baggerspecie?
Is deze afname het gevolg van (a) het, eventueel versneld, opslibben van de
kommen, of (b) het onevenredig snel verzanden van de kreken en ophogen van de
oeverwallen als gevolg van de grote kunstmatige toevoer van grof sediment?

3.4. Inhoudelijke problemen:

Uit de 6 inhoudelijke problemen in tabel 2 volgen onderstaande onderzoeks-
vragen:

1) Menging marien-fluviatiet slob: Op basis van welke tracers en op basis van
welke monsters (bodem of suspensie) kan de menging van marien en fluviatiet
slob het beste worden gekwantificeerd, en hoe varieert deze menging met de
Schelde-afvoer en het getijdebiet (doodtij-springtij cyclus)?

2) Bruto slobuitwisseling met de Noordzee: Hoe groot is de bruto slobuitwisse-
ling tussen Schelde estuarium en de Noordzee, en waar (op Noordzee cq Schelde
estuarium) liggen de bronnen en putten van dit slob?

3) Recirculatie slob in marien troebelheidsmaximum Belgische kust: Welk deel

van het slib, gestort op de stortlokaties voor de Belgische kust, dringt de Westerschelde binnen en hoe varieert dit 'lekverlies' naar de Westerschelde met het getij (doodtij-springtij, eb-vloed) en de afvoer van de Schelde? Hoe verplaatst het mariene troebelheidsmaximum voor de Belgische kust zich afhankelijk van het getij en de Schelde afvoer? Hoe groot is de bruto import van verontreinigd baggerslib in de Westerschelde ten opzichte van de totale bruto slibuitwisseling tussen Westerschelde en Noordzee?

4) Sanering Zeeschelde: Het vraagstuk van de sanering van de Zeeschelde spitst zich toe op de grootte-verhouding van twee slibbronnen: (1) huishoudelijk en industrieel slib, en (2) de onderwaterbodem. Twee vragen spelen een rol: (1) hoeveel slib levert de onderwaterbodem per tijdseenheid ten opzichte van de slibinput vanuit huishoudens en industrie?, en (2) hoe groot is de actieve slibbuffer in de onderwaterbodem, m.a.w. wanneer is de bron van verontreinigd slib in de onderwaterbodem opgedroogd? Met betrekking tot dit laatste aspect speelt de ruimtelijke variatie een grote rol: de actieve bufferlaag beperkt zich met name tot de geuldelen waar gebaggerd wordt.

5) Concentratie gesuspendeerd slib: Kan de invloed van specifieke menselijke activiteiten (baggeren, sanering sliblozingen) op de slibconcentratie in het water worden vastgesteld? Zo ja, (1) leidt baggeren tot een significante verhoging van de slibconcentratie in het water, (2) wordt een eventuele afname van natuurlijke mogelijkheden voor slibsedimentatie weerspiegeld in een verhoging van de troebelheid?, en (3) zal een sanering van de fluviatiele slibbelasting op Belgisch grondgebied merkbaar zijn in de slibconcentraties van de Westerschelde?

6) Verblijftijd slib: Hoelang is de verblijftijd van slib in het Schelde estuarium en hoe varieert deze verblijftijd in longitudinale richting?

4. PLAN VAN AANPAK TOEKOMSTIG ONDERZOEK

Met een gericht meetprogramma kan op korte termijn antwoord gegeven worden op de 2 praktische onderzoeksvragen uit voorgaand hoofdstuk. Het meetprogramma is daarom in detail uitgewerkt.

4.1. Praktisch onderzoek:

1) Sweepbeam baggeren toegangsgeulen haven Antwerpen: Het effect van sweepbeam baggeren op de opwerveling van slib kan worden bepaald door tijdens het baggeren op enkele lokaties nabij het baggerwerk de slibconcentratie te meten, zowel bovenstrooms als benedenstrooms van het baggerwerk. Minstens 4 meetschepen zijn nodig: 2 in de toegangsgeul en minstens 2 in de hoofdgeul.

In de toegangsgeul moet één schip op de overgang tussen toegangsgeul en hoofdgeul de verhoging door baggeren meten terwijl één schip aan de landwaartse zijde de achtergrond concentratie meet. De schepen meten op vaste posities op meerdere niveau's in de vertikaal met bijzondere aandacht voor de laag nabij de bodem. Gezien het ongeconsolideerde karakter van het te ploegen slib zal een deel als fluid mud over de bodem van de toegangsgeul de hoofdgeul in glijden. De fluid mud kan gedetecteerd worden door op beide schepen (of in ieder geval het schip op de overgang tussen toegangsgeul en hoofdgeul) permanent een echolood met twee frequenties (210 en 33 kHz) te laten registreren. De schepen in de hoofdgeul moeten varende meten (scannen) en periodiek stil liggen om een concentratievertikaal te meten. De schepen moeten scannen over een gebied dat deels stroomop- en deels stroomafwaarts van de ingang naar de toegangsgeul is gelegen. In de hoofdgeul zijn twee schepen nodig om het vrij grote gebied frequent te kunnen scannen. Indien nog een echolood met twee frequenties beschikbaar is, of misschien zelfs de Roxann (Chivers et al., 1990), dient deze op het schip dat stroomafwaarts scant te worden ingezet.

De slibopwerveling zal slechts korte tijd meetbaar zijn. Omdat het sweepbeam baggeren slechts tijdens eb wordt uitgevoerd, zal de meting hooguit 6 uur duren. Het verdient aanbeveling om de meting 2 keer uit te voeren, bijvoorbeeld één keer tijdens dood- en één keer tijdens springtij. Een en ander hangt uiteraard af van de activiteiten van Belgische zijde. Samenwerking met België is uiteraard noodzakelijk.

Aan meetinspanning zal deze studie naar schatting 8 bootdagen vergen. Er van uitgaande dat troebelheidsmeters worden gebruikt en per troebelheidsmeter ± 30 ijkmonsters worden genomen, betekent dit voor het laboratorium een totaal van

± 240 zwevende stof monsters.

2) Slibberging Land van Saeftinge: Voor de aanpak van de problematiek m.b.t. het opvullen van het Land van Saeftinge worden 3 onderzoeksacties voorgesteld: (1) isotopenanalyses aan cores uit de kleiige kommen, (2) studies aan sedimentaire structuren in dwarsdoorsneden van oeverwallen, en (3) een studie naar de ruimtelijke variatie in het vullen en ledigen van het Land van Saeftinge in relatie tot gedetailleerde hoogtebepalingen van het gebied, textuuranalyses en de ligging van de stortlokatie voor baggerspecie.

(1) *isotopenanalyses*: Het verloop van de accumulatiesnelheid van het schor gedurende de afgelopen 50-60 jaar moet worden bepaald via ^{210}Pb voor enkele lokaties binnen het Land van Saeftinge. Als de opslibbingssnelheid van de schorren is toegenomen door het storten van specie bij het Konijneschor (Saeftinge west), dan moet dit blijken uit het verloop van ^{210}Pb met de diepte. Bij een constante opslibbingssnelheid verloopt de logaritme van ^{210}Pb met de diepte volgens een rechte lijn waarbij de richtingscoëfficiënt van deze lijn een maat is voor de opslibbingssnelheid. Als het storten van baggerspecie sinds de jaren zestig de opslibbingssnelheid van het schor heeft beïnvloed, dan moet dit blijken uit een ander verloop van ^{210}Pb met de diepte (een andere richtingscoëfficiënt) sinds het begin van de zestiger jaren.

Uit eerdere bepalingen aan 2 cores van Saeftinge (Berger & Eisma, 1988) kan geen trendbreuk worden afgeleid. Het is echter de vraag of deze bepalingen kunnen worden gebruikt bij een studie naar het mogelijke effect van specie-stortingen. Het aantal ^{210}Pb bepalingen per core is veel te gering (10 per core) terwijl bovendien niet gecorrigeerd is voor textuur en organische stof effecten op de ^{210}Pb adsorptie (Robbins and Edgington, 1975; Eisma et al., 1989).

Het is essentieel om opnieuw enkele cores te steken en hieraan ^{210}Pb bepalingen, gecombineerd met ^{137}Cs , te laten uitvoeren. Deze cores moeten tot 1,5 meter diep worden gestoken omdat de diepste monsters minstens ruwweg 100 jaar oud moeten zijn (hieruit wordt de hoeveelheid zogenaamd 'supported' ^{210}Pb bepaald) en de opslibbingssnelheid van Saeftinge maximaal $1,5 \text{ cm jr}^{-1}$ bedraagt. De periode van 30 jaar na begin stortingen (periode 1960-1990) moet worden vergeleken met een ongeveer evenlange periode vóór begin stortingen (1930-1960). De bovenste 90 cm moet dus gedetailleerd worden bestudeerd, terwijl voor de zone tussen 90 en 150 cm met minder detail (minder monsters per diepteinterval) kan worden volstaan. Per core moeten 20 ^{210}Pb bepalingen worden uitgevoerd, 8 in de zone 0-45 cm diepte, 8 in de zone 45-90 cm diepte en 4 in

de zone 90-150 cm diepte. Naast de ^{210}Pb (en eventueel ^{137}Cs) activiteit moeten de textuur en het aluminium gehalte worden bepaald. Het aluminium gehalte moet worden gebruikt om de ^{210}Pb activiteit te corrigeren voor textuur en organische stof effecten bij de adsorptie van ^{210}Pb . Aluminium adsorbeert net als ^{210}Pb bij voorkeur aan de fijnste deeltjes en organische stof. Door het ^{210}Pb gehalte per monster steeds te delen door het Al gehalte van het bewuste monster zijn de ^{210}Pb waarden onafhankelijk van de sedimentsamenstelling en daardoor onderling vergelijkbaar. Aluminium is voor deze correctie geschikt omdat het element, net als ^{210}Pb , niet door de mens in het Schelde estuarium wordt gebracht.

De ^{210}Pb bepalingen leveren niet alleen een antwoord op de vraag of stortingen van baggerspecie de opslibbingssnelheid hebben beïnvloed, maar kunnen ook duidelijk maken of de slibberging binnen het Land van Saeftinge de laatste jaren aan het afnemen is. Dit zou moeten blijken uit een geleidelijke verandering in het verloop van ^{210}Pb met de diepte over pakweg de bovenste 10 cm.

Voor een optimale aanpak van de problematiek m.b.t. Saeftinge zijn 4 cores noodzakelijk, verspreid over de kleilige kommen van de schorren. De cores moeten perse in de kommen worden gestoken. De zandgehalten in de oeverwallen en kreken zijn te hoog om veranderingen in de accumulatiesnelheid op basis van ^{210}Pb voldoende nauwkeurig te kunnen bepalen. Het aantal analyses per core is een absoluut minimum waar niet op kan worden bezuinigd. Als het totale aantal analyses, uit kosten oogpunt, te groot is, kan er beter een core worden geschraapt. Eén analyse kost naar schatting ± Fl 500,-. We praten dus over ± Fl. 40,000,- aan uit te besteden analyses.

(2) *Sedimentaire structuren oeverwallen:* Het storten van relatief grove specie zou hebben kunnen geleid tot een sterkere ophoging van de oeverwallen in vergelijking met de kommen. De oeverwallen zijn te zandig om ^{210}Pb bepalingen met succes toe te passen. Misschien is het mogelijk om op basis van sedimentaire structuren iets te zeggen over veranderingen in de ophoging van oeverwallen in de tijd. Lakprofielen van dwarsdoorsneden door oeverwallen geven misschien inzicht in de sedimentaire geschiedenis in de vorm van een opeenvolging van laminaties. Onlangs is gebleken dat flauw hellende binnenbochten van de geulen van Saeftinge een opeenvolging van donkere en lichte banden vertonen die mogelijk seizoensgebonden zijn (Van den Berg, pers. meded.).

Mogelijk hebben de speciéstortingen geleid tot een verandering in de dikte of korrelgrootte van laminaties die uit lakprofielen naar voren komt. Wel zou dan het begin van de stortingen in de profielen moeten kunnen worden aangeven.

Mogelijk kan dit door het sediment te analyseren op stoffen die begin jaren zestig voor het eerst op het estuarium zijn geloosd. Hierbij moet gedacht worden aan bepaalde PAK's of PCB's. Of lakprofielen een bruikbaar instrument zijn moet blijken. Het is in ieder geval zinvol om deze methode op zijn bruikbaarheid te testen door enkele dwarsprofielen in oeverwallen te graven en te bestuderen.

(3) *Vullen en ledigen Land van Saeftinge*: Bepaalde delen van het Land van Saeftinge zullen eerder onderstromen, langer met water gevuld zijn en daardoor mogelijk meer slib vangen dan andere delen. De hoogteligging speelt hierbij een centrale rol. Een recente en gedetailleerde hoogtekaart is daarom essentieel.

Doordat de verschillende schorren binnen het Land van Saeftinge door verschillende krekten worden gevoed, zal een ruimtelijke variatie in overspoelingsduur en/of -frequentie optreden die niet puur en alleen aan de hoogteligging is gekoppeld. Immers, het ene schor zal gevoed worden door een kreek met hogere oeverwallen en daardoor minder snel en minder vaak overstroomd dan het andere schor.

Mogelijk heeft het storten van baggerspecie op bepaalde kreek-schor systemen binnen het Land van Saeftinge een relatief groot effect. Dit zou kunnen blijken uit een combinatie van hoogte-, textuur- en vegetatiegegevens. Bijvoorbeeld: een schor met relatief hoge oeverwallen en grove textuur in combinatie met relatief laaggelegen kommen met een vegetatie karakteristiek voor een geringe overstromingsfrequentie wordt mogelijk relatief sterk beïnvloed door stortingen van zandige specie. Dit onderzoeksaspect heeft in eerste instantie een kwalitatief karakter in de zin dat ruimtelijke variaties in hoogteligging, textuur en vegetatie onderling moeten worden vergeleken in relatie tot het storten van specie. In dit opzicht zijn recente hoogte-, textuur- en vegetatiekarteringen noodzakelijk. Mogelijk kan dit onderzoek via ruimtelijke analysetechnieken (GIS!) een kwantitatief karakter krijgen. Het zou interessant zijn als in kaart kan worden gebracht welke krekten welke schordelen voeden en hoe de overstromingsduur en -frequentie van deze schordelen onderling varieert.

Als het Land van Saeftinge in een beperkt aantal schorsystemen kan worden onderverdeeld, is het misschien haalbaar om per schorsysteem de opslibbings-snelheid te bepalen. Vervolgens kan de ruimtelijke variatie in de opslibbings-snelheid misschien gekoppeld worden aan verschillen in hoogte, textuur en vegetatie tussen de schorsystemen onderling. De opslibbings-snelheid kan be-

paald worden door de bovenste 10 cm van het schor te analyseren op Tsjernobyl ^{137}Cs . Het moet haalbaar zijn om van pakweg 10 lokaties (lees: 10 schorsystemen) op deze wijze de opslibbingssnelheid te bepalen. Deze analyses kunnen de plaats van de ^{210}Pb bepalingen overigens niet innemen omdat de ^{210}Pb bepalingen gericht zijn op een vergelijking van de opslibbingssnelheid vóór en na 1960.

De cores van 10 cm moeten gedetailleerd worden geanalyseerd op ^{137}Cs . Bij voorkeur moeten de cores in plakjes van 1 cm worden gesneden. Dit betekent 10 ^{137}Cs bepalingen per core, een totaal van 100 ^{137}Cs bepalingen voor het hele schorsysteem. Uitgaande van Fl. 500,- per analyse kost dit Fl. 50.000,-. De gedetailleerde hoogte opname is inmiddels uitbesteed voor een bedrag van Fl. 160.000,-. Als het onderzoek wordt uitbesteed, kost dit naar verwachting Fl. 200.000,- voor het inhuren van een onderzoeker voor 2 jaar. De kosten van textuur- en PAK-analyses kunnen t.o.v. bovenstaande kosten worden verwaarloosd.

4.2. Inhoudelijk onderzoek:

4.2.1. Twee onderzoeksvelden:

In tabel 2 zijn de wetenschappelijke problemen verdeeld in twee clusters. Deze twee clusters komen ruwweg overeen met twee onderzoeksvelden. Het eerste onderzoeksveld, dat onder meer de problemen met betrekking tot de verblijftijd en de menging van marien en fluviatiel slib beslaat, moet zich richten op een karakterisering van gesuspendeerd particulier materiaal zodanig dat zowel de verplaatsing als de verblijftijd van marien en fluviatiel slib kan worden bepaald. Dit onderzoeksveld vraagt om geochemisch veldonderzoek met radioactieve isotopen en geschikte tracers. Het tweede onderzoeksveld, dat een antwoord moet leveren op het eventuele effect van menselijk handelen op de slibhuishouding, moet zich richten op de modellering van het functioneren van het troebelheidsmaximum. Een goed werkend model van het troebelheidsmaximum is een noodzakelijk instrument om effecten van menselijk ingrijpen in het systeem te kunnen voorspellen en hierop te anticiperen.

4.2.2. Modellering troebelheidsmaximum:

Van belang zijnde processen:

Het meest karakteristieke verschijnsel in een estuarium is het troebelheids-

maximum, een zone waarin de concentraties gesuspendeerd sediment hoog zijn ten opzichte van het water stroomop- en stroomafwaarts. De klassieke verklaring voor het ontstaan van een troebelheidsmaximum is de menging van zout, relatief zwaar, zeewater en lichter zoet rivierwater. Door dichtheidsverschillen ontstaat er een circulatie waarbij het rivierwater over het zeewater naar zee wegstroomt terwijl het zeewater als een zouttong onder het rivierwater landwaarts opdringt (figuur 1A). Fluviatiele slibdeeltjes die uitzakken, komen in de zouttong terecht, worden samen met marien slib landwaarts getransporteerd, komen door menging van zout en zoet water weer in de zeewaarts stromende bovenlaag terecht, waarna de slibcirculatie zich weer kan herhalen. Met name Meade (1972), Officer (1981) en Dyer (1978, 1986, 1988) geven uitgebreide beschrijvingen van het proces.

De laatste 10 jaar wint de gedachte terrein dat de gravitatie circulatie niet de allesbepalende factor is bij de ontwikkeling van het troebelheidsmaximum (Allen et al., 1980; Dyer, 1986, 1988; Van Leussen, 1991). Met name Allen et al. (1980) brengen de rol van getijgeïnduceerd transport onder de aandacht met als voorbeeld de Gironde. Volgens deze auteurs kan een troebelheidsmaximum in de Gironde ontstaan zonder gravitatie circulatie. Met het getij kan slib stap voor stap het estuarium binnen dringen doordat het slib tijdens vloed een langere weg aflegt dan tijdens eb (figuur 1B). Dit verschil in afgelegde weg is het gevolg van het uitzak- en resuspensiegedrag van slibdeeltjes in samenhang met een asymmetrie in de duur van hoog- en laagwaterkentering ('settling en scour lag' effecten, 'sprong-type' transport, 'Postma transport'). De asymmetrie in kenteringsduur ontstaat door een landwaarts afnemende stroomsnelheid bij een overigens symmetrische getijcurve (Postma, 1967) of door vervorming van de getijkromme afhankelijk van de morfologie van het bekken (Dronkers, 1986). Ook kan een asymmetrie in maximale stroomsnelheden tijdens eb en vloed een landwaarts transport bewerkstelligen (Coleman & Wright, 1978; Allen et al., 1980; Ten Brinke & Dronkers, submitted).

In de praktijk zullen beide mechanismen, gravitatie circulatie en getijgeïnduceerd transport, bijdragen aan de vorming en instandhouding van een troebelheidsmaximum. Het relatieve belang van beide mechanismen hangt sterk af van de verhouding tussen getijprisma en riverafvoer. Volgens Allen et al. (1980) domineert de gravitatie circulatie veelal in estuaria met getijverschillen kleiner dan 2 meter terwijl in estuaria met een getijverschil van meer dan 4 meter getijeffecten net zo belangrijk kunnen zijn als gravitatie circulatie. De Gironde heeft een vertikaal getijverschil van maximaal 4.5 m in de monding, vergelijkbaar met het Schelde estuarium.

Uiteraard zal het relatieve belang van beide mechanismen in één bepaald estuarium sterk variëren in de tijd, afhankelijk van doodtij-springtij cyclus en rivierafvoer. Het is voor het Schelde estuarium niet ondenkbaar dat het troebelheidsmaximum bij springtij en minimale rivierafvoer vrijwel geheel door getijeffecten wordt bepaald terwijl de gravitatie circulatie juist een grote rol speelt bij doodtij en hoge rivierafvoer.

Een ander getijeffect dat zich op de tijdschaal van de doodtij-springtij cyclus afspeelt, is een mogelijke invloed van de variatie in het verticale getijverschil op het vullen en ledigen van het estuarium (Allen et al., 1980). In estuaria met een groot vertikaal getijverschil zijn de hoogwaters over het algemeen hoger en is de getijrange groter gaande van monding naar rivier, terwijl de laagwaters gaande van monding naar halverwege het estuarium lager en daarna richting rivier weer hoger worden. Als netto effect is de middenstand in het landwaartse deel van het estuarium tijdens springtij hoger dan tijdens doodtij. Figuur 2 laat dit verschijnsel zien voor de Gironde.

De Gironde bevat dus meer water tijdens springtij dan tijdens doodtij en er bestaat door dit effect een residueel watertransport op de tijdschaal van de doodtij-springtij cyclus met een landwaartse waterbeweging gaande van dood- naar springtij en een zeewaartse beweging gaande van spring- naar doodtij. Dit verschijnsel wordt veroorzaakt door het feit dat het bekken tijdens eb niet de kans krijgt om helemaal leeg te stromen terwijl het bekken tijdens springtij, met name boven intergetijdegebieden, extra veel water bevat. De extra hoeveelheid geborgen water die bij springtij tijdens eb niet naar zee kan, bestaat voor een relatief groot deel uit rivierwater. Dit betekent dat de gravitatie circulatie, en dus de ontwikkeling van het troebelheidsmaximum, worden beïnvloed door de doodtij-springtij cyclus. Volgens Allen et al. zal dit effect met name spelen in estuaria met een groot verschil in waterstand tijdens de doodtij-springtij cyclus en veel intergetijdegebied.

Het criterium van het getijverschil is op de Westerschelde van toepassing (zie overeenkomst getijverschillen Gironde en Schelde estuarium). Het criterium 'veel intergetijdegebied' is op dit moment waarschijnlijk niet op het Schelde estuarium van toepassing maar dit zou zich, gezien de huidige plannen (potpolders!), in de nabije toekomst kunnen wijzigen.

Maatschappelijke relevantie: Het troebelheidsmaximum is voor een belangrijk deel het sturende mechanisme achter de slibhuishouding van het Schelde estuarium. Het functioneren van het troebelheidsmaximum bepaalt mede de verblijftijd van slib in het estuarium, een belangrijk aandachtspunt met het oog op

verontreinigingen. De processen die aan het troebelheidsmaximum ten grondslag liggen, werken als een filter voor het fluviatiele slib (Schubel & Carter, 1984). Alleen het slib dat zeer langzaam uitzakt, slecht flokkuleert, zal het troebelheidsmaximum vrij snel kunnen passeren en als washload naar zee verdwijnen.

Het effect van ingrepen bovenstrooms van het troebelheidsmaximum, zoals saneringen van de huishoudelijke en industriële slibproductie en baggeractiviteiten in de Zeeschelde, hangt sterk af van de processen die het troebelheidsmaximum vormgeven. Een geschikte modellering van deze processen is een noodzakelijk instrument om mogelijke effecten van ingrepen te kunnen voorspellen. De rol van getij- en dichtheidseffecten in relatie tot variaties in getijprisma en rivierafvoer moet eerst bekend zijn alvorens bijvoorbeeld tot de aanleg van potpolders kan worden overgegaan. Het lijkt logisch dat met de uitbreiding van het oppervlak overstromingsgebieden bovenstrooms, waardoor er meer slibaccumulatiegebieden ontstaan, de slibconcentratie in het water afneemt. Echter, door dergelijke ingrepen in de morfologie verandert het getij (de vorm/asymmetrie van de getijcurve, getijsnelheden, waterstanden) en daarmee veranderen ook de processen die aan het troebelheidsmaximum ten grondslag liggen. Misschien leidt een groter areaal aan overstromingsgebieden wel tot een (lokale) verhoging in plaats van een verlaging van slibconcentraties doordat de processen rond het troebelheidsmaximum versterkt worden, met als ongewenst effect grotere problemen in het Antwerps havengebied. Ongewenste effecten kunnen voorkomen worden als de processen zijn gemodelleerd en ingrepen kunnen worden doorgerekend. Het model moet zich richten op de interactie tussen morfologie, getij, dichtheidstroming en het gedrag van slib.

In het bovenstaande wordt de maatschappelijke relevantie van de modellering van de processen die aan het troebelheidsmaximum ten grondslag liggen, onderbouwd door het mogelijke effect van potpolders te bediscussieren. Uiteraard zal de combinatie van de aanleg van potpolders met andere ingrepen in het systeem, zoals een verdere verdieping van de drempels in de geulen, het inzicht in veranderingen in de slibhuishouding van het estuarium verder vertroebelen. De noodzaak van modellering wordt hiermee extra onderbouwd.

Wetenschappelijke relevantie: Getijgeïnduceerd transport en gravitatie circulatie zijn goed onderzocht. Onbekend is echter het relatieve belang van beide processen (Dyer, 1989; Van Leussen, 1991), mede in relatie tot de (veranderingen in de) morfologie. De problematiek in het Schelde estuarium vraagt om kennis over de interactie van beide processen. Als de problematiek in het

Schelde estuarium goed wordt gemodelleerd, wordt daarmee een link gelegd tussen de twee belangrijkste grootschalige sedimenttransport mechanismen in estuaria. Een goede integratie van beide mechanismen in één model, geverifieerd voor het Schelde estuarium onder verschillende omstandigheden, is ongetwijfeld een bruikbaar onderzoeksinstrument voor andere systemen.

4.2.3. Verplaatsing en verblijftijd slib:

4.2.3.1. Verplaatsing slib:

Van belang zijnde processen: zie 4.2.2.

Maatschappelijke relevantie: Bepaling van de menging van marien en fluviatiel slib door middel van tracers is nodig omdat hiermee de verspreiding van verontreinigingen (Schelde input, stortingen Zeebrugge) in kaart wordt gebracht. Tevens is deze informatie noodzakelijk om het model van de menging van marien en fluviatiel slib in het troebelheidsmaximum te kunnen afregelen en verifiëren.

Wetenschappelijke relevantie: Op dit moment is het voor het Schelde estuarium niet mogelijk om de menging van marien en fluviatiel slib vast te leggen. Dit heeft niet alleen te maken met temporele variaties in getijprisma en rivierafvoer of ruimtelijke variaties, maar ook met het feit dat de verschillende onderzochte conservatieve tracers (deelrapport 1) niet hetzelfde resultaat op leveren. Uit de opsomming van reeds uitgevoerd tracer onderzoek in het Schelde estuarium in deelrapport 1 is gebleken dat iedere tracer zijn eigen onzekerheden heeft.

De slibbalans van het Schelde estuarium vereist een goede kwantificering van de menging van marien en fluviatiel slib, en daarmee een verantwoorde, met onzekerheidsmarges onderbouwde, toepassing van tracers. Kennis over de toepassing van tracers is een universeel estuarien probleem, zij het dat bepaalde tracers systeem gebonden zijn. In het Schelde estuarium zijn vele tracers toegepast door verschillende onderzoekers onder verschillende omstandigheden. Deze gigantische hoeveelheid data, gerapporteerd in verschillende artikelen en rapporten, bevat slechts een geringe hoeveelheid informatie omdat ook maar de geringste standaardisatie ontbreekt. Een grondig onderzoek naar de geschiktheid van verschillende tracers voor de bepaling van de menging van marien en

fluviatueel slib is uit wetenschappelijk oogpunt zeer waardevol. De onzekerheden/onbetrouwbaarheden van de verschillende tracers moeten worden gekwantificeerd in relatie tot temporele en natuurlijke variaties.

4.2.3.2. Verblifftijd slib:

Van belang zijnde processen: Gesuspendeerd slib in een estuarium is continu onderhevig aan flokkulatie, depositie en resuspensie. Het materiaal wordt niet als een opgeloste stof getransporteerd maar verplaatst zich stap voor stap door het estuarium. Tijdens de kenteringen zakt een groot deel van het slib uit op de bodem om (deels) weer te worden opgewerveld als de stroom aantrekt. De snelheid en wijze van verplaatsen van het slib in het estuarium bepaalt de verblifftijd van het slib in het systeem.

Het gedrag van slibdeeltjes in het estuarium wordt weerspiegeld in de radioactiviteit van isotopen die zijn gebonden aan het slib. Metingen aan de radioactiviteit van geschikt gekozen isotopen levert inzicht in de verblifftijd van slib in het estuarium. Deze methodiek is te ingewikkeld om in dit rapport te behandelen. Om toch een indruk te geven van wat isotopen onderzoek voor het Schelde-estuarium kan betekenen, worden in onderstaande 2 case-studies uit de literatuur samengevat: (1) ^{210}Pb in de Waddenzee, en (2) combinatie van kort- en langlevende isotopen in het Savannah estuarium.

Eisma et al. (1989) hebben via ^{210}Pb gerekend aan de 'paden en lotgevallen' van slib in de Waddenzee. Slib dat al lange tijd, stap voor stap, op transport is, bijvoorbeeld slib dat vanuit de Noordzee de Waddenzee binnenkomt, zal maximaal zijn opgeladen met ^{210}Pb . Er is sprake van een evenwicht tussen particulair en opgelost ^{210}Pb . Slib dat vrijkomt door erosie van oude afzettingen, zal relatief weinig ^{210}Pb bevatten. De tijd die nodig is om het oude slib weer te op te laden met ^{210}Pb , de adsorptietijd, kan worden berekend. Deze adsorptietijd bedraagt voor de Waddenzee 6.5-9.5 dagen. Als nu fossiel slib op lokatie A in een estuarium erodeert en op lokatie B binnen 6 dagen weer wordt afgezet, dat wil zeggen binnen de periode waarin het slib maximaal wordt opgeladen, dan bevat het slib op moment van afzetting relatief weinig ^{210}Pb en lijkt het slib ouder dan het moment van afzetting suggereert. Er bestaat dan een discrepantie tussen de accumulatiesnelheid volgens het verloop van ^{210}Pb met de diepte in het sediment en de accumulatiesnelheid volgens bijvoorbeeld lodingen. Een dergelijke discrepantie geeft een indicatie voor de verblifftijd van slib in het estuarium. Via een handige interpretatie van deze discrepantie kan worden afgeschat hoeveel van het slib dat op een bepaalde plaats accumu-

leert, afkomstig is van erosie van fossiele afzettingen elders en hoeveel slib van elders wordt geïmporteerd of lokaal wordt geproduceerd. Voor de Waddenzee hebben Eisma et al. (1989) afgeschat dat minimaal 40-90% van het slib dat wordt afgezet oorspronkelijk elders in het systeem is geërodeerd.

Olsen et al. (1989) hebben laten zien dat onderzoek naar de radio-activiteit van zowel een kort- als langlevend natuurlijk isotoop inzicht geeft in de verblijftijd van slib in het estuarium. Het onderzoek van Olsen et al. richtte zich op 'excess'- ^{210}Pb en ^7Be , twee isotopen die vanuit de atmosfeer het systeem binnenkomen met halfwaardetijden van resp. 22.3 jaar (langlevend) en 53.3 dagen (kortlevend). Beide isotopen gedragen zich vergelijkbaar wat hun adsorptie aan slib betreft.

Uit het onderzoek van Olsen et al. blijkt dat slib in het Savannah estuarium, ten opzichte van de zee en de rivier, relatief veel ^{210}Pb en relatief weinig ^7Be bevat. Dit verschil wijst er op dat de verrijking van slib in het estuarium een lange termijn proces is dat niet door ^7Be kan worden geïllustreerd omdat dit isotoop te snel vervalst.

Een tijdschaal voor de verrijking van slib met ^{210}Pb in het estuarium van jaren of zelfs decaden lijkt in tegenspraak met de al eerder genoemde adsorptietijd in de Waddenzee van 6.5-9.5 dagen, maar is dit niet. Blijkbaar wisselen fasen van suspensie en depositie zich in het Savannah estuarium zo snel af, dat slib steeds slechts zeer korte tijd in suspensie is. Tijdens de suspensie fase wordt het slib iets 'opgeladen' met ^{210}Pb , vervolgens weer afgezet waarbij een deel van de ^{210}Pb vervalst. Als het slib maar vaak genoeg even in suspensie komt, neemt de ^{210}Pb geleidelijk aan toe tot, na zeer lange tijd, een maximale waarde wordt bereikt. Het feit dat de ^{210}Pb activiteit in het estuariene slib relatief hoog en de ^7Be activiteit relatief laag is, geeft aan dat de geleidelijke verrijking met ^{210}Pb , en daarmee de verblijftijd van slib in het estuarium, zich uitstrekt over jaren of zelfs decaden. Vanuit de relatief lange halfwaardetijd van ^{210}Pb geredeneerd, is het slib dat steeds wordt opgewerveld vrij jong. Echter vanuit de relatief korte halfwaardetijd van ^7Be geredeneerd, is het opgewervelde slib oud (de ^7Be is steeds al grotendeels vervallen), hetgeen de relatief lage ^7Be activiteit in het estuarium verklaart.

Olsen et al. laten zien dat via de verhouding $^7\text{Be}:^{210}\text{Pb}$ in suspensie ten opzichte van het bodemmateriaal kan worden afgeschat welk deel van het slib in suspensie continu wordt afgezet en weer geresuspendeerd en welk deel van elders komt of lokaal wordt geproduceerd. In het Savannah estuarium bestaat mogelijk meer dan 80% van het materiaal in suspensie uit geresuspendeerd bo-

demmateriaal.

Maatschappelijke relevantie: Onderzoek naar de verblijftijd van slib in het estuarium, door middel van kort- en langlevende isotopen, is essentieel om aan te kunnen geven wanneer saneringsmaatregelen in het systeem merkbaar zijn.

Wetenschappelijke relevantie: Onderzoek naar de verblijftijd van slib op basis van radio-actieve isotopen is zeer lastig (Dyer, 1989). Voor een indruk van problemen die opdoemen bij het toepassen van isotopen bij slibonderzoek wordt verwezen naar Eisma et al. (1989) en Ten Brinke et al. (in prep.). Toch laten Olsen et al. (1989) al interessante resultaten zien door gelijktijdig isotopen met verschillende halfwaardetijden te onderzoeken. Een techniek die ook voor het Schelde estuarium bruikbare resultaten zou kunnen opleveren. Het is interessant om deze techniek in het Schelde estuarium verder te ontwikkelen. De bemonsteringsfrequentie die door Olsen et al. is gehanteerd, is zeer grof. Een meer fijnmazig bemonsteringsschema, dat wordt uitgevoerd bij bijvoorbeeld dood- en springtij, laat mogelijk zien of er binnen het Schelde estuarium eenheden zijn met verschillende verblijftijden voor het slib.

4.2.4. Onderzoeksplan:

Een gedetailleerd veldmeetplan kan uiteraard nog niet worden opgesteld. Wel kan een globaal beeld worden gegeven van het type metingen dat moeten worden uitgevoerd en de frequentie waarmee moet worden gemeten.

1. **Getijgeïnduceerd transport:** Het getijgeïnduceerd transport moet in een model worden uitgedrukt. Hiervoor is informatie nodig over (1) het verloop van de bodemschuifspanning die een bepaald watervolume gedurende de eb-vloed-cyclus op de bodem uitoefent, en (2) de kritische bodemschuifspanning waarbij slib op de bodem wordt afgezet cq. wordt geërodeerd.

Van een watervolume dat met eb en vloed in het estuarium op en neer gaat, moeten de schuifspanning op de bodem en de slibconcentratie in het water worden bepaald. Bovendien kan bij drijfmetingen de schuifspanning niet worden bepaald. Hiertoe moeten in elk van de 3 hoofdvakken van de Westerschelde (westelijk, midden en oostelijk deel) ± 6 schepen verdeeld over een lengte van één getijweg (± 15 km) in longitudinale richting gedurende 13 uur over de vertikaal stroom en slibconcentratie meten. De nadruk moet liggen op metingen in de onderste meter boven de bodem. Er moet worden gemeten van maximale stroom tot

maximale stroom.

2 uiterste situaties zijn van belang: (1) springtij en minimale rivieraafvoer en (2) doottij en maximale rivierafoer. Situatie (1) is de situatie met een maximaal en situatie (2) met een minimaal getijgeïnduceerd transport. Voor dit onderzoeksaspect zijn dus 6 metingen nodig (3 bij spring- en 3 bij doottij) met 6 schepen per keer: 36 schepen voor 13 uur, d.w.z. 72 bootdagen. Uitgaande van 30 ijkmonsters zwevende stof per troebelheidsmeter per meting moeten in totaal $36 \times 30 = 1080$ zwevende stof bepalingen worden uitgevoerd.

2. Menging marien-fluviatiel slib: Voor de bepaling van de menging van marien en fluviatiel slib is het belangrijk dat het hele estuarium wordt bemonsterd bij verschillende rivieraafvoeren zowel tijdens dood- als springtij. Naar verwachting zullen 8 bemonsteringstochten, 4 bij dood- en 4 bij springtij, nodig zijn. De metingen moeten verspreid over het jaar worden uitgevoerd. In totaal 4 keer moet steeds één campagne bij dood- en één bij het daaropvolgend springtij worden uitgevoerd. De opeenvolgende dood- en springtij metingen worden zodoende bij onderling vrijwel vergelijkbare, over 2 maanden gemiddelde, Schelde afvoeren uitgevoerd. Per bemonsteringstocht moeten 15 dwarsdoorsneden van het estuarium worden bemonsterd. Per dwarsdoorsnede moeten 5 lokaties worden bemonsterd en samengevoegd tot één monster. Zodoende wordt de ruimtelijke variatie dwars over de geulen gemiddeld.

Op iedere lokatie moet uit het onderste (landwaartse zouttong) en bovenste deel (zeewaartse Schelde afvoer) van de waterkolom één monster worden genomen door bij voorkeur met een slibcentrifuge slib uit een groot watervolume te concentreren. Op iedere lokatie moeten tevens 3 bodemonsters worden genomen die aan boord van de boot bij elkaar kunnen worden gevoegd.

De monsters van één bemonsteringstocht moeten alle tijdens dezelfde vloed worden genomen. Dit betekent dat per bemonsteringstocht minimaal 4 schepen moeten worden ingezet. Het totale onderzoek naar de menging van marien en fluviatiel slib vergt dus naar schatting $4 \times 8 = 32$ bootdagen. In totaal worden $8 \times 2 \times 15 = 240$ watermonsters/centrifugemonsters en 120 bodemonsters genomen. De kosten van deze analyses kunnen nog niet worden ingeschat omdat dit afhangt van het aantal en het type te analyseren tracers.

3. Recirculatie slib in marien troebelheidsmaximum Belgische kust/Bruto slib-uitwisseling met de Noordzee: De verplaatsing van slib, gestort voor de Belgische kust, moet worden gevolgd. Van Belgische zijde is al een eerste experiment uitgevoerd. Slib dat werd gestort tijdens eb en vloed is gelabeld met de

radio-actieve isotopen hafnium (halfwaardetijd = 45 dagen) resp. terbium (halfwaardetijd = 73 dagen). Het experiment is uitgevoerd bij buitengewoon hoge Schelde afvoer en veel noordoostenwind. Tevens is het aantal genomen monsters (207 op 66 lokaties verspreid over 1300 km² tussen Duinkerke en de Westerschelde) aan de lage kant. Vandaar dat Malherbe (1991) voorstelt om het experiment onder representatieve omstandigheden en met meer detail te herhalen. Het is verstandig om van Nederlandse zijde bij nader Belgisch onderzoek aan te sluiten. Geredeneerd vanuit de Nederlandse problematiek is het interessant om het maximale effect van Belgische speciéstortingen op het Schelde estuarium te bepalen. Hiervoor zou het Belgische experiment bij springtij en lage Schelde afvoer moeten worden herhaald met meer monsterlokaties in de monding en het westelijke deel van de Westerschelde. Naar schatting vergt een tweede experiment twee keer zoveel monsters als de eerste try-out. Uitgaande van Fl.500,- per monster en totaal 400 monsters gaat dit ± Fl.200.000,- kosten. Als één boot op één dag 40 monsters kan nemen, zijn 10 bootdagen nodig.

4. Verblijftijd slib: Voor de bepaling van de verblijftijd van slib in het Schelde estuarium is een zelfde bemonsteringsprogramma nodig als voor de bepaling van de menging van marien en fluviatiel slib. De monsternamen ten behoeve van beide onderzoeksaspecten kan dus worden gecombineerd en er zijn geen extra bootdagen nodig. Uitgaande van 360 monsters (water+bodem) en Fl.500,- per te analyseren monster kost dit Fl. 180.000 aan analyses.

4.3. Samenvatting eerste inschatting kosten/capaciteit praktisch en wetenschappelijk onderzoek

In onderstaande tabel is een eerste schatting gegeven van de kosten van het slibonderzoek in het Schelde estuarium gedurende de komende 4 jaar. In totaal bedragen de materiele kosten ongeveer één miljoen gulden.

Tabel 3. Kosten/capaciteitschatting slibonderzoek Westerschelde in de komende 4 jaar.

Probleem	Type analyse	Onderzoeker	Bootdagen	Kosten
Sweepbeam baggeren geulen Antwerpen	240 zwevende stof		8	Fl.7.000,- Fl.16.000,-
Land van Saeftinge	180 ^{210}Pb en ^{137}Cs hoogteopname			Fl.90.000,- Fl.160.000,-
Getijgeïnduceerd transport	1080 zwevende stof		72	Fl.30.000,- Fl.140.000,-
Menging marien-flu- viatiet slib/ver- blijftijd slib	225 tracermonsters 225 ^{210}Pb en ^7Be		32	? Fl.180.000,- Fl.60.000,-
Recirculatie slib in marien troebelheidsmax. Belgische kust	400 isotopenmonsters		10	Fl.200.000,- Fl.20.000,-

5. SAMENVATTING EN DISCUSSIE

5.1. Verbetering inzicht slibhuishouding met beschikbare gegevens:

In deelrapport 1 is een, mijns inziens, verbeterde slibbalans van het Schelde estuarium gepresenteerd. De verbeteringen hebben betrekking op 5 verschillende onderdelen van de slibbalans.

1) De fluviatiele slibinput:

De fluviatiele slibinput is beter afgeschat dan de tot nu toe gehanteerde getallen van Wollast en Marijns (1981). De verbetering, gebaseerd op Belgisch onderzoek (International Marine and Dredging Consultants (IMDC), in prep.), heeft hoofdzakelijk betrekking op een betere afschatting van de hoeveelheid slib die vrijkomt door erosie van landbouwgronden e.d. en de introductie van een correctie voor de slibonttrekking door baggeren in het zoetwaterdeel van het systeem. De introductie van mest als slibbron heeft nauwelijks effect op de fluviatiele slibinput.

T.a.v. de resultaten van het Belgisch onderzoek zijn in dit rapport 2 belangrijke termen bij de berekening van de fluviatiele slibinput bijgesteld: (1) gesteld is dat 50-100% van het materiaal, dat erodeert van leembodems, slib is (IMDC gaat uit van 100% slib), en (2) bij de omrekening van kubieke meters naar tonnen slib gebaggerd in waterlopen in het zoetwaterdeel van het systeem, is uitgegaan van dichtheden volgens Migniot (1989) in plaats van de Belgische aannames.

De betere afschatting van de fluviatiele slibinput laat zien dat het fluviatiele slib minder rijk is aan organische stof (15-39%) dan tot dusverre werd gedacht (ruim 40%). Dit wordt veroorzaakt door een hogere schatting van de slibopbrengst door erosie van landbouwgrond e.d. De toch nog vrij hoge gehalten organische stof in bodem- en zwevend slib laten zien dat de organische fraktie van het slib tot op heden ten onrechte is verwaarloosd.

2) Menging marien-fluviatiel slib:

Samen met de fluviatiele slibinput bepaalt de mengverhouding van marien en fluviatiel slib de slibbalans van het estuarium. In deelrapport 1 zijn scenario's van de slibbalans doorerekend met 2 tracers: $\delta^{13}\text{C}$ in bodemslib en het Pb/Cr in zwevend slib. Beide tracers leveren totaal verschillende balansen op. Een gevoelig punt in de slibbalans is hiermee blootgelegd (zie 5.2). De mengverhouding van marien en fluviatiel slib varieert sterk in ruimte en tijd. De

temporele variatie, veroorzaakt door een variatie in Schelde afvoer en de doodtij - springtij cyclus, kan een verklaring zijn voor de verschillende balansen volgens $\delta^{13}\text{C}$ en Pb/Cr. Dit is op dit moment nog onduidelijk. Het is ook mogelijk dat bodemslib ($\delta^{13}\text{C}$) op een andere tijdschaal reageert op ontwikkelingen in het systeem dan gesuspendeerd slib (Pb/Cr). Dwars over de geulen blijkt, volgens $\delta^{13}\text{C}$ in bodemslib, een ruimtelijke variatie in de verhouding marien-fluviatiel slib te bestaan die maar liefst 23% van het verschil tussen zee- en landgrens bedraagt. Wederom een gevoelig punt voor de balans!

3) Tijdsafhankelijkheid slibbalans:

De slibbalans van een estuarium is afhankelijk van de tijdsperiode waarover erosie en sedimentatie van slib in de verschillende delen van het systeem worden berekend. In deelrapport 1 is aangetoond dat een balans over de periode 1975-1985, gebaseerd op morfologische veranderingen in deze periode, er anders uitziet dan een balans over de periode 1975-1990. Men moet zich altijd goed bewust zijn van dit tijdsgebonden aspect van de slibbalans.

Zeer duidelijk wordt dit probleem geïllustreerd voor de bagger- en stortgetallen van de Beneden Zeeschelde. Tracerdata voor de menging van marien en fluviatiel slib daterend van na 1985, moeten worden gecombineerd met bagger- en stortgetallen van na 1985. Scenario's in deelrapport 1 hebben laten zien dat een combinatie van bagger- en stortgetallen gemiddeld over 1981-1989 (gehanteerd door België) met recente tracerdata zelfs een balans met een fluvia-tiele slibimport vanuit de Noordzee kan opleveren. Dit temporele effect vormt een groot probleem bij het onderling vergelijken van balansen van verschillende herkomst (b.v. België en Nederland).

Deze studie heeft aangetoond dat juist door het tijdsgebonden zijn van bron- en puttermen, een balans op jaarbasis allerlei seizoenseffecten wegmiddelt, waardoor de balans als beleidsinstrument minder waardevol wordt. Door de seizoensgebonden (1) slibuitwisseling tussen geulen en platen en (2) menging marien-fluviatiel slib, is een inzicht in morfologische veranderingen, en daarmee bron- en puttermen van slib, op kwartaalbasis zeer gewenst.

4) Land van Saeftinge/Beneden Zeeschelde:

Uit deze studie is gebleken dat 2 belangrijke bron-/puttermen in het estuarium vermoedelijk minder belangrijk zijn dan tot op heden werd gedacht.

Het Land van Saeftinge bergt minder slib ($10\text{-}15 \cdot 10^4$ ton/jaar) dan tot nu toe in balansen wordt aangenomen ($41 \cdot 10^4$ ton/jaar). Oorzaak: een tot nu toe overschatte sedimentatiesnelheid van de schorren door het, mijns inziens, foutief

interpreteren van waargenomen veranderingen in de komberging van het systeem, en een lager aangenomen dichtheid van het schorsediment conform de resultaten van Oenema (1988) voor de Oosterschelde. Op basis van beschikbare data kan geen uitspraak worden gedaan over een effect van baggerspeciëstortingen op het Land van Saeftinge, of over het volraken van het systeem met sediment.

Ook de actieve slibbuffer in de bodem van de Beneden Zeeschelde is, mijns inziens, tot nu toe overschat. Deze slibbuffer is overschat door (1) een te hoog aangenomen slibgehalte van de bodem, en (2) een, op basis van de baggerdiepte, aangenomen actieve bodemlaag voor de hele Beneden Zeeschelde terwijl slechts over een klein oppervlak (de drempels) periodiek wordt gebaggerd. Waarschijnlijk is een sanering van de fluviatiele slibbelasting, door een feitelijk kleinere actieve verontreinigde slibbuffer in de bodem van de Beneden Zeeschelde, sneller in de Westerschelde merkbaar dan de 30 jaar die Lange-rak (1989) als ondergrens heeft berekend.

5) Toegangsgeulen haven Antwerpen:

Het in kaart brengen van de slibhuishouding van het estuarium heeft boven tafel gebracht dat de hoeveelheid slib die in de toegangsgeulen naar de havens van Antwerpen accumuleert een zeer groot deel uitmaakt van de totale slibbalans. De grootte van deze term dwingt tot het plaatsen van vraagtekens bij het zogenaamde sweepbeam baggeren van de toegangsgeulen. Niet alleen zal deze vorm van baggeren leiden tot de resuspensie van relatief sterk verontreinigd materiaal, het is, vanuit het oogpunt van slibmanagement, ook wenselijk om de toegangsgeulen te zien als ideale (100%)slibvangbekkens die, via onttrekking van slib door baggeren, een zeer efficiënte bijdrage kunnen leveren aan de sanering van het hele estuarium.

5.2. Lacunes inzicht slibhuishouding:

Naast een verbeterd inzicht in het functioneren van de slibhuishouding van het Schelde estuarium, zijn in deze studie ook een aantal lacunes aan het licht gekomen die om onderzoek vragen. Deze lacunes hebben betrekking op 6 aspecten van de slibhuishouding.

1) De fluviatiele slibinput:

Ten aanzien van de fluviatiele slibinput blijven een aantal onzekerheden bestaan. Zo wordt bij de berekening van de slibproduktie door de industrie uitgegaan van een norm die voor huishoudens is gesteld: 90 g/i.e. Uitgezocht

moet worden of toepassing van deze norm op industrieel afval wel correct is. Een andere lacune is het slibpercentage van het materiaal dat erodeert van landbouwgronden e.d. Een waarde van 100% slib, zoals door Belgische onderzoekers gehanteerd, is zeker te hoog. Een waarde van 50-100% slib, zoals door mij gehanteerd, is vrij grof. Gezien de grote bijdrage van geërodeerd materiaal aan de fluviatiele slibinput, zal een nauwkeurigere afschatting van het slibpercentage in de erosiegebieden in het stroomgebied van het estuarium de slibbalans sterk verbeteren. De afschatting van de fluviatiele slibbelasting op het estuarium is, door de Belgische onderzoekers, al veel realistischer uitgevoerd door te corrigeren voor baggerwerk in het zoetwaterdeel van het systeem. Echter, 49% van het totale zoetwater baggerwerk is gebaseerd op extrapolaties. De Belgische onderzoekers zetten vraagtekens bij met name het geschatte baggerwerk op Frans grondgebied. Deze onzekerheden in baggerwerken moeten worden onderzocht.

2) Menging marien-fluviatiel slib:

Aan de menging van marien en fluviatiel slib valt nog veel onderzoek te doen. Langjarig onderzoek moet zich richten op de gelijktijdige toepassing van verschillende tracers om zodoende een optimale tracer te kunnen selecteren. Bemonsteringstochten moeten verspreid over het jaar worden uitgevoerd zodat de invloed van de variatie in Schelde afvoer en doodtij-springtij cyclus op de menging van marien en fluviatiel slib kan worden gekwantificeerd. Op korte termijn kan al worden 'gestoeid' met beschikbare datasets. In deelrapport 1 is aangetoond dat met beschikbare data al bruikbare resultaten kunnen worden geboekt. In dit rapport zijn echter nog lang niet alle data gebruikt. Denk bijvoorbeeld aan beschikbare data van ^{210}Pb (Baeyens et al., in prep.), ^{137}Cs en $^{239,240}\text{Pu}$ (Duursma et al., 1989; Martin et al., 1992).

3) Verblijftijd slib:

Er is een lacune als het gaat om de verblijftijd van slib in het estuarium. Het huidige concept, waarbij de verblijftijd alleen wordt gekoppeld aan de actieve bodemlaag, is te simpel. Ook de snelheid van verplaatsing van slib in het estuarium, en het slibinvangeffect van het troebelheidsmaximum spelen een rol. Doordat het probleem zo ingewikkeld is, is men aangewezen op isotopen die het totale effect van al de onderliggende processen weerspiegelen. Op korte termijn kan aan dit probleem niet worden gesleuteld: het probleem vraagt om wetenschappelijk onderzoek.

4) Bron-puttermen:

Een algemeen probleem met betrekking tot bagger- en stortgegevens is het ontbreken van informatie over dichtheden. Door anderen aangenomen dichtheden wijken veelal nogal sterk af van de getallen van Migniot (1989) voor het estuarium. De getallen van Migniot zijn waarschijnlijk realistischer, maar kunnen 'harde' actuele veld- en beungegevens eigenlijk niet vervangen.

5) Beneden Zeeschelde:

Voor de hele slibbalans, en met name voor de afschatting van het effect van nalevering van verontreinigingen uit de bodem na sanering van de fluviatiele slibbelasting, is de slibaccumulatie in de Beneden Zeeschelde van groot belang. Deze term is nog veel te onzeker. Het probleem van de grootte van de actieve slibbuffer is in 5.1 al ter sprake gekomen. De grootte van de buffer moet nader worden onderzocht door te kijken naar de lokaties en de intensiteit van het baggerwerk. Door Belgische onderzoekers (IMDC) en door mijzelf wordt aangenomen dat de hoeveelheid slib in de bodem van de Beneden Zeeschelde niet systematisch toeneemt: gesteld wordt dat de slibonttrekking door baggeren gelijk is aan de slibaccumulatie. Is dit wel zo? Nader onderzoek moet dit uitwijzen.

6) Concentratie gesuspendeerd slib:

Er wordt de laatste tijd gesteld dat, door het afnemen van de mogelijkheden voor slibaccumulatie in gebieden in en langs het estuarium, het systeem zijn slib niet meer kwijt kan en de concentraties zwevend slib toenemen. Is dit zo? Met de huidige kennis is hierover geen uitspraak te doen. Het is maar de vraag of een dergelijke toename in slibconcentratie uit beschikbare data kan worden afgeleid. De toename zal, mijns inziens, niet te onderscheiden zijn van al die andere factoren die het slibgehalte in het water bepalen. Men zou zich kunnen afvragen: is er wel een probleem?

5.3. Vergroting areaal natuurlijke overstromingsgebieden:

Het effect van een vergroting van het areaal aan natuurlijke overstromingsgebieden op de slibhuishouding van het Schelde estuarium is al besproken in sectie 4.2.2 als illustratie van het maatschappelijke belang van een promotie-onderzoek naar de modellering van de processen rond het troebelheidsmaximum. Het is zinvol om dit probleem hier nog eens voor het voetlicht te halen omdat het probleem zeer actueel en ingrijpend is.

Het aanleggen van potpolders, gecontroleerde overstromingsgebieden, heeft een aantal voordelen voor het Schelde estuarium. De komberging van het systeem neemt toe, waardoor de geulen hogere debieten moeten verwerken, daardoor van nature beter op diepte blijven, en de baggerfrequentie omlaag kan. Ook zullen waardevolle natuurgebieden ontstaan. Een ander effect van extra overstromingsgebieden is een uitbreiding van het oppervlak natuurlijke slibaccumulatiegebieden. Door de afname aan natuurlijke bergingsgebieden voor slib gedurende de afgelopen decaden, zou het estuarium zich hebben 'opgeladen' met slib dat het estuarium nergens kwijt kan. Met het oog op de potpolders rijst de vraag of nu al kan worden ingeschat of de aanleg van potpolders de slibconcentratie in het water zal doen dalen.

In het voorgaande (5.2) is al gewezen op een kennislacune met betrekking tot het probleem van het 'opladen' van het estuarium met zwevend slib. Zelfs is de vraag gesteld of het probleem zich überhaupt voordoet. De slibconcentratie in het water is in de laatste 20 jaar in ieder geval niet zodanig toegenomen dat dit duidelijk uit beschikbare datasets kan worden afgeleid (Van Maldegem en Storm, 1990). Voor wat betreft de afname aan natuurlijke accumulatiegebieden voor slib, is in dit rapport aangegeven dat uit beschikbare gegevens niet kan worden afgeleid dat het Land van Saeftinge 'vol' is.

Zelfs gesteld dat een afname aan natuurlijke accumulatiegebieden het slibgehalte in het water heeft doen toenemen, dan nog is het de vraag of toevoeging van potpolders aan het systeem de slibconcentratie weer omlaag brengt. Door dergelijke ingrepen in de morfologie verandert de getijcurve. Het transport van slibdeeltjes wordt in sterke mate gestuurd door asymmetrische aspecten van de getijcurve. Een ogenschijnlijk kleine beïnvloeding van de getijcurve kan een groot effect hebben op het slibtransport. Dus is het op dit moment zinloos om het effect van de aanleg van potpolders op de slibconcentratie in het water af te schatten. Gezien vanuit de slibproblematiek in het systeem, moet met de aanleg van potpolders worden gewacht tot de slibtransportprocessen in hun samenhang in het estuarium zijn gemodelleerd zodat het effect van ingrepen in de morfologie kan worden voorspeld. Overigens slaat het ingrijpen in de morfologie niet alleen op de potpolders, maar ook op het verdiepen van de geulen voor de scheepvaart.

5.4. Kritiek op Belgische visie slibhuishouding Schelde estuarium:

Het rapport 'Gedrag van particulier materiaal in het Schelde estuarium' van International Marine & Dredging Consultants (IMDC) levert een aanmerkelijk

betere onderbouwing van de fluviatiele slibbelasting dan de tot dusverre gehanteerde getallen van Wollaast en Marijns (1981). Wat dit aspect betreft, levert het rapport een waardevolle bijdrage aan de vergroting van de kennis over de slibhuishouding van het Schelde estuarium. Overigens zitten in de Belgische berekeningen nog vele onzekerheden die nader onderzocht dienen te worden (zie 5.2.). Helaas suggereert de titel van het Belgische rapport aanmerkelijk meer dan het rapport kan waarmaken (vermeld dient te worden dat slechts de hoofdstukken 1-8 beschikbaar waren). Nieuwe inzichten in de slibhuishouding van het estuarium, laat staan een nadere aanscherping van de slibbalans, worden niet gepresenteerd.

5.5. Kritiek op Belgische visie slibhuishouding mondingsgebied:

In het Belgische rapport 'Ecologische impact van baggerspecielossingen voor de Belgische kust' van het Belgisch Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu worden de effecten van stortingen van specie, gebaggerd uit de haven en toegangseuulen van Zeebrugge, besproken. In dit rapport wordt het gedrag van de specie na storting voor de Belgische kust in het kort behandeld door enkele resultaten uit een studie van Malherbe (1991) aan te halen. Voor een goede inschatting van het gedrag van de specie na storting biedt het Belgische rapport te weinig houvast en moet de studie van Malherbe (1991), gepubliceerd in Terra et Aqua, ter hand worden genomen.

De studie van Malherbe (1991) geeft een goed en stevig onderbouwd inzicht in het gedrag van baggerspecie na storting voor de Belgische kust. De experimenten van Malherbe, het labelen van de specie met radio-actieve isotopen, zijn uitgevoerd onder uitzonderlijke omstandigheden: veel oostenwind en hoge Schelde afvoer. Volgens Malherbe dienen meer experimenten, bij andere meteorologische omstandigheden en lagere Schelde afvoer, te worden uitgevoerd. Zowel de Belgische overheid als Rijkswaterstaat moeten hier op inhaken. Herhaald onderzoek is voor België van belang met het oog op de circulatie van slib tussen stortplaats en baggerlokaties, voor Nederland i.v.m. de mogelijke import van dit slib in het Schelde estuarium. De problemen van de 2 landen spelen op verschillende grootte-schalen. Bij de beoordeling van de Belgische rapporten moet dit schaalaspect goed in het oog worden gehouden. Als in het Belgische rapport 'Ecologische impact van ...' gesteld wordt dat de uitwisseling van sediment tussen het mariene troebelheidsmaximum incl. stortplaatsen voor de Belgische kust en de rest van de Noordzee of de Westerschelde gering is, heeft deze uitspraak betrekking op het probleem van de circulatie in relatie tot de bag-

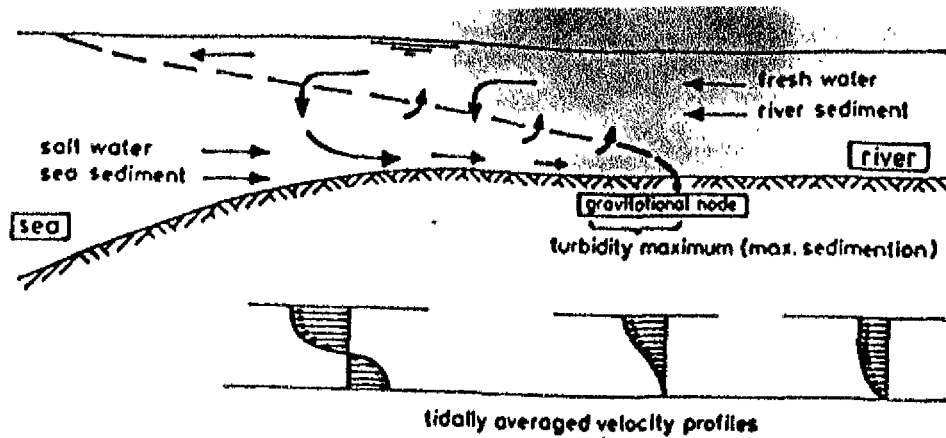
gerefficiënte. De uitspraak zegt niets over het effect van de stortingen op het Schelde estuarium. Sterker nog, Malherbe (1991) toont aan dat gestort slib, zelfs bij de uitzonderlijke omstandigheden van het experiment die het slib naar het zuidwesten 'drukken', deels in het mondingsgebied van de Westerschelde terecht komt.

6. REFERENTIES

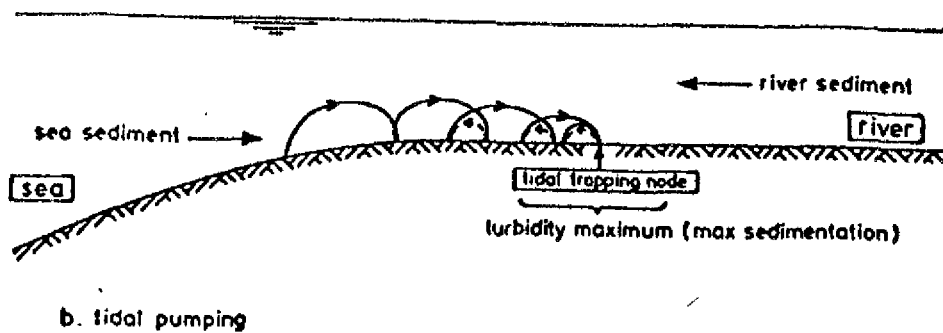
- Allen, G.P., Salomon, J.C., Bassoullet, P., Du Penhoat, Y. en De Grandpré, C., 1980. Effects of tides on mixing and suspended sediment transport in macrotidal estuaries. *Sed. Geol.* 26: 69-90.
- Alphen, J.S.L.J van, 1990. A mud balance for Belgian-Dutch coastal waters between 1969 and 1986. *Neth. J. Sea Res.* 25: 19-30.
- Baeyens, W., Van Eck, B., Lambert, C. en Wollast, R. Trace metal transport in the Scheldt estuary (in prep.).
- Bastin, A., 1974. Regional sedimentology and morphology of the southern North Sea and the Scheldt estuary. Ph.D. Thesis, University of Leuven.
- Belgisch Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu - Beheerseenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee en het Scheldeëstuarium, 1990. Ecologische impact van baggerspecielossingen voor de Belgische kust. Concept.
- Berger, G.W. en Eisma, D., 1988. Datering van sedimenten in de Westerschelde met behulp van de isotopen ^{134}Cs , ^{137}Cs en ^{210}Pb . NIOZ-Rapport 1988-2.
- Brinke, W.B.M. ten, 1991. Quantifying mud exchange between the Eastern Scheldt tidal basin and the North Sea. *Proc. Coastal Sediments '91*: 760-774.
- Brinke, W.B.M. ten, 1992. Slib in het estuarium van de Schelde: Paden en lotgevallen deel 1. Rijkswaterstaat notitie GWA0-92.841X, Rijksuniversiteit Utrecht rapport R 92-9 (IMAU).
- Brinke, W.B.M. ten en Dronkers, J. Physical and biotic aspects of fine sediment import in the Oosterschelde. Submitted to *Neth. J. Sea Res.*
- Brinke, W.B.M. ten, Augustinus, P.G.E.F. en Berger, G.W. Sediment accumulation on musselplots in the Oosterschelde determined by ^{210}Pb , ^{137}Cs , ^{134}Cs , and biodeposition field experiments (in prep.).
- Chivers, R.C., Emerson, N. en Burns, D.R., 1990. New acoustic processing for underway surveying. *The Hydrographical Journal* 56.
- Coleman, J.M. en Wright, L.D., 1978. Sedimentation in an arid macrotidal alluvial river system: Ord river, Western Australia. *J. Geol.* 86: 621-642.
- D'Hondt, P. en Jacques, T.G., 1982. Gesuspenderde materie in de Schelde. *Water* 4: 133-135.
- Dronkers, J., Alphen, J.S.L.J. van en Borst, J.C., 1990. Suspended sediment transport processes in the southern North Sea. In: R.T. Cheng (ed.), *Residual currents and long-term transport. Coastal and Estuarine Studies* 38: 302-320.
- Dronkers, J., 1986. Tidal asymmetry and estuarine morphology. *Neth. J. Sea Res.* 20: 117-131.
- Duursma, E.K., Martin, J.M. en Wollast, R., 1989. Transfer processes and modelling of plutonium species and gamma emitters in the Scheldt estuary. EEC radiation protection programme. Final Report, Brussels: 1-23.
- Dyer, K.R., 1979. *Estuarine hydrography and sedimentation*. Cambridge University Press, 230 pp.
- Dyer, K.R., 1986. *Coastal and estuarine sediment dynamics*. John Wiley & Sons, 342 pp.
- Dyer, K.R., 1988. Fine sediment particle transport in estuaries. In: J. Dronkers & W. van Leussen (eds), *Physical processes in estuaries*, Springer-Verlag: 295-310.
- Dyer, K.R., 1989. Sediment processes in estuaries: future research requirements. *J. Geoph. Res.* 94 (C10): 14,327-14,339.
- Eck, B. van en Maldegem, D. van, 1990. Datering schorren Westerschelde. Rijkswaterstaat notitie GWA0-90.13032.
- Eisma, D., 1981. Supply and deposition of suspended matter in the North Sea. In: S.D. Nio, R.T.E. Schüttenhelm en Tj. C.E. van Weering (eds), *Holocene marine sedimentation in the North Sea basin. Spec. publ. int. Ass. Sediment* 5, Blackwell Sc. Publ., Londen: 415-428.

- Eisma, D., Berger, G.W., Wei-Yue, C. en Jian, S., 1989. Pb-210 as a tracer for sediment transport and deposition in the Dutch-German Waddensea. Proceedings KNGMG Symposium 'Coastal Lowlands, Geology and Geotechnology': 237-253.
- Förstner, U. en Wittmann, G., 1983. Metal pollution in the aquatic environment. Springer-Verlag, 486 pp.
- Gemeenschapsministerie van het Vlaamse Gewest, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, 1990. De baggerwerken in de Schelde en de kwaliteit van water en bodem. Concept.
- Helsloot, I.C.M. en Storm, C., 1988. Ruimtelijke en temporele variabiliteit van slibtransporten in de Westerschelde. Westerschelde Studies 16.
- Houbolt, J.J.H.C., 1968. Recent sediments in the southern bight of the North Sea. *Geologie en Mijnbouw* 47: 245-273.
- Houtekamer, N.L., 1991. Inventarisatie erosieproblematiek van schorren in de Westerschelde. Rapport GEOPRO 1991.024, Rijksuniversiteit Utrecht.
- Jonge, V.N. de, 1983. Relations between annual dredging activities, suspended matter concentrations, and the development of the tidal regime in the Ems estuary. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40 (suppl.1): 289-300.
- Langerak, A., 1989. Slibtransport en slibgehalte landengrens bij sanering Belgische slibblozingen. Rijkswaterstaat notitie GWA0-89.1306.
- Leussen, W. van, 1991. Fine sediment transport under tidal action. *Geo-Marine Letters* 11: 119-126.
- Maldegem, D. van en Storm, K., 1990. Verloop slibconcentratie Schelde estuarium in relatie tot de baggerwerken. Rijkswaterstaat notitie OW-90.064.
- Maldegem, D. van, 1991. De slibbalans van het Schelde-estuarium. Rijkswaterstaat nota GWA0-91.081.
- Malherbe, B., 1991. A case study of dumping of dredged material in open areas. *Terra et Aqua* 45: 5-32.
- Martin, J.M., Thomas, A. en Loijens, M., 1992. Source and fate of plutonium isotopes in the Scheldt estuary (Belgium). Submitted to *Marine Chemistry*.
- Meade, R.H., 1972. Transport and deposition of sediments in estuaries. *Memoir* 133, The Geological Society of America: 91-120.
- Migniot, C., 1989. Tassement et rhéologie des vases. *La Houille Blanche* 1/2: 11-30.
- Oenema, O., 1988. Early diagenesis in recent fine-grained sediments in the Eastern Scheldt. PhD-thesis Utrecht University: 222 pp.
- Officer, C.B., 1981. Physical dynamics of estuarine suspended sediments. *Mar. Geol.* 40: 1-14.
- Olsen, C.R., Thein, M., Larsen, I.L., Lowry, P.D., Mulholland, P.J., Cutshall, N.H., Byrd, J.T. en Windom, H.L., 1989. Plutonium, lead-210, and carbon isotopes in the Savannah estuary: riverborne versus marine sources. *Environ. Sci. Technol.* 23: 1475-1481.
- Postma, H., 1967. Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment. *Am. Ass. adv. Sci. Pub.* 83: 158-179.
- Rijkswaterstaat, 1989. Beleidsplan Westerschelde.
- Robbins, J.A. en Edgington, D.N., 1975. Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using Pb-210 and Cs-137. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 39: 285-304.
- Schubel, J.R. en Carter, H.H., 1984. The estuary as a filter for fine-grained suspended sediment. In: V.S. Kennedy (ed.), *The estuary as a filter*, Academic Press: 81-106.
- Siereveld, J.J., 1991. Slibinventarisatie op platen in de Westerschelde. Rijkswaterstaat notitie GWIO-90.13042.
- Stikvoort, E., 1992. Sedimentkwaliteit van Het Verdrongen Land van Saeftinge.
- Stolzenbach, K.R., 1989. Aggregation of fine particles at the bed-water interface. *J. Coast. Res.*

- Veen, J. van, 1936. Onderzoekingen in de Hoofden. Nieuwe Verhandelingen Ba
taafsch Genootschap, Algemene Landsdrukkerij, 's Gravenhage.
- Visser, M, De Ruyter, W.P.M. en Postma, L., 1991. The distribution of suspen
ded matter in the Dutch coastal zone. Neth. J. Sea Res. 27: 127-143.
- Wolf, P. de en Baeteman, M., 1991. Ecologische impact van baggerspecielossin
gen voor de Belgische kust. Water 59: 119-126.
- Wollast, R. en Marijns, A., 1981. Evaluation des contributions des différentes
sources de matière en suspension à l'envasement de l'Escaut. Rapport
Final au Ministère de la Santé Publique: 152 pp.

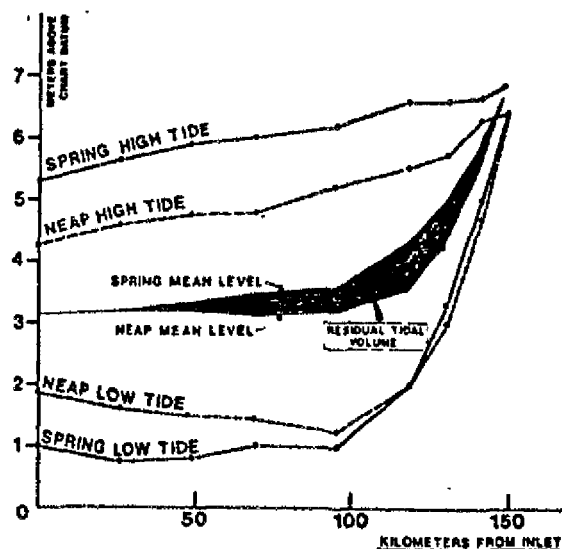


a. gravitational circulation



b. tidal pumping

Figuur 1. Schematische weergave van de beweging van fijn sediment in een estuarium als gevolg van gravitatie circulatie (A) en getijgeïnduceerd transport (B).



Figuur 2. De longitudinale variatie in de hoog- en laagwaterstand in het Gironde estuarium tijdens dood- en springtij. De gearceerde zone geeft het verschil in gemiddelde waterstand tussen dood- en springtij aan.