



Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Slib in de Westerschelde

Een beschrijving van de troebelheid en
slibverspreiding in de Westerschelde voor de
periode december 1998 tot juli 1999

Rapport RIKZ-99.026

Dirk van Maldegem
Ben de Winder
Aline Arends

december 1999

Colofon

redactie

Dirk van Maldegem

Gillis Wattel

Ben de Winder

Aline Arends

Ed Stikvoort

projectteam

Ben de Winder (projectleider)

Dirk van Maldegem (secretaris)

Aline Arends

Werkgroep in situ-metingen

Dirk van Maldegem (leider)

Gillis Wattel (secretaris)

David Louws

Piet van de Weijde

Gerard Spronk

Jan Theune

Kwaliteitscontrole

Ad Langerak OSBI

Bart Kornman OSBI

Herman Mulder ABW

opdrachtgever

Rijkswaterstaat directie Zeeland

contactpersonen

Rob Termaat (NWL)

Kees-Jan Meeuse (AXW)

Inhoud

Samenvatting	5
1. Inleiding	9
2. Methodiek	11
2.1 algemeen	11
2.2 troebelheidsmetingen	11
2.3 bagger- en stortgegevens	14
2.4 diversen	14
3. Resultaten	17
3.1 ontwikkeling slibgehalte in het water	17
3.1.1 lokale ontwikkelingen	17
3.1.2 langjarige slibconcentratie	21
3.1.3 normering slibconcentratie	21
3.1.4 havenslibstortingen	24
3.2 slibbalans	25
3.3 slibverspreiding over de Westerschelde	26
3.4 verkenning traceronderzoek	27
4. Conclusies	29
5. Literatuur	31

Samenvatting

Tijdens het boren van de tunnel onder de Westerschelde komen grote hoeveelheden sediment, voornamelijk klei, vrij. Het sediment wordt, indien niet hergebruikt, in de Westerschelde geloosd, door middel van schepen en via een pijpleiding in de buurt van de tunnel. Uit de MER studie is gebleken dat er nog veel onzeker is over de verspreiding en de gevolgen van het verspreiden van het slib in de Westerschelde. Deze onzekerheid wordt vooral veroorzaakt doordat de materiaaleigenschappen van de Boomse klei niet bekend zijn.

Vanwege deze onzekerheden is de aannemerscombinatie verplicht de verspreiding van het slib te monitoren.

In dit rapport is de troebelheid en slibverspreiding in de periode december 1998-juni 1999, beschreven, de periode voor aanleg van de Westerscheldetunnel. Op basis hiervan kunnen de effecten van de verspreiding van het boorslib beoordeeld worden.

Methodiek

De referentie situatie is gebaseerd op veldmetingen en is vergeleken met eerder uitgevoerde metingen. Er zijn 2 meetpalen geplaatst; meetpaal 1, bij Terneuzen, staat vlak bij het lozingspunt van de pijpleiding en meetpunt 2 staat bij Baalhoek. Bij beide meetpalen wordt de troebelheid gemeten op respectievelijk 3 en 2 diepten. Het troebelheidssignaal (mv) wordt omgezet naar slibconcentraties (mg/l) middels ijklijnen. De meetpalen geven lokaal een continu beeld van de troebelheid van het water. Om deze informatie om te zetten naar een ruimtelijk beeld zijn twee computermodellen beschikbaar, SLIB3D en Delft3D-WAQ.

Naast deze metingen is in juli een radiometrische scan uitgevoerd van het gebied oostelijk van de lozingspunten. Deze meting geeft de referentiesituatie van de sedimentsamenstelling van het bodemmateriaal. Naast de metingen die direct informatie geven over het slibgehalte of de sedimentsamenstelling zijn metingen verricht om de invloed van verschillende factoren op het slibsignaal te analyseren. De gemeten parameters zijn, stroomsnelheid, windsnelheid en -richting, waterstand, chloride gehalte en fluorescentie. Tevens zijn gegevens verzameld van significante havenslibstoringen in de omgeving van de meetpalen.

Resultaat

Het slibsignaal is afhankelijk van diverse factoren die op verschillende tijdsschalen spelen. Uit langjarige metingen in o.a. de Westerschelde blijkt dat in het slibsignaal een duidelijke seizoensinvloed zichtbaar is. In de winterperiode (januari - maart) is de slibconcentratie in het water hoger is dan in de zomer (juni - september). Van maart tot mei is een duidelijke daling zichtbaar en van september tot december is een sterke stijging van de slibconcentratie zichtbaar. Dit heeft verschillende oorzaken; de biologische activiteit en het klimaat. In de zomer is de biologische activiteit hoog en houden bodemdieren het slib vast waardoor het moeilijker in suspensie kan komen. Dit effect wordt versterkt door het rustige weer in de zomer. De winter- en de herfststormen woelen het slib, dat in de zomermaanden is bezonken, op. Dit gecombineerd met een lage biologische activiteit zorgt voor een hoge slibconcentratie in het water.

Naast deze seizoensinvloed is ook op kleinere tijdschaal een duidelijke variatie in het slibsignaal zichtbaar. Gedurende een getijperiode varieert de slibconcentratie in het water als gevolg van variatie in de stroomsnelheid. Ook de springtij-doodtij cyclus is zichtbaar.

Naast de boven beschreven variaties door suspensie en re-suspensie varieert de slibconcentratie in het water door import of export van slib in het systeem. In dit rapport is alleen de invloed van import op de slibconcentratie in het water onderzocht omdat als gevolg van de tunnel extra import van slib zal optreden.

Import van slib gebeurt via de Schelde, bij een hoge afvoer zal meer slib aangevoerd worden dan bij een lage afvoer. Omdat de afvoer gegevens nog niet beschikbaar zijn, is in dit rapport het chloride gehalte gepresenteerd. Het chloridegehalte is direct gecorreleerd met de afvoer van de Schelde.

Havenslibstoringen zorgen door rondpompen voor een tijdelijke verhoging van het slibsignaal. Alleen storingen van grote omvang binnen de afstand van 10 km, de getijweg afstand (= afstand die het slib gedurende een getij periode kan afleggen) van de meetpalen zijn zichtbaar.

De slibconcentratie is op verschillende manieren gepresenteerd. Omdat de Westerschelde een goed gemengd estuarium is, kan de slibconcentratie over de diepte worden gemiddeld. Door middeling over de getijperiode wordt de variatie over de getijperiode geëlimineerd. Uit het diepte- en getijgemiddelde signaal is de seizoensinvloed af te lezen. De gemiddelde concentratie varieert van 20-40 mg/l van mei-juni tot 70 mg/l van december-februari. Tevens zijn de diepte gemiddelde maximale en minimale waarden bepaald. De maximale waarden vertoont veel pieken (190-220 mg/l) en is daardoor niet erg geschikt om als referentie waarde te gebruiken, de minimale waarden (10-40 mg/l) gedurende hele periode daarentegen vertoont een stabiel verloop en is beter geschikt als referentie. De gemeten waarden komen goed overeen met de 20 jarige gemiddelden (1970-1990).

Om ook de invloed van de stroomsnelheid te elimineren is het slibsignaal genormeerd voor de stroomsnelheid. De invloed van het getij, de stroomsnelheid en de diepte zijn in dit signaal verdisconteerd, eventuele pieken in het signaal worden dus door andere factoren, zoals slibstoringen en hoge rivierafvoer bepaald. In de beschouwde periode zijn 2 duidelijke pieken zichtbaar. De eerste piek in begin februari valt gelijk met storingen uit de Braakmanhaven ter hoogte van de Middelpaalt. De tweede piek in maart kan verklaard worden uit een hoge Schelde afvoer. Opvallend is dat omvangrijke slibstoring van de Braakmanhaven van half april niet zichtbaar zijn. Deze slibstoring valt waarschijnlijk weg tegen de sterke daling van slibconcentratie als gevolg van de seizoensvariatie. Slibstoringen van de haven van Vlissingen zijn niet zichtbaar. Deze haven ligt op de grens van de getijweg afstand waardoor de verhoogde concentraties bij de meetpalen niet meer zijn waar te nemen.

Slibbalans

In de Westerschelde wordt jaarlijks $0,1 \cdot 10^6$ ton geborgen. Het slib bezinkt veelal op rustige plaatsen zoals schor gebieden en havens. Het sediment dat bezinkt in de havens wordt door baggeren en storten weer in het systeem gebracht. Uiteindelijk wordt het merendeel van het sediment afgezet in sedimentatie gebieden als het Land van Saeftinge. Uit de Schelde wordt vervuild slib verwijderd waardoor de aanvoer van slib uit België in Nederland zal verminderen. De effecten hiervan zijn vanwege de grote buffer nog niet zichtbaar.

Slibverspreidingsmodellen

De meetpalen geven op twee punten in het estuarium een continu beeld van de slibconcentratie. Om deze informatie te vertalen naar een ruimtelijk beeld zijn computermodellen ingezet. Het model SLIB-3D is tijdens de MER studie gebruikt. Dit model berekent de slibverspreiding op basis van een 3 dimensionale waterbeweging en is vooral geschikt om de verspreiding van het slib op lange termijn te berekenen. Het model DELFT3D-WAQ is in tegenstelling tot de naam gebaseerd op een 2 dimensionale waterbeweging. Hierdoor worden de transporten minder goed berekend. Dit model is daarom het meest geschikt om korte termijn effecten zoals vertroebeling door te rekenen.

Radiometrie

In juli is met het MEDUSA meetinstrument een radiometrische opname gedaan van de natuurlijke radioactieve straling van het sediment op de Westerschelde bodem. Met behulp van dergelijke metingen kan de ruimtelijke verspreiding van het sediment bepaald worden. De methode is in de Westerschelde toepasbaar. Het gebied is echter moeilijk in kaart te brengen door de grote variaties in diepte en stroomsnelheid. Door de aanwezigheid van slakken wordt het signaal lokaal sterk vertroebeld.

Conclusies

De metingen uitgevoerd tijdens de zgn. T0 meting vormen een goede referentie voor de periode waarin het boorslib uit de tunnel verspreid zal worden. Verwacht wordt dat vooral in de zomermaanden, als de natuurlijke slibconcentraties laag zijn, het boorslib zichtbaar is. De interpretatie van het genormeerde slibsignaal moet met verstand gebeuren omdat behalve havenslibstortingen ook andere factoren zoals hoge Schelde afvoer pieken in het signaal kunnen veroorzaken. Er zijn 2 modellen beschikbaar om de slibverspreiding te kunnen berekenen. Beide modellen kennen enige beperkingen en zijn aanvullend aan elkaar.

Radiometrie vormt een goede methode om de verspreiding van het slib op de bodem in kaart te brengen. Bij het gebruik van deze methode bij de monitoring van de verspreiding van het boorslib moeten echter wat praktische problemen worden opgelost.

1. Inleiding

De Nederlandse overheid heeft besloten tot de aanleg van de Westerschelde-oeververbinding: een geboorde tunnel onder de Westerschelde tussen Terneuzen en Borssele. Tijdens het boren komen diverse materialen vrij: zand en vooral klei. Deze zullen, indien er geen hergebruik mogelijk is, in de Westerschelde worden geloosd. De lozingen zullen in de omgeving van de tunnel zelf plaatsvinden: de geulen Everingen en Pas van Terneuzen. Een groot gedeelte van het geloosde sediment zal bestaan uit fijn materiaal, slib. Het slib zal in het water zweven en na verloop van tijd op de bodem bezinken. Als gevolg van diverse factoren (zie figuur 1) kan het slibgehalte in de waterkolom van een estuarium systeem sterk variëren. De voornaamste zijn:

- Getijstroom. Met de getijstroom wordt het slib door het estuarium getransporteerd en vindt aan- en afvoer vanuit zee plaats.
- Debiet van de Schelde. De grootte van het debiet is bepalend voor de hoeveelheid rivier slib en tevens op de positie van de overgang tussen het zoute en zoete water.
- Bagger- en stortactiviteiten, deze kunnen tijdelijk lokaal verhoogde slibconcentraties veroorzaken.
- Wind, kan periodiek zorgen voor een aandeel in de variatie, doordat wind geïnduceerde golven erosie veroorzaken van de intergetijde- en ondiepwater gebieden.
- Biologische processen. Het slibgehalte zoals dat in het veld gemeten wordt bestaat anorganisch en organisch materiaal. Biologische processen bepalen de hoeveelheid en de eigenschappen van het organische deel.

Tijdens de MER-procedure is de verwachte verspreiding van het te lozen slib beschreven met een model [Anoniem, 1998]. Geconcludeerd werd dat het goed voorspellen van het gedrag (verspreiding) van het te lozen slib omgeven is met vele onzekerheden:

Onzeker is of het materiaal (het gaat dan met name om de Boomse klei) erg fijn is of dat het in brokken geloosd zal worden. Het gedrag van dit materiaal is daar juist sterk van afhankelijk. Zal het slib lang in suspensie blijven (verhoogde slibgehalten in de waterkolom) of bezinkt het snel? En met de onzekerheid van het gedrag kan moeilijk voorspeld worden hoe het slib zich in het estuarium zal verspreiden. Is het relatief grof, dan zal het waarschijnlijk relatief snel en dicht bij de lozingspunten bezinken. Is het fijn, dan kan het veel langer in suspensie blijven en tot grote afstanden verspreid worden.

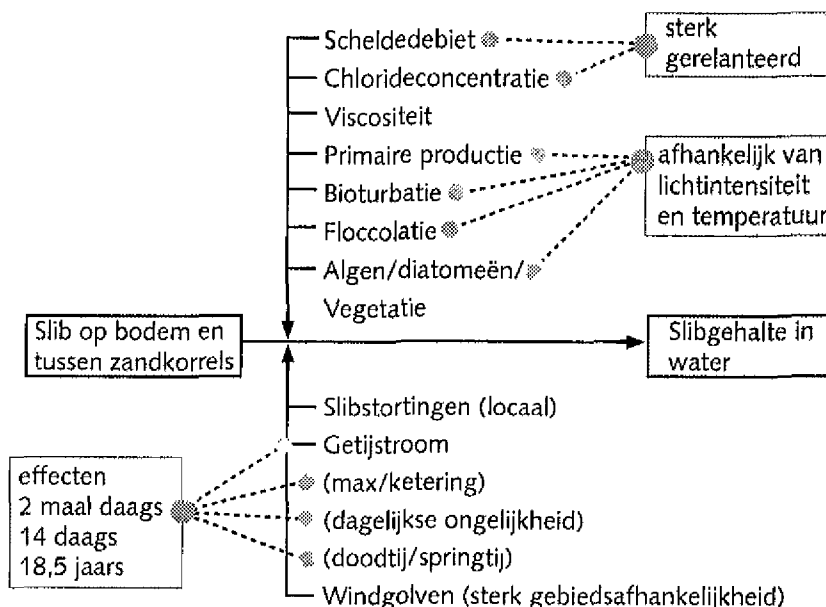
Vanwege die onzekerheden heeft het bevoegd gezag de aannemer een monitoringsverplichting opgedragen: de ontwikkeling van de troebelheid (als maat voor slibconcentratie in het water) en de ruimtelijke verspreiding van het geloosde fijne materiaal moet gevolgd worden.

Om de effecten van de lozingen op de troebelheid (slibconcentratie) en de verspreiding van slib in het Westerschelde-estuarium te kunnen beoordelen, dient de uitgangssituatie beschreven te worden.

Rijkswaterstaat Directie Zeeland heeft RIKZ opdracht gegeven om die uitgangssituatie vast te leggen. Dit rapport legt dit referentiebeeld vast. Het is bedoeld voor een specifieke doelgroep en is daarom geschreven vanuit een technisch-wetenschappelijke invalshoek. Op basis van dit

rapport dient de beheerder (RWS Directie Zeeland) in staat te zijn om de resultaten van de monitoring van de aannemer op hun juiste waarde te schatten.

Figuur 1:
Overzicht van factoren op de erosie
en depositie van slib



Samengevat komen in dit rapport de volgende onderwerpen aan de orde:

- Een uitgebreide beschrijving van het verloop van de troebelheid gedurende een aantal maanden voorafgaand aan het begin van het lozen van de boorspecie
- Een samenvatting van de slibbalans van de Westerschelde uit de eerder gedane studies [Salden, 1998]
- Een samenvatting van een vergelijkingsstudie tussen het slibverspreidingsmodel dat is gebruikt tijdens het MER en het model dat is gebruikt in de studie RESTWES. [Kranenburg 1999]
- Een samenvatting van de resultaten van een eerste bodemkartering met radiometrie naar de bodemsamenstelling van de Westerschelde rond de lozingsplaats [Limburg e.a. 1999]

Tijdens de totstandkoming van dit rapport is samengewerkt met het project RESTWES. Dit project had tot doel een demonstratie te geven hoe de combinatie van remote sensing, in situ meting en modelberekeningen een meerwaarde levert aan kartering en monitoring van zwevend stof in de Westerschelde.

2. Methodiek

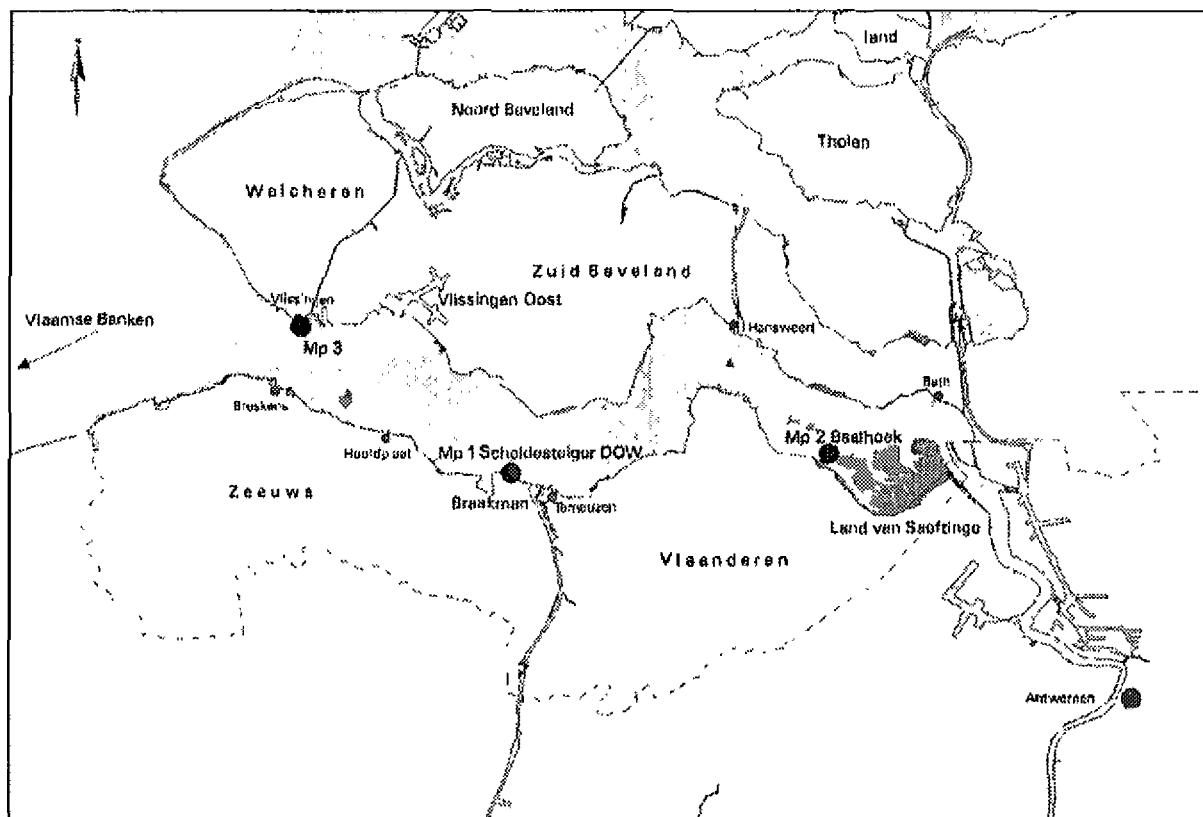
2.1 Algemeen

De input voor het referentiebeeld komt uit veldmetingen. Deze kent twee pijlers: troebelheidsmetingen (slibgehalte) van het water bij twee meetpalen en ruimtelijke verspreiding van het geloosde slib via radiometrie. De metingen zijn in de periode december 1998 - juni 1999 in het gebied verricht.

2.2 Troebelheidsmetingen

Meetlocaties:

De keuze van de meetlocaties hangt sterk samen met de verwachte effecten van de boorspecielozingen. Uit de MER-studie is gebleken dat het te lozen slib netto in oostelijke richting zal verplaatsen. De financiële randvoorwaarden lieten 2 meetpunten toe; het absolute minimum om de beide slibmodellen redelijk te kunnen draaien. Uiteindelijk is gekozen voor een meetpunt bij DOW (meetpunt 1) en een bij Baalhoek (meetpunt 2).



Figuur 2.
Meetlocaties Westerschelde in situ
troebelheidsmetingen

Meetpaal	parameters	nivo's (weegfaktor)
Scheldesteiger DOW Terneuzen (meetpunt 1)	troebelheid	NAP -4m (39%) NAP -11m (34%) NAP -17m (26%)
RD Coördinaten meetpaal X= 43631 Y= 374687 Z= NAP -19 m	fluorescentie waterstand	NAP -11m
RD coördinaten ADCP: X= 43732 Y= 374653 Z= NAP -19 m	stroomsnelheid stroomrichting	NAP -4m NAP -11m NAP -17m NAP -4m NAP -11m NAP -17m
Baalhoek (meetpunt 2)	troebelheid	NAP -4,5m (66%) NAP -8m (34%)
RD Coördinaten meetpaal X= 65541 Y= 376000 Z= NAP -9.5 m	waterstand	
RD Coördinaten ADCP: X= 65526 Y= 376011 Z=NAP -14 m	stroomsnelheid stroomrichting	NAP -4,5m NAP -8m NAP -4,5m NAP -8m
Wester Koopmans havenhoofd (meetpunt 3) RD Coördinaten X= 29092 Y= 384860 Z= NAP -5 m	troebelheid waterstand	NAP -4m
Verkeerspost Hansweert (meetpunt HANS) RD Coördinaten X= 58390 Y= 384990	windsnelheid windrichting	±NAP +14 m
Hoofdplaat (meetpunt westelijk van DOW)	chloridegehalte	NAP -1m NAP -7m

Tabel 1:
Overzicht van de verschillende
meetpalen en de verschillende
gemeten parameters

Meetpunt 1 (figuur 2) bevindt zich ter plaatse van het lozings-/verspreidingspunt van de boorspecie. Dit punt dient als indicator voor het directe lokale effect van de lozingen. Meetpunt 2 ligt oostwaarts hiervan en ligt zodanig ver van het lozingsgebied dat deze meetpaal niet in hetzelfde getij de slibstortingen zal kunnen meten. Deze meetlocatie kan vrij snel aangeven of door de sliblozingen bij Terneuzen een verhoging van het slibgehalte zal optreden in het oostelijk deel van de Westerschelde en of zodoende het verwachte resttransport in oostelijke richting plaatsvindt.

Het in figuur 2 aangegeven meetpunt 3 is voor dit rapport niet echt van belang. Hier hing reeds een troebelheidsmeter voor een ander doel. De locatie is ongunstig in het kader van deze studie. De meetgegevens zijn echter wel opgenomen in het datarapport over het vierde kwartaal van 1998.

De troebelheid van het water werd optisch gemeten met MEX3001-troebelheidsmeters, in de periode december 1998-juni 1999. De meetsensoren bevinden zich bij meetpunt 1 op 3 dieptes (NAP -4 m, -11 m en -17 m) en bij meetpunt 2 op 2 dieptes (NAP -4.5 m en -8 m), vanwege de geringere diepte. De troebelheid wordt per seconde gemeten. Per 10 minuten wordt vervolgens een gemiddelde signaalsterkte bepaald en via telemetrie bij de Meetdienst Zeeland ingewonnen. De sensoren worden wekelijks schoongemaakt, waarvan een logboek wordt bijgehouden. Het signaal na schoonmaken is hooguit 5 mg/l. lager dan voor het schoonmaken. Het signaal van de sensor (mV) is geconverteerd naar slibgehalten (mg/l) door middel van 4-wekelijkse ijklijnen. De monsternamen ten behoeve van de ijklijnen geschiedt in duplo voor de bepaling van de korrelgrootteverdeling en bij gemiddeld getij (tussen dood- en springtij in) om beïnvloeding via de doottij-springtijcyclus te voorkomen.

Van de eerste serie monsters is het slibgehalte gravimetrisch bepaald volgens RIKZ standaard voorschrift A058. Van de tweede serie is de korrelgrootteverdeling bepaald m.b.v. de MALVERN (type Mastersizer X (lenzen 300 mm, range 1,2 tot 600 (µm)) volgens RIKZ voorschrift A066. De gegevens uit deze tweede reeks dienen als toekomstig vergelijkingsmateriaal en als controle voor de eerste reeks.

Indien de correlatiecoëfficiënt (r^2) kleiner is dan 0,9 is de ijklijn van de volgende periode afgewacht en is deze voor de verwerking van de resultaten gebruikt. Het gemeten slibsignaal is gemiddeld over een periode van het dubbeldagse getij om het effect van de dagelijkse ongelijkheid te middelen. Een dubbeldagse getijperiode duurt 24 uur en 50 minuten. Daarnaast is het gewogen gemiddelde over de diepte bepaald. De weegfactor voor de verschillende sensoren is weergegeven in tabel 1.

Deze berekende slibgehalten zijn maandelijks in de decentrale DONAR van RIKZ Middelburg opgenomen.

De omrekening van troebelheid naar slibgehalte met de ijklijn heeft een mogelijke onnauwkeurigheid van 5 mg/l tot gevolg. In de gemeten parameters zijn systematische en toevallige fouten voorzover mogelijk verwijderd. Hierdoor bevatten de meetreeksen gaten. Gedurende de zomerperiode heeft aangroei van pokken, algen en mosselzaad optische waarneming soms verhinderd. In dergelijke gevallen is een deel van de reeks afgekeurd. Een gat van 10 minuten per 25 uur is rechtlijnig geïnterpoleerd.

2.3 Bagger- en stortgegevens

Gegevens van het baggerslib uit de havens zijn afkomstig van de beherende dienstkringen Midden Zeeland en Zeeuws Vlaanderen van Rijkswaterstaat, directie Zeeland. De stortgegevens zijn geleverd in kubieke meters. De analysesresultaten hiervan om te kunnen terugrekenen naar tonnen droge stof waren niet voorhanden. Er is daarom teruggegrepen naar analysegegevens vóór 1999. Hieruit bleek dat ca. 60% kleiner is dan 63 (m. Aangezien de slibpercentages in de tijd redelijk constant zijn, is de fout die hiermee wordt gemaakt betrekkelijk gering. De hoeveelheden zijn omgerekend naar tonnen droge stof slib per dag (tds/dag). De droge dichtheid is gesteld op 0,8 [ref. Mulder, 1995]. De omrekeningsfactor is zodoende bepaald op 60% van 0,8, wat overeenkomt met 0,5. Verder zijn de totalen gemiddeld over het aantal werkdagen van de baggerperiode. Alleen de havengegevens, die binnen de getijwegafstand (ca. 12 km) van de meetpunten liggen, zijn gebruikt. Dit zijn voor meetpunt 1 de havens van DOW, Terneuzen en Vlissingen Oost. Voor Baalhoek zijn dit Hansweert, de veerhavens Perkpolder en Kruiningen, Walsoorden en Paal. Aangezien de stortingen van deze kleinere havens kleiner is dan van de havens rond meetpunt 1, wordt verwacht dat het effect hiervan minder zal zijn dan 5 mg/l. En dat valt binnen de meetnauwkeurigheid van het gemeten slibsignaal. De informatie uit deze bronnen is daarom vooralsnog buiten beschouwing gelaten. Storten van drempelspecie is buiten beschouwing gelaten, omdat het slib slechts 2 tot 5% van de totale hoeveelheid bedraagt. De slibmassa van drempelspecie in de omgeving is daarmee eveneens een orde kleiner dan die van de specie uit de havens. De grootte van dit effect valt dus naar schatting ook binnen de nauwkeurigheid van het slibsignaal (10 mg/l).

2.4 Diversen

Stroomsnelheid

De stroomsnelheid- en richting is gemeten met een ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) van 24 november 1998 t/m 15 maart 1999 bij de DOW Scheldesteiger en van 15 maart tot eind juni 1999 bij Baalhoek. Alleen de gegevens van de dieptepositie van de troebelheidsmeters zijn verwerkt in dit rapport.

Windgegevens

Gegevens van windsnelheid en windrichting zijn afkomstig van de scheepvaart verkeerspost te Hansweert.

Waterstand

De gegevens die gebruikt zijn voor DOW (meetpunt 1), zijn ontleend aan het getijmeetstation Terneuzen. De gegevens gebruikt voor Baalhoek (meetpunt 2) zijn ontleend aan het getijmeetstation van Hansweert.

Algenbloei

Als schatter voor planktonische algenbloei is fluorescentie gebruikt.

Slibmodellen

In het kader van de MER Boorspecie is de verspreiding van boorslib in de Westerschelde voorspeld met het RIKZ-model SLIB3D [Salden, 1997 en 1998]. Dit model is afgeregeld op de huidige slibbalans van de Westerschelde [Van Maldegem, 1997].

In het kader van RESTWES heeft WL Delft (Waterloopkundig Laboratorium Delft) gerekend met het DELFT3D-WAQ model. Dit model is voor de RESTWES studie 2D (dieptegemiddeld) opgezet, omdat wordt aangenomen dat het systeem van de Westerschelde dusdanig veel energie bevat dat de verticale gradiënt in de slibconcentratie gering is. Het DELFT3D-WAQ model maakt gebruik van remote sensing (satelietopnames) en rekent met variabele klimatologische gegevens (windsnelheid en -richting) en met een springtij/doodtij cyclus. Op deze gegevens is het model dan ook afgeregeld en niet op de slibbalans. Met het model wordt de verspreiding van meerdere slibfracties berekend.

Langjarige slibgegevens

Voor een vergelijk met langjarige datareeksen van slib zijn de bemonsteringslocaties in het Pas van Terneuzen 3 km westelijk en 8 km oostelijk van DOW (locatienr. 5 en 6) en in het Zuidergat 3 km westelijk van Baalhoek en het Pas van Rilland 11 km oostelijk van Baalhoek (locatienr. 8 en 9) gebruikt.

Slibbalans

De balans van de Westerschelde tussen Vlissingen en de grens is voor wat betreft de waterbodem gebaseerd op gegevens uit de periode 1975-1985 [van Maldegem 1992]. De afgelopen jaren is veel aandacht geschonken aan de slibbalans van de Zeeschelde (Vereeke in 1993, Verlaan in 1998, Salden in 1998). De balans van de Westerschelde is naar aanleiding daarvan enigszins aangepast [Salden 1998, Van Maldegem, 1997].

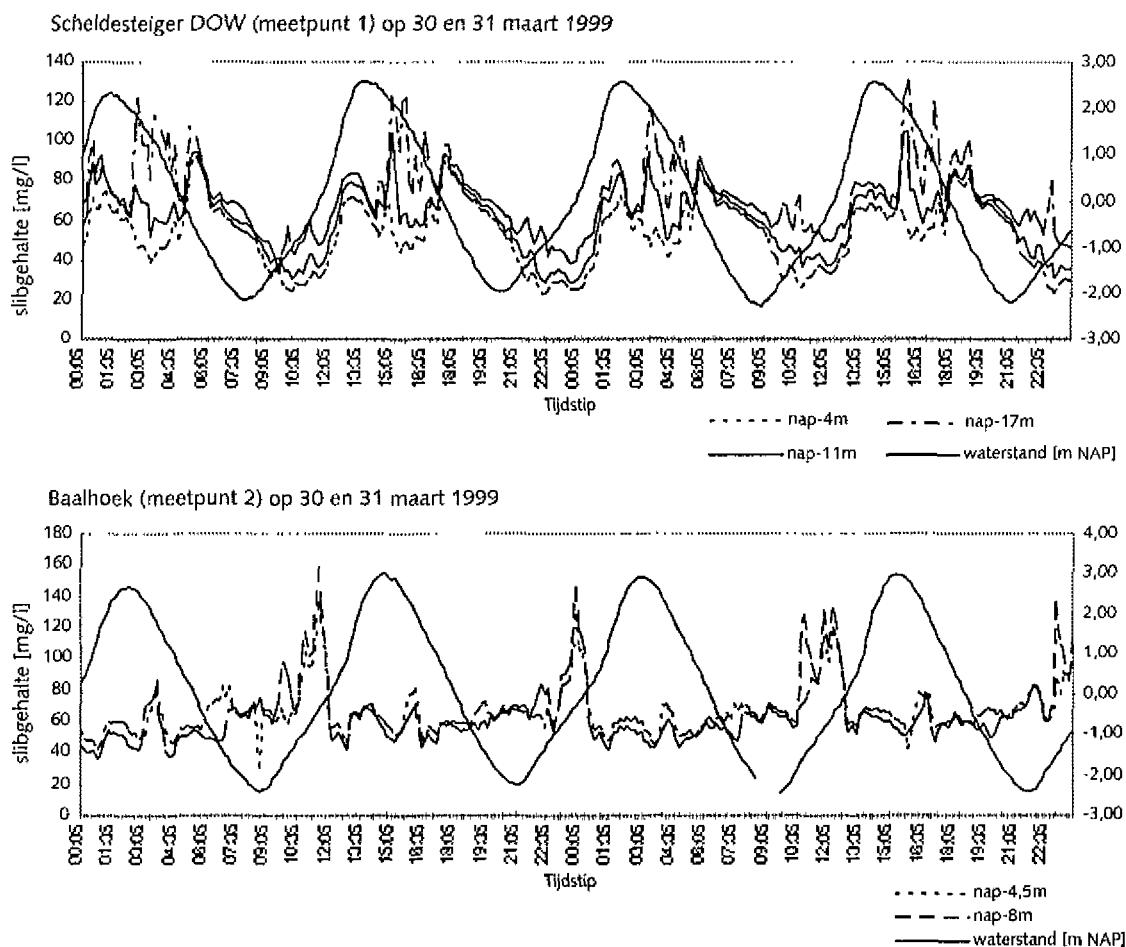
Radiometrie

De radiometrische scan is een veelbelovende nieuwe methodiek. Met relatief geringe inspanning kan een groot gebied 'gemeten' worden. Deze methode is toegepast omdat de Boomse klei een zeer specifieke radiometrische 'fingerprint' heeft. Daarmee is de ruimtelijke verspreiding van het materiaal waarschijnlijk goed te volgen. In het kader van deze studie is in juli 1999 een (referentie)meting uitgevoerd in een ruim gebied rond het (toekomstig) verspreidingspunt van de boorspecie.

3. Resultaten

In dit rapport zal in detail aandacht worden besteed aan de variatie van de troebelheid in ruimte en tijd. De kartering van de bodem met behulp van de MEDUSA techniek en de vergelijking van de gebruikte modellen is in afzonderlijke rapporten weergegeven. Hier zal worden volstaan met een korte samenvatting uit deze rapporten.

3.1 Ontwikkeling van het slibgehalte in het water



Figuur 3:
Verloop slibgehalte bij DOW en
Baalhoek gedurende 48 uur

3.1.1 Lokale ontwikkelingen

Het verloop van het lokale slibgehalte is nergens precies hetzelfde doordat de meeste processen ruimtelijk variëren. Dit geldt zowel in de tijd als op de verschillende diepteniveaus in de waterkolom. Als voorbeeld is het verloop van het slibgehalte bij Scheldesteiger DOW en Baalhoek op 30 en 31 maart gegeven (Figuur 3).

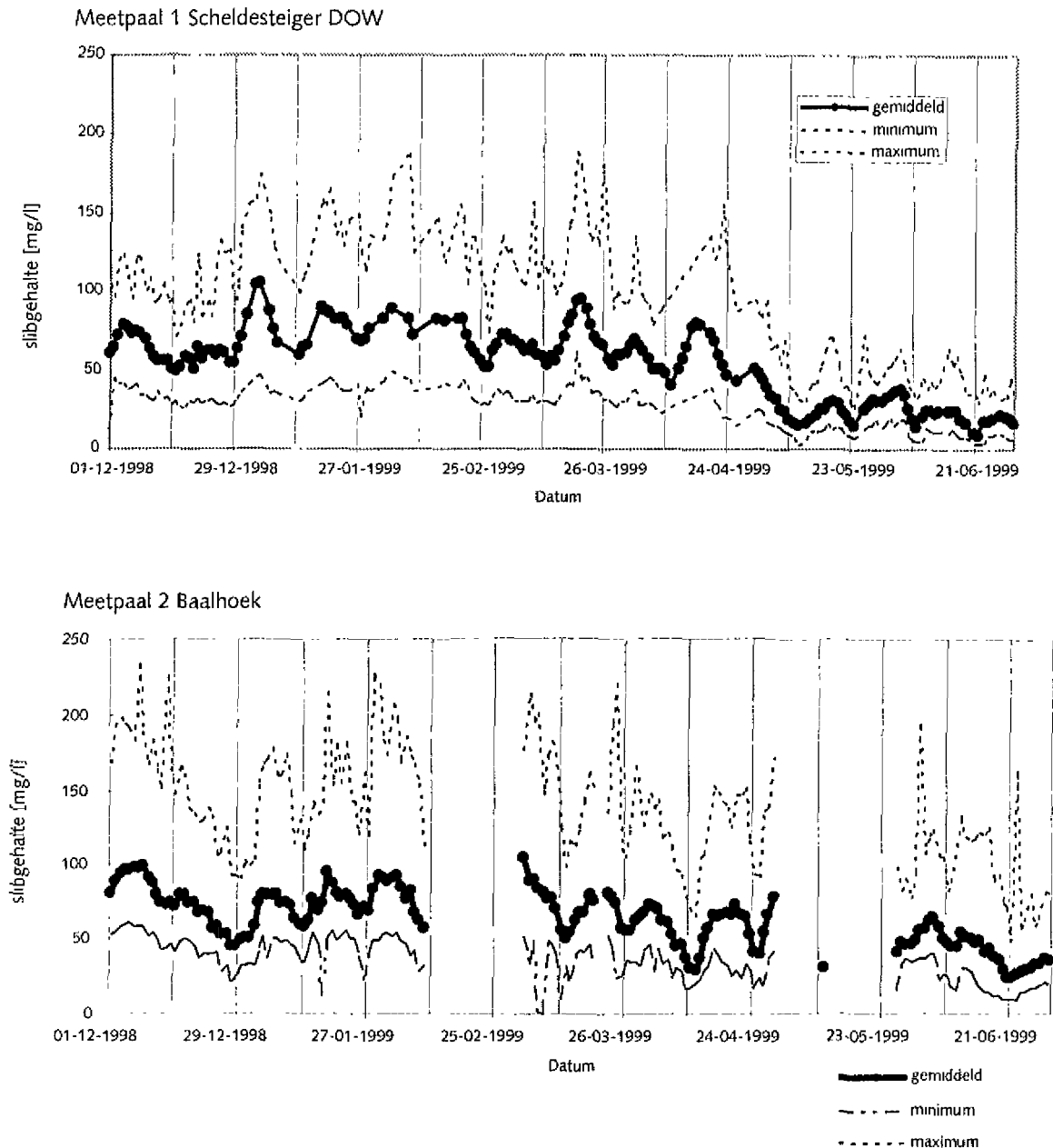
Over het algemeen geldt dat de slibconcentratie hoger is op grotere diepte. Dit effect is bij DOW het duidelijkst zichtbaar, omdat daar de waterdiepte en daarmee de afstand tussen de sensoren het grootst is. De variatie die optreedt tussen de bovenste punten bij DOW (-4, -11 NAP) komt overeen met de variatie die bij Baalhoek zichtbaar is. Per locatie vertoont de vorm van het signaal verschillen; er is echter wel een redelijk opeenvolgend zelfde patroon. In de 2 maal dagelijkse getijperiode komen bij DOW twee duidelijke pieken voor en bij Baalhoek een duidelijke piek. De vorm van het signaal gedurende een getijperiode heeft sterk te maken met de ligging van de locatie. De variatie van het signaal gedurende een getijperiode is voornamelijk het gevolg van de lokale stroomsnelheid. De sterke pieken in het signaal treden meestal op kort na maximum stroomsnelheid. Dit geldt met name voor meetpunt 1 bij DOW. Bij Baalhoek is dit kort voor de kentering. De ebsnelheid bij meetpunt 1 is groter dan de vloedstroomsnelheid, de slibpieken bij eb zijn dan ook hoger dan de pieken bij vloed. Meetpunt 2 (Baalhoek) is meer in een recht stuk van het estuarium gelegen. Hier geldt dat de maximum ebstroom en vloedstroom redelijk overeen komen. De pieken in het slibsignaal bij meetpunt 2 zijn veel minder opvallend dan bij meetpunt 1. Oorzaak hiervan is dat meetpunt 2 gelegen is in de inloop van het ondiepe Speelmansgat (figuur 2). Opvallend is de piek in het slibsignaal bij meetpunt 2 ongeveer 2 uur na laagwater. Hierbij verdubbelt het slibgehalte. Deze piek duurt ongeveer 30 minuten. Mogelijke oorzaak is het aantrekken van de vloedstroom over de ondiepe doch redelijk slibrijke inloop van het Speelmansgat (ondieper dan NAP -5 m) ter hoogte van het Konijnenschor, waardoor de waterkolom tijdelijk is gevuld met veel slib. Zodra dit slib de waterkolom heeft gevuld is het maximum voorbij en zal het materiaal het Land van Sjaftinge invoeren. Tijdens de ebstroom komt dit materiaal weliswaar voor het grootste deel weer terug, maar dit gaat meer geconcentreerd door de geul zelf. De meetpaal ligt daarvoor teveel in de luwte.

Het gemiddelde slibgehalte op 30 en 31 maart 1999 bedraagt bij zowel DOW als Baalhoek ca. 60 mg/l. Dit komt overeen met het beeld dat het Schelde-estuarium een goed gemengd systeem is en wordt verder bevestigd door de berekeningen met het 3D slibmodel. Het impliceert dat de trendmatige veranderingen van het slibsignaal te volgen zijn door continu meten op enkele vaste locaties.

De variaties over het getij en de waterkolom geven een detailniveau, dat niet direct interessant is voor de tijdschaal van de T0 situatie. Dit detailniveau is alleen nuttig voor de beoordeling van het ter plekke gemeten signaal. Het slibsignaal is daarom bewerkt. In dit rapport worden alleen de bewerkte gegevens gepresenteerd. In de datarapporten zijn de ruwe gegevens gepresenteerd.

Het dubbel-daags getijgemiddeld slibgehalte (figuur 4) vertoont zowel bij DOW als bij Baalhoek zeker constant verloop. Het verloop vertoont een vrij ruwe 14 daagse cyclus met een variatie van ca. 20 mg/l. De periode van deze cyclus komt overeen met de doortij-springtij variatie. De minimale waarden, die bij Baalhoek ca. 10 mg/l hoger liggen, zijn te beschouwen als het "washload". Dit is het zeer fijne deel van het slib, dat heel weinig turbulentie nodig heeft om in suspensie te blijven. De maximale waarden vertonen een bovengrens tot 190 mg/l bij DOW en 220 mg/l bij Baalhoek. Deze bovengrens zijn de pieken in het slibsignaal na maximum stroomsnelheid. Opvallend is dat de maximale waarden in de winterperiode veel hoger zijn dan in de zomerperiode.

De minimale waarden vertonen een heel stabiel verloop. Begin mei is met het MWTL meetnet een verhoogd chlorofyl gehalte gemeten (algenbloei).



Figuur 4:
Verloop dubbeldaags getijgemiddeld
slibgehalte bij DOW en Baalhoek. Het
verloop is diepte gemiddeld; het
minimum en maximum zijn de
minimale en maximale waarde tijdens
het dubbeldaags getij

Deze piek is niet terug te vinden in een verhoging van het slibgehalte.
De verhoging van de primaire productie leidt wel tot verhoging van de
troebelheid, maar zal niet bijdragen tot een verhoging van de slibmassa.

Dit komt omdat het geproduceerde organische materiaal een verwaarloosbare dichtheid heeft.

Gedurende de gemeten periode zijn een aantal karakteristieke fasen in de slibconcentratie waar te nemen (tabel 2). Globaal gezien zijn de concentraties gedurende de wintermaanden hoog.

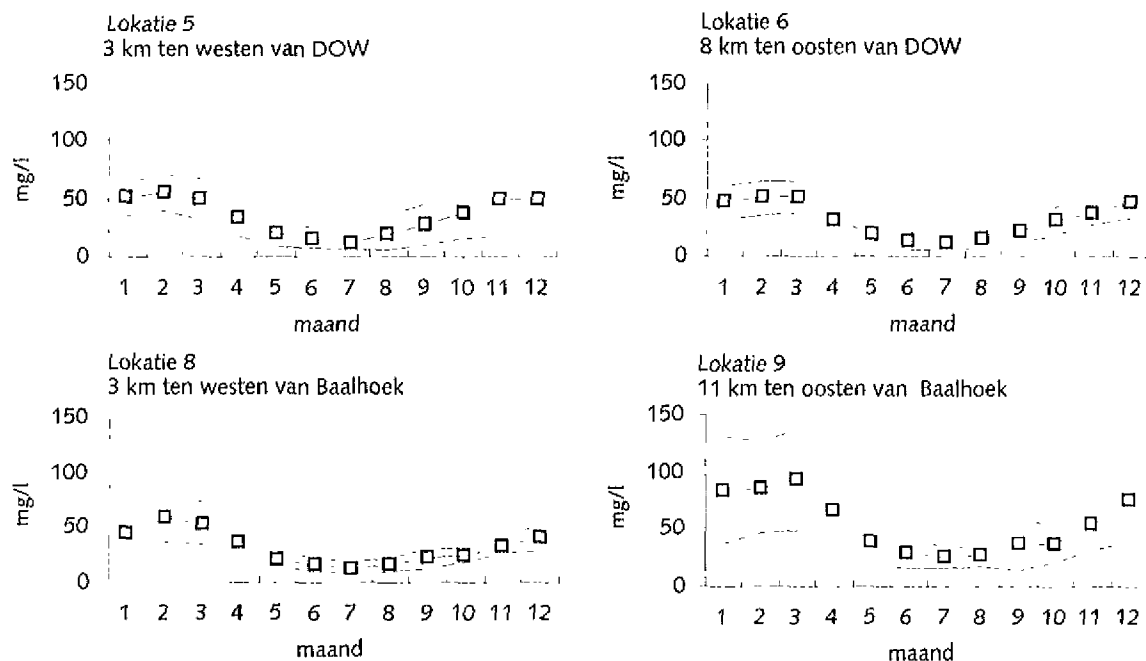
Deze worden gevolgd door een overgangsfase in het vroege voorjaar en gaan over naar een periode met lage slibconcentraties gedurende de maanden mei en juni. De scherpte in de begrenzing van deze fasen hangt af van de plek waar gemeten wordt in de Westerschelde.

Geklusterde maanden	DOW meetpunt 1	Baalhoek meetpunt 2
December 1998 t/m februari 1999	70	70
Maart t/m april 1999	60	60
Mei t/m juni 1999	20	40

Tabel 2:

Verloop getijgemiddeld slibgehalte
[mg/l] bij DOW en Baalhoek

Wanneer de getijgemiddelde slibgehalten van DOW en Baalhoek met elkaar worden vergeleken dan wordt een positieve lineaire correlatie gevonden in de december en de periode maart t/m juni. In januari en februari is deze er niet. Hieruit wordt geconcludeerd dat effecten op de slibconcentratie die op een plek worden gemeten niet direct te vertalen zijn naar een plek verderop in het estuarium en dat de gevonden positieve correlatie mogelijk op toeval berusten. De oorzaken die hiervoor genoemd kunnen worden zijn o.a. het verschil in morfologische karakteristieken van de omgeving (zoals overschot aan sediment, de verdeling van het sediment, de hoedanigheid van de intergetijdegebieden en de hoedanigheid van de wind), de invloedssfeer van de Schelde en de concentratie van de havengebieden. Het signaal bij DOW is sterker beïnvloed door stortingen van havenslib dan dat van Baalhoek.



Figuur 5:
Gemiddelde slibconcentraties over de jaren 1970 tot 1990. Locatie 5 en 6 betreft DOW; locatie 8 en 9 betreft Baalhoek. De lijn met blokjes is de maand gemiddelde waarde; de omhullende lijnen is de 2 σ standaardafwijking van alle waarnemingen in de betreffende maand

3.1.2 Langjarige slibconcentraties

Nagegaan is in hoeverre het gemeten beeld past in het algemene beeld betreffende de slibconcentraties van de Westerschelde (Figuur 5). Dit beeld is gebaseerd op wekelijkse bemonsteringen van het oppervlaktewater in de periode 1970 t/m 1990 [Van Maldegem & Storm, 1990]. Deze gegevens zijn ook gebruikt bij de beschrijving van de troebelheid van de Nederlandse zoute wateren over de periode 1930-1990 [Anoniem, 1992]

De locaties 5, 6, 8 en 9 vormen een reeks van waarnemingen richting Belgische grens. De reeks laat zien dat het gemiddelde in de slibgehalte in de periode eind zomer tot het vroege voorjaar van het volgende jaar hoger wordt in oostwaartse richting. Dit is naar de richting van het troebelheidsmaximum.

Geconcludeerd kan worden dat de recent gemeten slibgehalten bij DOW en Baalhoek binnen de range liggen van de bemonsteringen in de periode 1970 t/m 1990. Waarbij bij de vergelijking van de langjarige data er rekening moet worden gehouden, dat de waarden in deze tabel oppervlaktewater betreffen en zodoende ongeveer 10 mg/l lager zijn dan het gemiddelde gehalte over de waterkolom.

3.1.3 Normering slibconcentratie

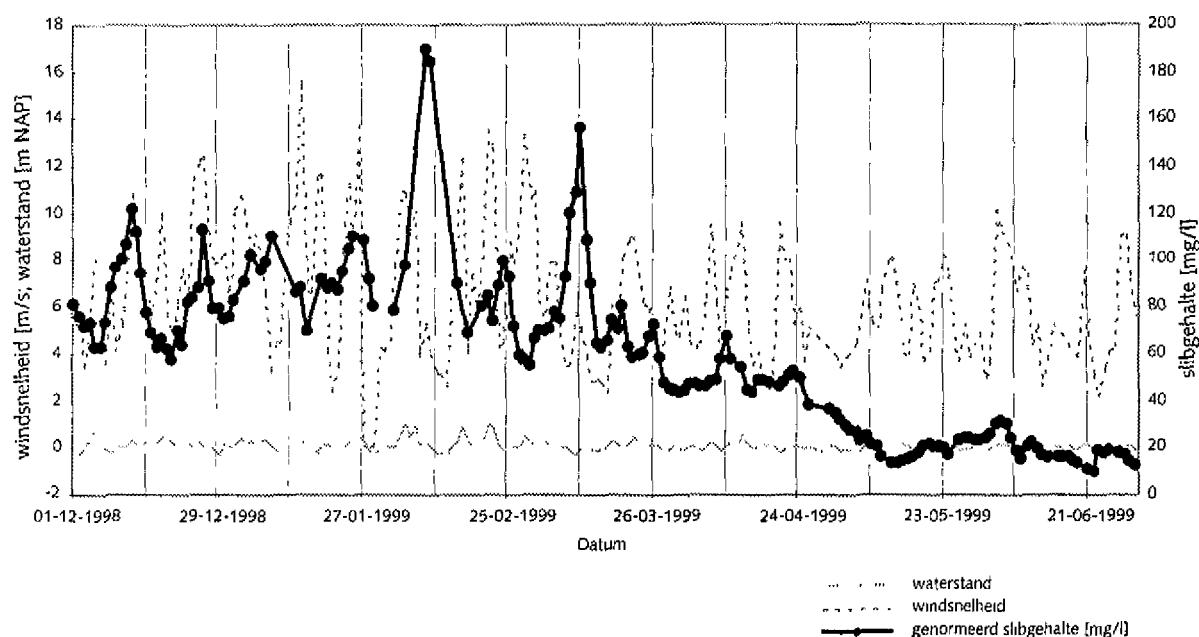
In figuur 3 is het getijgemiddelde slibgehalte weergegeven, het signaal vertoont echter nog variatie die wordt veroorzaakt door factoren als stroomsnelheid, doodtij- springtijcyclus etc. De hoeveelheid slib in suspensie is op korte tijdschaal sterk afhankelijk van de stroomsnelheid.

Het moment van in suspensie gaan van slib is afhankelijk van de schuifspanning (τ_b) en dit is een functie van de weerstand van de bodem (C_h) en de stroomsnelheid bij de bodem in het kwadraat (v_b^2). In formulevorm:

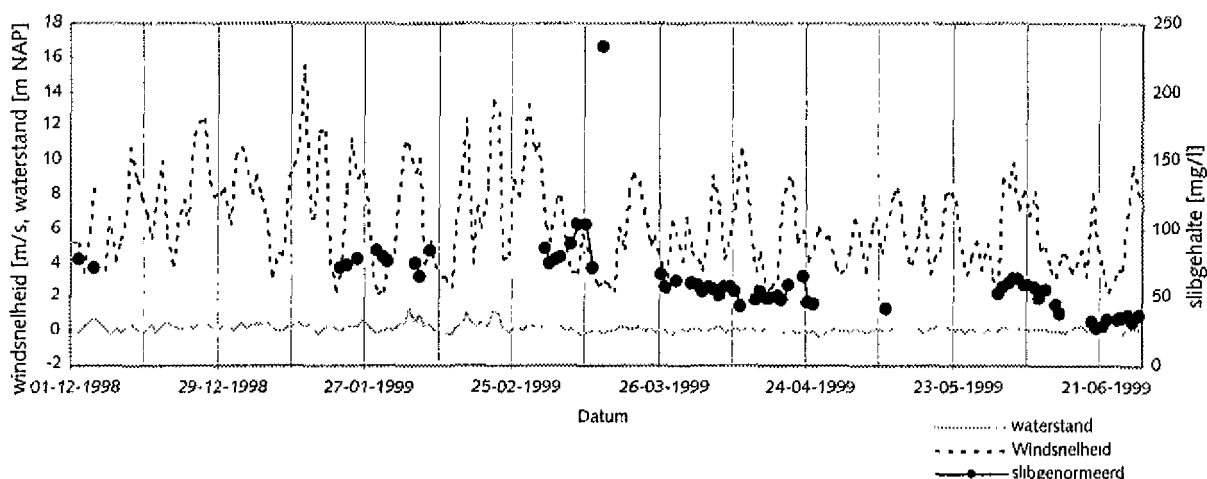
$$\tau_b = f (v_b^2 / C_h)$$

De stroomsnelheid bij de bodem verloopt recht evenredig met de gemeten stroomsnelheid in de waterkolom. De stroomsnelheid in het estuarium varieert als gevolg van de waterdiepte en als gevolg van het getij. Door het slibgehalte te delen door het kwadraat van de stroomsnelheid en te vermenigvuldigen met het kwadraat van het gemiddelde hiervan over de hele meetperiode vindt normering plaats voor de effecten van de stroomsnelheid op het deel van het slib, dat direct in beweging kan komen. Hiermee wordt bereikt dat alle slibgehalten worden omgerekend naar een gehalte tijdens de gemiddelde stroomsnelheid.

De in figuur 6 (DOW steiger) en 7 (Baalhoek) zichtbare variatie in het slibgehalte is dus onafhankelijk van de schatter voor de schuifspanning en wordt voornamelijk veroorzaakt door antropogene en biologische factoren.



Figuur 6:
Genormeerde slibgehalte,
windsnelheid en waterstand van
meetpunt 1 (DOW)



Figuur 7:
Verloop genormeed slibgehalte,
windsnelheid en waterstand bij
meetpunt 2 (Baalhoek)

In het genormeerde signaal is een 14 daagse slinging zichtbaar, die samenvalt met de doodtij- springtijcyclus. De hypothese is dat dit een gevolg is van verdunning door het wisselende watervolume. De invloed hiervan kan sterk wisselend zijn omdat de intergetijgebieden relatief veel slib bevatten. Een vrij constant verloop in de periode december 1998 t/m februari 1999 wordt gevolgd door een daling in de periode maart t/m half april 1999, een constant verloop in de tweede helft van april, daarna een scherpe daling tot de tweede helft van mei en vervolgens een vrij constant verloop in de periode mei t/m juni 1999. Deze variatie is het gevolg van de seizoensinvloed, met name biologische factoren spelen hier een belangrijke rol.

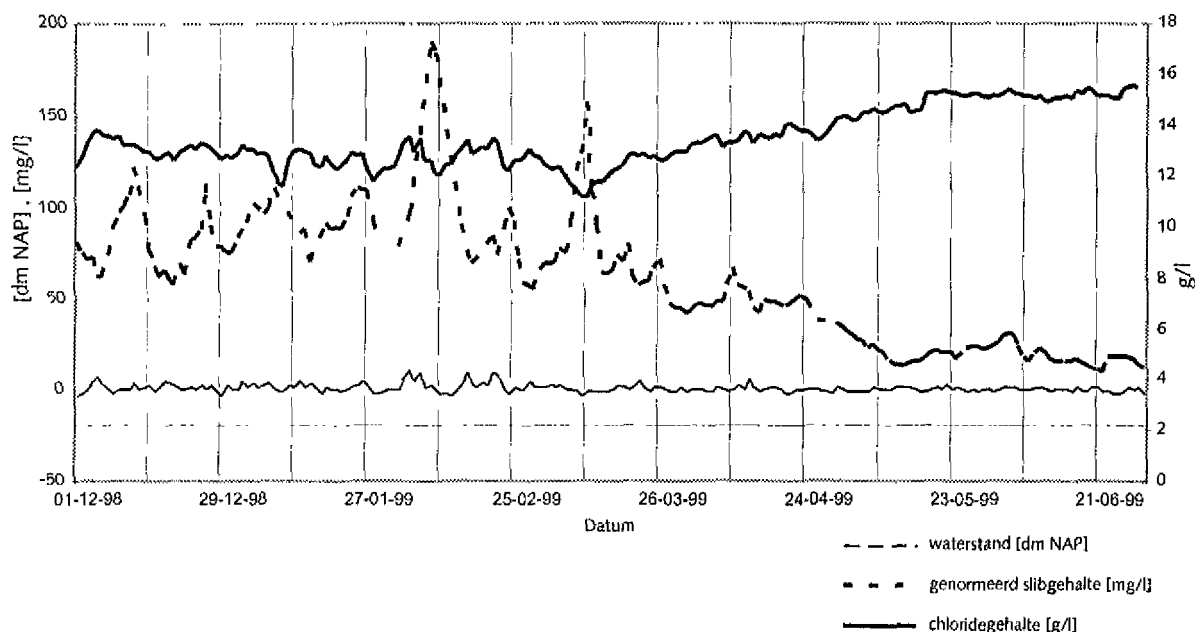
Opvallend is dat gedurende het slingerende verloop van december t/m februari de gemiddelde waterstand hoge fluctuaties vertoont. In de daaropvolgende periode is deze slinging veel minder en is de gemiddelde waterstand veel constanter. In de slinging vallen de hoge waarden van het slibgehalte ongeveer samen met de lage waarden van de waterstand en omgekeerd vallen de lage waarden van het slibgehalte ongeveer samen met de hoge waarden van de waterstand. De dalen en pieken zijn in de winterperiode sterker als gevolg van opzet van het getij.

Het signaal bevat twee duidelijke pieken. De eerste piek is op 9 t/10 februari. Deze piek valt middenin een periode van slibstoringen van de Braakmanhaven ter hoogte van de Middelpaalt. De 2e piek omstreeks 12 maart valt samen met een sterke daling van het gemiddelde chloridegehalte. De meest aannemelijke verklaring hiervoor is dat dit een gevolg is van een stijging van de Schelde-afvoer.

Ten tijde van deze studie waren de gegevens van de Schelde-afvoer niet beschikbaar, zodat nu de chloride concentraties als schatter voor de debieten van de Schelde zijn gebruikt (figuur 8). Uit studies is bekend dat een dergelijke daling niet het gevolg kan zijn van spuien van het Zoommeer of het kanaal van Gent van Terneuzen.

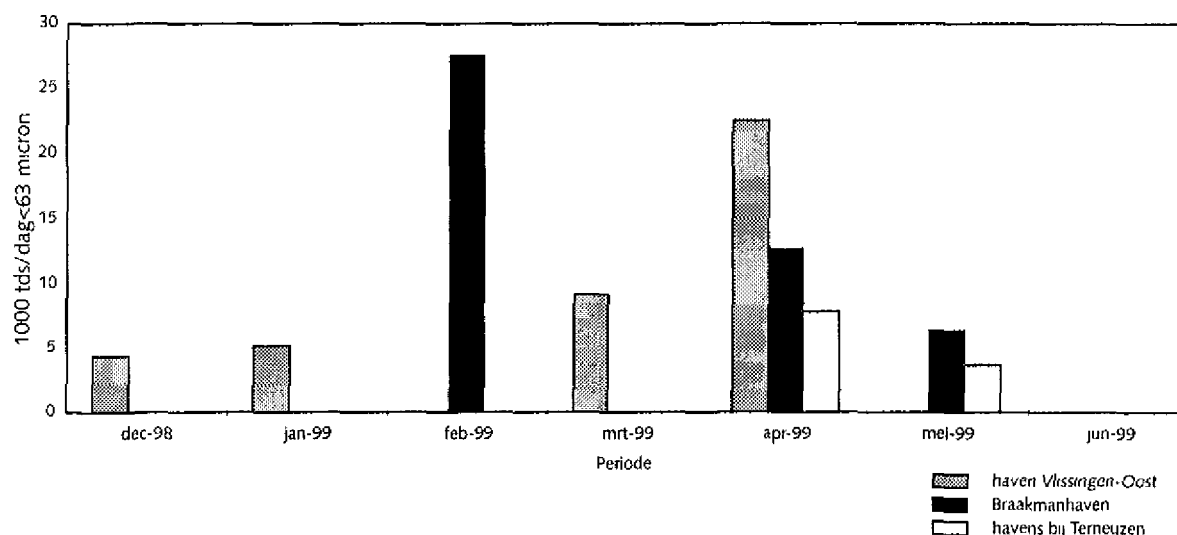
3.1.4 Havenslibstortingen

Het storten van havenspecie van de Braakmanhaven van medio februari valt samen met een sterke verhoging van het genormeerde slibgehalte bij meetpaal DOW Scheldesteiger (Figuur 6). Voor de overige stortingen is op dit moment is geen statisch significante relatie te leggen tussen de stortingen en het verloop van het slibgehalte. De omvangrijke storting



Figuur 8:
Verloop getijgemiddelde waterstand,
genormeed slibgehalte en
chloridegehalte bij DOW

van de Braakmanhaven medio april bevindt zich in de overgang van de hoge slibgehalten gedurende de winterperiode naar de lage slibgehalten gedurende de zomerperiode. Het eventuele effect is hierdoor mogelijk niet te zien. De stortingen bij Vlissingen zijn niet zichtbaar. De haven ligt op de rand van de getijwegafstand en ligt daardoor waarschijnlijk te ver weg om van invloed te kunnen zijn. Tijdens de getijweg wordt het materiaal goed gemengd en zodoende goed verdeeld over het gehele estuarium. Een en ander betekent dat alleen door stortingen van slib in de directe omgeving het verloop van het lokale slibgehalte beïnvloed wordt.



Figuur 9
Overzicht van de verschillende
havenslibstortingen in de
Westerschelde omgeving DOW
gedurende de meetperiode (tds
betekent tonnen droge stof)

3.2 Slibbalans

De totale hoeveelheid slib in de Westerschelde komt voornamelijk via de Schelde en vanuit zee. De massa, die de Schelde momenteel aanvoert is recent geschat op $73 \cdot 10^3$ t/jr [Salden, 1998]. De hoeveelheid fluviatiel slib is verminderd t.o.v. vóór 1990 omdat door sanering van de Vlaamse overheid veel slib is verwijderd uit het aangrenzende Belgische deel van het Schelde-estuarium. De ingaande massa slib vanuit zee is niet rechtstreeks te meten. Deze massa bevat zowel marien slib vanuit het Kanaal en de Vlaamse Banken vóór de Belgische kust als fluviatiel slib, dat is afgevoerd door de grote rivieren. De inkomende massa is geschat met behulp van de gegevens uit de slibbalans van 1992 en bijstelling voor de ontwikkelingen op de Zeeschelde op $130 \cdot 10^3$ t/jr [Van Maldegem, 1997].

De uitgaande massa slib, is slib dat de Zeeschelde opgaat $53 \cdot 10^3$ t/jr [Salden, 1998] en slib dat de zee opgaat $10 \cdot 10^3$ t/jr [Van Maldegem, 1997]. Bij alle schattingen is gebruik gemaakt van de verhouding marien-fluviatiel slib. In het kader van dit rapport kan niet worden ingegaan op de spreiding van de berekende afzonderlijke massa's marien/fluviatiel slib.

Netto verdwijnt bij de Belgisch Nederlandse grens $20 \cdot 10^3$ t/jr slib naar de Zeeschelde en komt bij Breskens- Vlissingen $120 \cdot 10^3$ t/jr slib het estuarium in. In totaal vangt volgens deze benadering het estuarium jaarlijks $0,1 \cdot 10^6$ t/jr slib.

De massa slib in de Westerschelde bedraagt naar schatting 10 miljoen ton en neemt jaarlijks dus met $0,1 \cdot 10^6$ t/jr slib toe. Het meeste slib zit opgeslagen in de schorgebieden. Het Land van Saeftinge heeft hierbij het grootste aandeel.

De geul en plaatgebieden bevatten naar schatting tussen de 1 en 10 miljoen ton slib (verspreid over een diepte van 10 tot 50 cm in de bodem). In suspensie zit gemiddeld tussen de $60 \cdot 10^3$ (zomer) en $180 \cdot 10^3$ (winter) ton slib. Het verschil hiertussen wordt naar verwachting, zoals eerder vermeld grotendeels aangevoerd naar het estuarium.

De havens bevatten naar schatting orde 1 miljoen ton slib. Door baggeren en storten van de havens wordt dit materiaal heen weer gepompt. Heen en weer pompen van slib gebeurt ook door het baggeren en storten van de drempelsediment. De massa slib, die hierdoor wordt verplaatst is verwaarloosbaar ten opzichte van het materiaal uit de havens.

Gedurende een getij varieert de massa in suspensie sterk. De variatie over één getij kan orde 100 mg/l bedragen. Het is te verwachten dat de slibpiek zich voor een groot deel langs de getijweg van 20 km. verspreidt. Dit betekent dat langs dit hele tracé voor een groot deel steeds hetzelfde materiaal wordt gemeten. Naar schatting is in totaal 300.10³ t slib nodig om voor de piek te kunnen zorgen. De geul- en plaatgebieden bevatten voldoende slib om dit mogelijk te maken. Dit betekent dat gedurende één getij slechts de bovenste cm's van de bodem meedoen in het resuspensieproces. De slibpiek speelt waarschijnlijk een belangrijke rol bij het aanslibbingsproces van havens en intergetijdegebieden.

3.3 De slibverspreiding over de Westerschelde

Deze paragraaf is een samenvatting uit het rapport over de vergelijking van de twee gebruikte modellen. [Kranenborg, 1999].

De in dit rapport geschetste ontwikkeling van de troebelheid is gebaseerd op 2 meetpunten in de Westerschelde. De inzet van modellen maakt het mogelijk een ruimtelijke beschrijving te maken en tevens simulaties te doen voor toekomstige ontwikkelingen. Op deze manier ontstaat een beschrijving van de troebelheid in de ruimte en in de tijd. Hiertoe zijn tot nu toe twee modellen ingezet. Voor de totstandkoming van het MER is gebruik gemaakt van een RIKZ model [Salden 1998]. Bij het ontwikkelen van het demonstratie programma ter gebruik van remote sensing is een WL model gebruikt. Om een beoordeling te krijgen van deze twee modellen is door het WL een vergelijkende studie uitgevoerd [Kranenborg, 1999]. Voor deze studie is met Delft3D-WAQ een stortscenario toegepast dat identiek is aan een van de scenario's zoals is uitgevoerd in het kader van de MER studie.

De modelparameters zijn overgenomen uit de WL-studie. Twee model runs zijn er uitgevoerd: een run met uitsluitend tunnelslib als gemodelleerde component (zoals het geval met de RIKZ studie) en een run waarbij ook de in RESTWES gebruikelijke slibverdeling van het jaar 1998 is meegenomen.

Gebleken is dat de berekening met medeneming van de natuurlijke slibverdeling een ruimtelijke verdeling van boorslib in zowel de waterkolom als het sediment laat zien die overeenkomt met corresponderende resultaten van de RIKZ studie [Salden 1998]. De berekening met uitsluitend boorslib laat een sterke resuspensie zien waardoor de slibconcentraties in de waterkolom hoog zijn en er bovendien geen slib op de bodem blijft liggen.

In de uitgevoerde studie is het transport van slib in de waterkolom in westwaartse richting verantwoordelijk voor een netto sedimentatie in de Westerschelde, die een factor twee lager is dan uit de RIKZ studie volgt. Als gevolg hiervan zijn de slibbalansen in beide studies zeer verschillend. Dit verschil wordt verklaard uit het gebruik van een twee-dimensionale modellering in de WL-studie in plaats van een drie-dimensionale modellering in de RIKZ studie.

Het model SLIB-3D berekent de slibverspreiding op basis van een 3

dimensionale waterbeweging en is vooral geschikt om de verspreiding van het slib op lange termijn te berekenen. Het model DELFT3D-WAQ is in tegenstelling tot de naam gebaseerd op een 2 dimensionale waterbeweging, waardoor de transporten minder goed worden berekend en is daarom het meest geschikt om korte termijn effecten zoals vertroebeling door te rekenen.

3.4 Een verkenning van het slibtraceronderzoek

Deze paragraaf is een samenvatting uit de rapportage van de verkenning met de slibtracer [Limburg, 1999].

Het Westerscheldegebied is vrij moeilijk te karteren met een sonde, die achter een schip over de bodem wordt gesleept. Er bevinden zich behoorlijk veel wrakken, dammetjes, plotselinge (on) dieptes, etc. in het gebied. De Pas van Terneuzen en de daaraan grenzende geulen zijn moeilijk in dwarsraaien te bevaren, deels vanwege de drukte scheepvaart in de Pas en deels vanwege de smalle doorgang in de kleinere geulen. Er liggen hier en der kabels "begraven" in de Westerschelde. Deze lijken afgezonken te zijn met behulp van zgn. slakken. Deze slakken zorgen lokaal voor een behoorlijke verhoging in met name de ^{238}U concentratie.

De meetresultaten impliceren dat een belangrijk deel van het bemeten gebied uit zand bestaat. Grote delen van het gebied hebben namelijk concentraties ^{40}K , ^{238}U , en ^{232}Th die sterke overeenkomst vertonen met zandrijke monsters, die zijn genomen.

Afgezien van de verhoging in het U-sigitaal t.g.v. de slakken, is er een verhoging van het signaal te zien in het Middelgat, in de Everingen en in het Vaarwater langs Paulinapolder:

- Middelgat/Hansweert de activiteit die hier gevonden wordt, is toe te schrijven aan een groter dan gemiddeld slibgehalte.
- Everingen: De verhoging die gemeten wordt in de Everingen is met name terug te zien in het ^{40}K en het ^{238}U signaal. Vergelijking met het bodemonster duidt op de aanwezigheid van glauconiethoudende grond.
- Vaarwater langs Paulinapolder: Er is een locatie in het Vaarwater langs Paulinapolder, rond (X=43, Y=378 km) waar de signatuur van de activiteit duidt op de aanwezigheid van Boomse klei.

De belangrijkste vraag die ten grondslag ligt aan de t0 survey die in dit rapport besproken wordt, is of het mogelijk is om met behulp van het MEDUSA systeem de verspreiding van gedumpte boorspecie, afkomstig uit de Scheldetunnel te volgen. Op deze vraag is, na analyse van de t0 metingen, nog geen eenduidig antwoord te geven. Wel kunnen er een aantal overwegingen gemaakt worden:

- n een eventuele t1 survey dient terdege rekening gehouden te worden met de problemen zoals die hierboven geschetst zijn.
- In een t1 survey dienen de ondiepe gedeelten langs de noordoever van de Schelde, met name in het Middelgat, Hansweert en Kruiningen nauwkeurig(er) in kaart te worden gebracht. Dit kan waarschijnlijk alleen door raaien parallel aan de oever te varen op deze ondiepe gedeelten. De vraag is of deze trajecten wellicht beter met een hovercraft o.i.d. in kaart kunnen worden gebracht.
- Het raaienpatroon dient fijnmaziger gemaakt te worden. Wellicht is het een idee om in een t1 als het ware "in te zoomen" op de relevante gebieden. Welke gebieden dit zijn, hangt sterk af van de transportsnelheid en -richting van het gestorte materiaal. We noemen

de Zuid-Everingen, Pas van Baarland, het Middelgat, de Overloop van Hansweert.

- De slakken die we in het gebied hebben aangetroffen kunnen behoorlijk storend zijn in het opstellen van een sedimentkaart. De activiteit (en de verspreidingsgraad) van het materiaal is zo groot dat daarmee "zwakkere" signalen (zoals van gestorte Boomse klei) wellicht weggedrukt worden. Het lijkt verstandig om bij het "inzoomen" deze slakkengebieden te vermijden, of om ze nauwkeuriger in kaart te brengen.
- Het grid in de t0 gevaren is, is te grof om in een later stadium een massabalans van het gestorte materiaal te kunnen bepalen. Bovendien is het de vraag of zulks haalbaar is gezien het relatief grote oppervlak, de ondiepten en de grote stroomsnelheden in de diepe delen van het gebied. Het kwalitatief volgen van het gedumpte materiaal lijkt echter wel haalbaar, zeker als dat materiaal voornamelijk zal bestaan uit voornoemde Boomse klei.

4. Conclusies

Het slibgehalte in de Westerschelde wordt in eerste instantie bepaald door het slib aangevoerd uit de Noordzee via het getij. Dit gehalte is een afgeleide van het slib dat de grote rivieren naar de Noordzee brengen. Hierbovenop komt de jaarlijks variërende invloed van het slib dat de rivier de Schelde aanvoert. Tijdens kentering van het getij bezinkt meer dan de helft van het slib. Bij het aantrekken van de stroom komt het meeste hiervan weer in suspensie. De variërende getijstroom is de belangrijkste bron voor het continu suspenderen en resuspenderen van het slib. Afzetting vindt plaats in havens, schorren en luwte gebieden. Door baggerwerken uitgevoerd in de havens wordt afgezet slib opnieuw in het systeem gebracht. De gemiddelde variatie wordt bepaald door het getij. De afwijking van het gemiddeld signaal is o.a. een gevolg van de stortingen.

Het gemeten slibgehalte in de waterkolom in de Westerschelde gemeten bij de DOW Scheldesteiger en bij de Rijkswaterstaatsmeetpaal te Baalhoek, vertoont in de tijd een terugkerend patroon. In dit patroon is het verloop van het getij en de doottij-springtijcyclus duidelijk zichtbaar. De verschillen in patroon tussen de meetlocaties is voornamelijk een gevolg van de ligging van de meetpunten in het estuarium.

De getijde- en dieptegemiddelde slibgehalten van beide meetpunten komen redelijk overeen. In een goed gemengd type estuarium, zoals de Westerschelde, is dit te verwachten. De resultaten van de meetpunten liggen binnen de bandbreedte van langjarige metingen uit het verleden.

Bij middeling van het slibgehalte over de periode van het dubbeldaagse getijd wordt het seizoenale verloop in het gehalte zichtbaar: dit is hoog in de winterperiode, medio april is de overgang naar het lage gehalte gedurende de zomer vanwege biologische activiteit en klimatologische omstandigheden.

Het voor stroomsnelheid genormeerde getij- en diepte gemiddelde slibgehalte vertoont alsnog een 14 daagse periodiciteit. De pieken en dalen van dit signaal vallen ongeveer omgekeerd evenredig samen met die van de waterstand. De hypothese is dat dit fenomeen een gevolg is van de variërende waterstand gedurende de doottij-springtij cyclus op het wel of niet meedoen van het intergetijdegebied in de slibhuishouding van het estuarium.

Enkele slibpieken in het genormeerde slibgehalte vallen samen met het storten van havenslib. Dit geldt met name voor de storting van de Braakmanhaven omgeving DOW medio februari 1999 (orde $1 \cdot 10^5$ ton droge stof). Het slibgehalte is hierbij 2 keer zo hoog als normaal. De omvangrijke slibstortingen uit de haven Vlissingen-Oost zijn niet terug te vinden in een verhoging van het slibgehalte. Het stortgebied ligt hiervoor te ver weg. De stortingen van de havens bij de DOW medio april (orde $0,5 \cdot 10^5$ ton droge stof) valt samen met de overgang van het hoge slibgehalte in de winterperiode naar het lage slibgehalte in de zomerperiode. De mogelijke verhoging van het slibgehalte is daardoor niet zichtbaar.

De verwachting is dat de slibstortingen van boorspecie, die van dezelfde orde van grootte zijn als de havenstortingen meetbaar zijn. Deze verspreidingen moeten dan groter zijn dan orde 1000 tds/dag. Deze verspreidingen worden ook verwacht. Naast de effecten van de havenstortingen in het genormeerde slibsignaal is ook het effect van een tijdelijke verhoging van de Schelde-afvoer zichtbaar.

Het verloop van de windsnelheid vertoont geen verband met het getijgemiddelde verloop van het slibgehalte. Windrichting is in verband met de sterke dagelijkse schommelingen buiten beschouwing gelaten. De effecten van de windgolven is in de geulen ondergeschikt aan de sterke getijstrooming in het systeem.

Naar schatting bergt het estuarium jaarlijks orde $0,1 \cdot 10^6$ ton slib. Dit komt erop neer dat het gemiddelde slibpercentage in de Westerschelde de afgelopen 10 jaar met ongeveer 0,5% zou zijn verhoogd. Het merendeel is afgezet in sedimentatiegebieden als het Land van Saeftinge.

De laatste jaren wordt door sanering en slibverwijdering in Vlaanderen veel minder slib aangevoerd naar het estuarium. De effecten hiervan zijn op de Westerschelde nog niet te zien. Dit komt door de relatief grote buffer aan het slib in het systeem zelf.

Uit berekeningen met de meerdimensionale wiskundige slibmodellen van RIKZ en het WL volgt dat het slib in het estuarium veelal wordt opgenomen in de waterkolom. Door het getij vindt een ruimtelijke verdeling van het slib plaats. De indruk bestaat dat de resulterende slibstroom de richting opgaat van de Belgisch-Nederlandse grens.

Een proef en metingen met de radiologische bodemslibtracer MEDUSA laat zien dat in de Westerschelde mogelijk onderscheid te maken valt naar de verspreiding van slib dat meerdere herkomsten heeft. Het kwalitatief volgen van het gedumpte materiaal lijkt zeker mogelijk.

5. Literatuur

- Anoniem**, 1992. Troebelheid Nederlandse zoute wateren. Inventarisatie en trendanalyse 1930-1990. Waterloopkundig laboratorium Delft. Rapport T911.
- Anoniem**, 1998. Milieu-effectrapport Boorspecie Westerscheldetunnel. RWS Directie Zeeland, RWS Bouwdienst
- Kranenburg, E.J.**, 1999. Vergelijking van modelresultaten RIKZ- en WL-onderzoek naar verspreiding boorspecie Westerscheldetunnel. Rapport Z2746, WL/Delft hydraulics, Delft.
- Limburg, J., R. Feenstra, P. Hendriks & R.J. de Meijer**, 1999. Westerschelde TO survey Data Rapport. Rapport Z-96, Kernfysisch Versneller Instituut, Groningen.
- Mol, G.**, 1995. Zout-zoet in het Schelde-estuarium. Werkdocument RIKZ/AB-95.867x.
- Mulder, H.**, 1995. De droge dichtheid als functie van het slibgehalte t.b.v. een sedimentbalans. Rijksinstituut voor Kust en Zee. Werkdocument RIKZ/OS-95.614x.
- Salden, R.M.**, 1997. Een slib-transportmodel van het Schelde-estuarium ten behoeve van de waterkwaliteitsmodellering. Werkdocument RIKZ/OS-97.116x.
- Salden, R.M.**, 1998. Verspreiding van boortunnelspecie in de Westerschelde bij verschillende stortvarianten. Werkdocument RIKZ/OS-98.101x.
- Salden, R.M.**, 1998. Schonere Schelde door slibverwijdering. Rapport RIKZ-98.015.
- Swart, J.P.**, 1982. Onderzoek oppervlaktebemonstering slib in de Westerschelde, periode 1969-1980. Nota WWKZ-82.V003, RWS Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, District Kust en Zee, Adviesdienst Vlissingen.
- Van Maldegem, D. & K. Storm**, 1990. Verloop slibconcentratie Schelde-estuarium in relatie tot de baggerwerken. Notitie OW-90.064 / NWL-90.53.
- Van Maldegem, D.C., H.P.J. Mulder & A. Langerak**, 1993. A cohesive sediment balance for the Scheldt estuary. *Neth. J. Aquat. Ecol.* 27:247-256.
- Van Maldegem, D.**, 1997. Slibbalans Schelde-estuarium 1995. Werkdocument RIKZ/AB-97.839x.
- Van Maldegem, D. & G. Wattel**, 1999. Datarapport 4e kwartaal 1998. Werkdocument RIKZ/AB-99.821x.
- Van Maldegem, D. & G. Wattel**, 1999. Datarapport 1e kwartaal 1999. Werkdocument RIKZ/AB-99.855x.
- Van Maldegem, D. & G. Wattel**, 1999. In-situ metingen troebelheid Westerschelde. Data - grafieken van de meetpunten 1, 2 en 3. Periode oktober 1998 tot juni 1999. Werkdocument RIKZ/AB-99.856x.

