rijkswaterstaat
dienst getijdewateren
bibliotheek HAREN
onderwerp : 315
pl. nummer: E-11489
DL-I

ONDERZOEK NAAR DE INVLOED VAN DE BAGGERSPECIESTORTINGEN OP DE SLIBCONCENTRATIE IN HET GROOTE GAT

DEEL I: TEKST

door: *T.A.van der HEIDE*
I.W.PLOEG

datum: 05-1992

afstudeerrapport R.H.G.
studierichting: CIVIELE TECHNIEK

VOORWOORD

Alhoewel de gegevens van de wind tijdig bij het K.N.M.I. zijn opgevraagd, zijn ze pas in de afrondingsfase binnengekomen. Hierdoor was het niet mogelijk deze volledig te betrekken in ons onderzoek.

Om dit onderzoek volledig af te ronden, is nog veel tijd nodig.

Hierbij bedanken wij de heren Ariaans en Mulder die ons in dit onderzoek begeleid hebben.

INHOUDSOPGAVE

		pagina:
	SAMENVATTING	7
	SUMMARY	9
Hfdst. 1	**INLEIDING**	11
Hfdst. 2	**INWINNING VAN DE GEGEVENS**	13
2.1	MEETPROGRAMMA	13
2.2	LOKATIE VAN DE MEETPAAL	13
2.3	MEETINSTRUMENTEN	13
2.4	IJKING AAN DE HAND VAN MONSTERS	15
2.4.1	IJKING SLIBSENSOREN	15
2.4.2	MONSTERNAME	16
2.4.3	MONSTERANALYSE	16
2.5	BRONNEN VAN DE GEGEVENS	16
Hfdst. 3	**VERWERKING VAN DE GEGEVENS**	18
3.1	PAPAVER	18
3.2	ONDERDELEN VAN PAPAVER	18
3.2.1	IJKEN	18
3.2.2	VALIDEREN	19
3.2.2.1	Geleidendheidsensoren	19
3.2.2.2	Slibsensoren	20
3.2.2.3	Stroomsensoren	20

INHOUDSOPGAVE

			pagina:
	3.2.3	CORRIGEREN	20
	3.2.4	FILTEREN	21
	3.2.5	VENSTEREN	22
	3.2.6	FREQUENTIEVERDELING	22
	3.3	OVERZICHT	24
Hfdst.	4	**PROCESSEN DIE HET SLIBSIGNAAL BEÏNVLOEDEN**	29
Hfdst.	5	**SALINITEIT EN EEMSAFVOER**	31
	5.1	INVLOED SALINITEIT OP SLIBGEHALTE	31
	5.2	INVLOED EEMSAFVOER OP SALINITEIT	31
	5.3	INVLOED EEMSAFVOER OP SLIBGEHALTE	32
Hfdst.	6	**GOLVEN**	34
	6.1	INVLOED WIND OP GOLFHOOGTE	34
	6.2	INVLOED GOLFHOOGTE OP SLIBGEHALTE	35
	6.2.1	THEORIE	35
	6.2.2	ONDERZOEK	37

INHOUDSOPGAVE

			pagina:
Hfdst.	7	**BODEMLIGGING**	38
	7.1	ACHTERGROND	38
	7.2	BODEMONDERZOEK	39
	7.2.1	GEGEVENS	39
	7.2.2	NAUWKEURIGHEID	39
	7.2.3	WERKWIJZE	40
	7.2.4	UITWERKING	41
	7.2.5	HOEVEELHEDEN	41
	7.3	BEWEGING VAN DE SLIBWOLK	42
	7.3.1	INVLOED VAN DE HELLING	42
	7.3.2	BEREKENING VAN DE SNELHEID	44
	7.3.3	CONCLUSIE	46
Hfdst.	8	**DIEPTELIGGING**	47
Hfdst.	9	**ONDERZOEK NAAR HET SLIBGEHALTE**	48
	9.1	SLIBSIGNALEN	48
	9.2	SLIBGEHALTE IN GESTORTE SPECIE	49
	9.3	REFERENTIEWAARDEN SLIBGEHALTE	49

INHOUDSOPGAVE

		pagina:
9.4	SLIBDEKEN	50
9.4.1	THEORIE	50
9.4 2	ONDERZOEK	51
Hfdst.10	**ONDERZOEK NAAR EXTREME PIEKEN**	52
10.1	SELEKTIE VAN DE EXTREMEN	52
10.1.1	ALLE EXTREME PIEKEN	53
10.1.2	EXTREMEN IN RELATIE TOT STORT	60
10.2	RESULTAAT VAN HET ONDERZOEK NAAR EXTREMEN	73
10.2.1	OVERZICHT	73
10.2.2	NATUURLIJK PIEKVERLOOP	75
10.2.3	PIEKVERLOOP IN SITUATIE MET STORTINGEN	75
Hfdst.11	**OVERZICHT VAN GEGEVENS**	77
Hfdst.12	**CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN**	80
	GERAADPLEEGDE LITERATUUR	82
	BIJLAGEN	DEEL II

SAMENVATTING

Binnen de Rijkswaterstaat werkt men aan een wiskundig model om het gedrag van slib in het Eems-Dollard estuarium te kunnen voorspellen. Hiervoor is onderzoek naar de slibconcentratie bij de stortlokatie in het Groote Gat gedaan. Hier wordt dagelijks baggerspecie, afkomstig uit de haven van Delfzijl, gestort . Op circa 630 m afstand van de stortlokatie stond een meetpaal die van 15 oktober t/m 6 december 1991 de saliniteit, de stroomrichting en -snelheden en het slibgehalte heeft gemeten. De waterstanden, Eemsafvoer, peilkaarten, windgegevens en gegevens van het storten zijn bij de desbetreffende instanties en bedrijven opgevraagd. Voor de verwerking van al deze gegevens is gebruik gemaakt van het computerprogramma PAPAVER. Met behulp van dit programma konden de gegevens zowel analytisch als grafisch uitgezet worden. Door visuele inspectie is er naar een verband tussen de stortingen en overige gegevens gezocht.Dit onderzoek diende om het effect van de stortingen op de slibconcentratie te ontdekken.

Door de slibsensoren werd de troebelheid gemeten. Hieruit kon door ijking aan de hand van monsters het slibgehalte bepaald worden. De waarden voor de saliniteit zijn op dezelfde manier verkregen. Na verdere verwerking konden de gegevens per week, of over meerdere weken uitgezet worden. Om een algemeen verloop van de saliniteit en slibconcentratie te krijgen, werden de datareeksen gefilterd, waarbij gemiddelden aan een tijdstip gekoppeld worden.

In het algemeen verloop van de slibconcentratie valt een verhoging op te merken in week 43 en 45. De genoemde verhogingen zijn door de golven veroorzaakt. Wanneer de golven hoger worden dan 0.30 m, veroorzaken ze een verhoging van de slibconcentratie. De bodemerosie die door de golven veroorzaakt wordt, is hier debet aan.

Bij grote afvoeren van de Eems daalt de saliniteit in de Eems-Dollard. Een toename in de afvoer van 100 m^3/s levert een daling van circa 10 ‰ in de saliniteit op. Maar zowel de saliniteit als de Eemsafvoer zijn niet van invloed op de slibconcentratie.

Door vergelijking van peilkaarten van oktober en november 1991 is gebleken dat er over deze periode zeewaarts van de stortlokatie sedimentatie optreedt. Dat het slib zich zeewaarts verplaatst, komt door de invloed van de bodemhelling. De bodem heeft een helling van ongeveer 0.2%, waardoor het slib zich zeewaarts verplaatst, zelfs tegen de vloedstroom in.

Uit vergelijking van het dagelijks en algemeen verloop van het slibgehalte met de tijden en hoeveelheden van de stortingen, kon er geen direkte samenhang ontdekt worden. Daarom zijn de extreme verhogingen van de slibconcentratie in samenhang met de stortingen nader onderzocht. De pieken die tijdens vloed op werkdagen optreden, zouden het gevolg kunnen zijn van de stortingen. De gemiddelde verhoging van een piek in het slibgehalte die door de stort veroorzaakt zou kunnen zijn, ligt 15% hoger dan de gemiddelde verhoging van een piek die niet door stort veroorzaakt is.

De extreme pieken zijn in histogrammen uitgezet, waarbij de verdeling in de toename van het slibgehalte zichtbaar is.
Hieruit blijkt, dat de spreiding in deze verdeling tijdens werkdagen groter is dan in het weekend, met uitzondering van week 45 waarin de hoge golven een overheersend effect hebben.
Ook is de spreiding van het gemiddelde slibgehalte per week groter wanneer er meer gestort is. Een grotere spreiding betekent dat er, met een lage frequentie, hogere waarden bereikt worden

De stortingen hebben effect op de spreiding in de verdeling van zowel gemiddelde als extreme waarden:
- Als er meer gestort wordt, wordt de standaardafwijking groter; er wordt dus enkele malen een slibgehalte gemeten die ver boven het gemiddelde ligt.
- De pieken in het verloop van de slibconcentratie die optreden in een situatie met stortingen bereiken hogere waarden dan de pieken die optreden als er niet gestort wordt. De slibgehalten van de laatstgenoemde pieken liggen dichter bij de gemiddelde extreme waarde.

SUMMARY

Within the government department Rijkswaterstaat a mathematical model, wich can be used to forecast the behaviour of silt in the Eems-Dollard estuary, is being develeloped. To create such a model, the concentration of silt in the Groote Gat has been examined during a period of eight weeks. Mud, which has been dregded from the Delfzijl harbour, is daily dumped in the Groote Gat. Concentration of silt, salinity, stream speed and stream direction were measured at a location wich is situated about 630 m from the dumping location.

Figures regarding waterlevels, measurements of depths, wind-force and -direction, outlet of the Eems and frequency and quantities material dumped, were gathered at the relating authorities.

The PAPAVER programm has been applied to process all these data. A link between the dumpings and other information has been sought by using visual examination. This examination has been set up to find out what the effect of dumpings on silt concentration is. Samples of the water were taken to verify the measurements of salinity and concentration of silt. By striking the average of these figures we have obtained a general picture of the concentrations.

Compared to the average concentration of silt, the concentrations measured during week 43 and 45 are far higher. This is the result of erosion caused by waves. It appears that the waves effect the concentration of silt when 0.30 m is exceeded.

When the outlet the Eems increases, the salinity of the estuary decreases. The outlet and the salinity do not affect the concentration of silt.

The Groote Gat was fathomed in October and November 1991. These measurements show sedimentation at the seaside of the dumping location and erosion at the other side. The bottom has a declivity of 0.2%. As a result of the movement which is caused by this declivity, seaward sedimentation appears.

Comparing the concentration of silt and the quantities of material dumped, we could not find any relation. Therefore, we have examined the extreme raisings of the concentration in relation to the quantities dumped. Only the raisings which were measured during high tide, can be caused by dumping sediment in the water. It appears that these raisings are 15% higher than the raisings which have not been caused by the dumpings.

All extreme raisings of the concentration of silt are reproduced in histogramms. These histogramms show the division in the increase of silt concentration. The dispersal in this division is greater during days at which dumping takes place, than during the weekends.

The quantity of the material dumped affects the dispersal of the weekly average concentration of silt. The dispersal increases when more mud is being dumped.

1. INLEIDING

De haven van Delfzijl wordt kontinu gebaggerd. De uitkomende specie wordt in het Eems-Dollard estuarium gestort. Rijkswaterstaat geeft daarvoor een stortvergunning af waarop ook de plaats staat waar gestort mag worden. Om een verantwoorde en effectieve stortlokatie uit te kunnen kiezen, is het van belang te weten hoe het sediment zich na het storten verplaatst.

Met ingang van 4 mei 1991 is de stortlokatie in het Groote Gat in gebruik genomen. Een stortlokatie is effectief als er geen hinderlijke sedimentatie optreedt door het storten en het gestorte sediment niet gelijk weer in de haven terug keert. Ook moet rekening worden gehouden met het ecologisch effect. Verontreinigingen, met name metalen, hechten zich gemakkelijk aan de slibdeeltjes, en worden met het slib mee getransporteerd. Een stortlokatie moet ook ecologisch verantwoord zijn.

Om inzicht te verkrijgen in de verspreiding van het gestorte slib is binnen de Rijkswaterstaat de behoefte ontstaan aan een wiskundig model. Dit model zal door de Dienst Getijdewateren ontwikkeld worden. Men hoopt met dit model de verspreiding van het slib te kunnen voorspellen.

Ten behoeve van de ontwikkeling van dit model is het effect van de stortingen op de slibconcentratie onderzocht. De opzet van dit onderzoek is om een mogelijk verband tussen de stortingen en het slibgehalte te ontdekken. Er wordt niet tot quantificering overgegaan. Het gaat hierbij om de verspreiding van het slib op enige afstand van de plaats van storten. Daarvoor zijn gedurende acht weken metingen in het gebied rond de stortlokatie verricht. Om een relatie tussen de stortingen en het slibgehalte te ontdekken, zijn met name de extreme verhogingen onderzocht.

In het volgende hoofdstuk wordt verteld hoe de onderzochte gegevens verkregen zijn. Vervolgens wordt uitgelegd hoe deze gegevens verwerkt zijn. De verwerking is gedaan met behulp van het computerprogramma PAPAVER. In hoofdstuk 4 wordt vermeld welke factoren het slibgehalte kunnen beïnvloeden.
Hoofdstuk 5 behandelt de saliniteit en de Eemsafvoer.

In hoofdstuk 6 wordt de invloed van de golven beschreven. Uit peilingen kunnen we onder anderen eventuele sedimentatie door stortingen ontdekken. Dit is in hoofdstuk 7 te vinden. Aansluitend hierop wordt in hoofdstuk 8 de verandering in diepte op de plaats van de meetpaal vermeld. De hoofdstukken 9 en 10 bevatten het onderzoek naar de slibconcentratie. Hierbij wordt in hoofdstuk 10 de relatie tot stort beschreven. In het voorlaatste hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de gemiddelde slibconcentratie en de factoren die een invloed daarop hebben.

2. INWINNING VAN DE GEGEVENS

2.1 MEETPROGRAMMA

De met de meetpaal automatisch ingewonnen parameters zijn:
- slibconcentratie op 4 niveaus
- stroomsnelheid op 3 niveaus
- geleidenheid op 2 niveaus
- bodemligging

Overige gegevens, die ingewonnen of opgevraagd worden, zijn:
- waterstanden c.q. -diepte
- golfhoogte en -periode
- rivierafvoer
- bagger- en stortaktiviteiten
- windsnelheid en -richting

2.2 LOKATIE VAN DE MEETPAAL

De meetpaal is opgesteld in het Grote Gat op de koördinaten x=271989 en y=593007, op circa 630 m vanaf de stortlokatie en op een gemiddelde diepte van -6.00 m t.o.v. N.A.P.
De bijlagen A1 en A2 tonen de plaats van de meetpaal, de opgegeven stortlokatie en het hele stortvak.

Bij de meetpaal geldt voor eb en vloed een stroomrichting van 330 resp. 150 graden. Als we deze richting ook aannemen voor het stortgebied, dan zou de stroombaan niet langs de meetpaal gaan. Maar op grond van de dieptelijnen mogen we aannemen dat de stroombaan iets naar het Westen afbuigt waardoor de meetpaal precies in de stroombaan van de stortlokatie terecht komt.

2.3 MEETINSTRUMENTEN

Het hele meetsysteem bestaat uit een meetpaal, een Wave-rider (golfboei) en een separate getijmeetpaal. De meetpaal doet een

kontinue vertikaalmeting van troebelheid, stroomsnelheid, geleidendheid en bodemligging. Aan de meetpaal hangt een frame waarop de verschillende sensoren zijn bevestigd.

De paal zelf is uitgerust met een Campbell CR10 datalogger voor de opslag van standaard 10 minuten waarden. De datalogger bevat een chip met een inwinprogramma en een chip met opslagcapaciteit (ringgeheugen) van 30 kB. De telemetrie vindt plaats via een Packet Radio systeem. Dagelijks om 04.00 uur vindt, gedurende 10 minuten, overzending plaats naar Delfzijl.

Aan het frame van de meetpaal zijn de volgende sensoren bevestigd:

- 2 geleidendheidmeters; op +0.30 m en +3.30 m
- 1 echolood; op nul
- 3 stroomsensoren; op -0.20 m, +0.30 m en +3.30 m
- 4 slibsensoren; op -0.20 m, +0.30 m, +1.30 m en +3.30 m

De gegeven maten zijn ten opzichte van het nulniveau. De gemiddelde afstand vanaf het nulniveau tot de bodem bedraagt 0.35 m.
Zie voor een overzichtstekening van de meetpaal bijlage A3.

De geleidendheidmeters zijn zogenaamde G/T meters (Geleidendheid en Temperatuur) van het type Electro Fact. De inwinning vindt plaats met een frequentie van 2 Hz gedurende 2 minuten per 10 minuten. Met behulp van de temperatuur wordt, intern, de geleidendheid berekend voor een referentie temperatuur 25°C. Alleen de geleidend wordt opgeslagen.

De toegepaste dieptemeter is een voor temperatuur gecompenseerde Hydrotech HE-520 TS. Deze dieptemeter heeft een frequentie van maximaal 15 Hz, en een bereik van 0.6 tot 10 m. de gemeten diepte wordt gemiddeld en opgeslagen in de CR10. Het meten van de diepte is van belang voor de plaats van de sensoren ten opzichte van de bodem en voor registratie van eventuele ver(on)dieping rondom de paal. De inwinning vindt plaats met een frequentie van 2 Hz gedurende 2 minuten per 6 uur.

Voor de stroomsensoren is gekozen voor EMS-sensoren van het

Waterloopkundig Laboratorium (WL) en zijn van het type Sphere. Dit is een door het WL verbeterde versie van de zogenaamde Colnbrook. Deze sensoren meten 2-dimensionaal. De data van deze sensoren wordt ingewonnen met een frequentie van 2 Hz gedurende 2 minuten per 10 minuten. Het gemiddelde over deze 2 minuten wordt éénmaal per 10 minuten door de CR10 datalogger uitgelezen. De tijd van de stroomsnelheid verschilt 1 minuut met die van de slibconcentratie, maar wordt op de tijd van het slibgehalte gezet.

De slibsensoren zijn van het type MEX-3. Dit zijn optische sensoren waarmee de lichtdoorlatendheid wordt gemeten.De inwinning hiervan vindt plaats via SLIBCON, een meerkanaals slibconcentratiemeter, dat maximaal 8 kanalen bezit. De inwinfrequentie ervan is 25 Hz. Gedurende 0.8 seconde (20 data) worden 6 van de 8 kanalen sequentieel bemonsterd. Dit gebeurt met een cyclus van 5 seconden. De CR10 leest elke cyclus een 0.8 seconde-gemiddelde waarde uit, en hieruit wordt een 10 minuten-gemiddelde waarde bepaald. Dit is dan een gemiddelde van 120*20 data.

2.4 IJKING AAN DE HAND VAN MONSTERS

2.4.1 IJKING SLIBSENSOREN

Voor het ijken van de slibmeters is geprobeerd monsters op het laboratorium te vervaardigen. Hiervoor werden monsters gemaakt van water met verschillende concentraties natuurslib. Van de meetresultaten die hiermee verkregen werden, zijn ijklijnen gemaakt. Bij voorgaande metingen, onder andere in het Oost Friese Gaatje, met deze meetpaal bleken deze ijklijnen in situ niet te voldoen. Daarom is het voor een optimale ijking van de sensoren nodig regelmatig monsters ter plaatse van de meetpaal te nemen.

2.4.2 MONSTERNAME

Ten behoeve van de ijking van de slib- en geleidendheidsensoren zijn er gedurende de onderzoeksperiode vier maal monsters genomen. De monstername vindt in kombinatie met het reinigen van de sensoren plaats. Er werden monsters genomen voor en na het schoonmaken van de sensoren. Het schoonmaken vindt plaats tijdens kentering.

Voor de monstername worden slangen bevestigd ter hoogte van de sensoren waardoor water wordt opgepompt. Bij het nemen van de monsters wordt 2 liter water gedurende 10 minuten afgezogen dit ter vergelijking met de 10-minuut-waarden van de sensor. Er worden zo in 10 minuten 4 monsters verkregen (voor elke sensor één). Dit wordt elk half uur gedaan.

Tijdens kentering wordt het rek met de sensoren boven water gehaald en wordt met een hogedrukspuit de aangroei verwijderd. Hierna wordt het rek weer neer gelaten en kan er aan de tweede reeks van bemonsteringen worden begonnen.

In totaal worden er per monstername en per sensor 13 monsters genomen. Van deze monsters worden er 7 voor kentering en 6 na kentering genomen (bijlage A4).

2.4.3 MONSTERANALYSE

De monsters worden geanalyseerd door Laboratorium ZEEWA te Middelburg. De volgende grootheden worden gemeten:

- hoeveelheid sediment > 53 μm in mg/l
- hoeveelheid sediment < 53 μm in mg/l
- hoeveelheid organisch materiaal in mg/l
- geleidendheid in S/m
- saliniteit in promille

2.5 BRONNEN VAN DE GEGEVENS

De benodigde gegevens zijn op de volgende manieren verkregen:
Afkomstig van de meetpaal zijn:

- de troebelheid (slibgehalte in mg/l)
- de saliniteit (zoutgehalte in ‰)
- stroomrichting en stroomsnelheden

De waterstanden zijn verstrekt door het Havenschap Delfzijl.

De baggerwerkzaamheden worden uitgevoerd door Heuvelman-Ibis B.V. Gegevens van de baggerstortingen zijn afkomstig uit het logboek van het baggervaartuig. Bekend zijn de datum en tijd van storten en de hoeveelheden gestort materiaal in m^3 stortvolume en in kg droge stof. Er is steeds op dezelfde plaats gestort.

De gemiddelde dagafvoeren van de Eems zijn afkomstig van het 'Wasser und Schiffarts Ambt' te Emden.

Voor de bodemligging beschikken we over peilkaarten. Door de Meetdienst van Rijkswaterstaat Groningen wordt elke vijf jaar het Eems-Dollard gebied gepeild en in kaart gezet. Voor dit onderzoek zijn tussentijdse peilingen in het Groote Gat verricht door het Havenschap Delfzijl.

De golfgegevens zijn verstrekt door de Meetdienst Groningen. Er is een golfboei dicht bij de meetpaal neergelegd, die elk uur de golfperiode en golfhoogte registreert.

De windgegevens zijn uit de "Maandoverzichten van het weer in Nederland" gehaald. Deze overzichten worden door het K.N.M.I. maandelijks uitgegeven. Hierin staan voor alle stations de gemiddelde windsnelheden per dag. Alleen voor het station in De Bilt staat de windrichting vermeld.

3. VERWERKING VAN DE GEGEVENS

3.1 PAPAVER

De verwerking van alle voor dit onderzoek gebruikte gegevens is gedaan met behulp van het computerprogramma PAPAVER (Paal Parameter Verwerkingssysteem). Dit programma is ontwikkeld speciaal voor de betreffende meetpaal, als onderdeel van het projekt BAGHWAD (Bagger Havens Wadden).

Het programma PAPAVER omvat verschillende onderdelen waarmee de gegevens verwerkt en bewerkt kunnen worden en waar mee gerekend kan worden. Van de slib-, stroom- en geleidendheidgegevens kunnen dagfiles worden gemaakt, waarna van deze dagfiles weer weekfiles kunnen worden gemaakt. Deze weekfile-indeling wordt gebruikt voor de verdere verwerking. Voor een overzicht van de verwerking wordt verwezen naar 3.3 en bijlage B.

3.2 ONDERDELEN VAN PAPAVER

3.2.1 IJKEN

Voor het valideren van de ruwe, van de meetpaal afkomstige, meetwaarden zijn ijklijnen nodig. Deze ijklijnen, ook wel regressielijnen genoemd, worden verkregen door ruwe meetwaarden te koppelen aan monsterwaarden. Door de monsterwaarden in een grafiek uit te zetten op de horizontale as en de ruwe meetwaarden die op het tijdstip van bemonstering zijn gemeten uit te zetten op de vertikale as wordt een puntenwolk verkregen. Met behulp van de computer is het mogelijk door deze puntenwolk een regressielijn te tekenen. Deze regressielijn is dan de ijklijn voor de sensor waarvoor de monsterwaarden zijn genomen en voor de betreffende periode waarvoor ze gelden.

Tijdens bemonstering zijn steeds monsters genomen voordat de sensoren werden schoongemaakt en nadat ze waren gereinigd. Door telkens op deze manier monsters te nemen kan de tijd tussen twee

schoonmaakbeurten worden beschouwd als één periode. Dit houdt ook in dat voor elke periode twee ijklijnen worden verkregen; één aan het begin van de periode en één aan het eind van elke periode.

Voor de stroomsensoren geldt dit niet. De ijking van de stroomsnelheidsmeters is uitgevoerd in het waterloopkundig laboratorium in De Voorst. De gegevens van deze ijkingen worden bij het valideren gebruikt.

3.2.2 VALIDEREN

3.2.2.1 Geleidendheidsensoren

Bij het valideren worden absolute waarden toegekend aan de gegevens zoals deze door de meetpaal worden geregistreerd. De gemeten waarden zijn nog niet gelijk aan de werkelijke waarden. Daarvoor is het nodig dat de sensoren geijkt worden voor de omstandigheden die in het Groote Gat heersen.

Voordat de meetwaarden van de geleidendheid gevalideerd kunnen worden, moeten deze eerst van S/m (Siemens per meter) naar saliniteit worden omgerekend. Dit wordt in het computerprogramma PAPAVER gedaan.

Voor berekening van de saliniteit moet de geleidendheid eerst omgezet worden in de conductivity ratio R_t volgens de formule:

$$R_t = \frac{G_t}{2.902 + 0,087 + 0.37*10^{-3} * 5.30825}$$

G_t in S/m
geldend bij t=25 C°

Vervolgens kan de saliniteit, in gram per kilogram, berekend worden met de formule:

$$S = -0.48 + 32.01*R_t + 3.48*R^2_t + R_t(R_t-1)*0.03*25$$

Deze saliniteitswaarden worden met behulp van de ijklijnen weer geijkt, waardoor de geldende waarden worden verkregen.

Het valideren wordt gedaan door de uitkomsten van de ijklijnen te koppelen aan de ruwe meetwaarden. Voor elke periode die gevalideerd wordt zijn twee ijklijnen beschikbaar; één aan het begin van de periode en één aan het eind van de periode. Het gewicht van elke ijklijn is recht evenredig met de tijd. Zo telt de eerste ijklijn aan het begin van de te valideren periode voor 100% mee, in het midden van de periode voor 50% en aan het eind voor 0%. De tweede ijklijn daarentegen telt aan het begin voor 0%, in het midden voor 50% en aan het eind voor 100% mee.

3.2.2.2 Slibsensoren

Alhoewel de slibgegevens in mg/l worden gemeten zijn ze toch niet gelijk aan de werkelijk opgetreden concentraties. Hiervoor moeten ze eerst weer geijkt worden. Als referentie voor de ijking van de slibsensoren worden de monsters gebruikt die bij de meetpaal gehaald zijn. Het valideren vindt verder op dezelfde manier plaats als bij de geleidenheidsensoren.

3.2.2.3 Stroomsensoren

Voor het valideren van de ruwe stroomgegevens wordt gebruik gemaakt van de ijkingen van het waterloopkundig laboratorium in De Voorst. Met deze ijkingen worden de ruwe stroomgegevens binnen PAPAVER omgerekend van mV/s naar m/s.

3.2.3 CORRIGEREN

Na het valideren van de ruwe meetwaarden moeten de gevalideerde gegevens gekontroleerd worden, en daar waar nodig aangepast worden.

Zo kunnen hiaten worden opgevuld als deze niet meer dan één waarneming beslaan. Door rechtlijnig te interpoleren tussen de waarneming voor het hiaat en de waarneming na het hiaat. Bij hiaten die meerdere waarnemingen omvatten is deze methode niet meer betrouwbaar en kan het hiaat beter blijven staan.

Ook moeten waarnemingen die niet voor kunnen komen verwijderd worden. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat grote voorzichtigheid geboden is. Het volgende dient hierbij als voorbeeld: Negatieve slibconcentraties die kleiner zijn dan -100 mg/l kunnen als foute waarnemingen worden beschouwd. Maar als er waarnemingen tussen de 0 en -100 mg/l worden gevonden, dan kan dit het gevolg zijn van het toepassen van de niet juiste ijklijn voor dat moment.

Ook in de registratie van de stroomsnelheden kan correctie nodig zijn. Dit kan het geval zijn als er stroomsnelheden waargenomen zijn die in het Groote Gat van nature niet voorkomen ter plaatse.

3.2.4 FILTEREN

Als de ruwe meetwaarden gevalideerd zijn bevatten deze gegevens nog steeds invloeden die voor ons onderzoek eigenlijk geëlimineerd moeten worden. Voor dit onderzoek is immers de invloed van baggerspeciestortingen op de slibconcentratie van belang. Het gevalideerde slibsignaal wordt echter ook beïnvloed door andere factoren zoals:

- de eb- en vloedcyclus
- de dagelijkse ongelijkheid
- spring- en doodtij
- golven en wind

Door de gevalideerde gegevens te filteren over een bepaalde tijdstap en deze uitkomsten daarna bijvoorbeeld van het gevalideerde signaal af te trekken is het mogelijk enkele van deze invloeden buiten te sluiten.

Dit filteren houdt in dat telkens een lopend gemiddelde over een bepaalde tijdstap wordt berekend. Bij het toepassen van een

filter over 370 minuten wordt een gemiddelde berekend over 18 waarnemingen voor het betreffende tijdstip, de waarneming op het tijdstip zelf en 18 waarnemingen na het tijdstip waarover het gemiddelde wordt berekend. Voor de volgende waarneming wordt dezelfde cyclus weer doorlopen.

Een speciaal filter dat in dit onderzoek ook is toegepast is het zogenaamde Low Pass-filter. Dit filter berekent een lopend gemiddelde twee maal over 24 uur en de laatste keer over 25 uur. De uitkomsten van dit filter bevatten geen invloeden meer van de eb- en vloedcyclus maar nog wel van spring- en doodtij. Doordat met dit filter het signaal drie maal gefilterd wordt is de uitkomst een vloeiend signaal.

3.2.5 VENSTEREN

Bij de verwerking van de gevalideerde gegevens bleek dat het wel eens interessant zou kunnen zijn de reeksen zodanig te bewerken zodat er alleen pieken in de reeks over blijven die hoger zijn dan de "normale" extremen. Hiervoor is een zogenaamd vensterprogramma geschreven. Met dit programma is het mogelijk alleen die waarden door te laten die groter of kleiner zijn dan de gekozen kriteria.

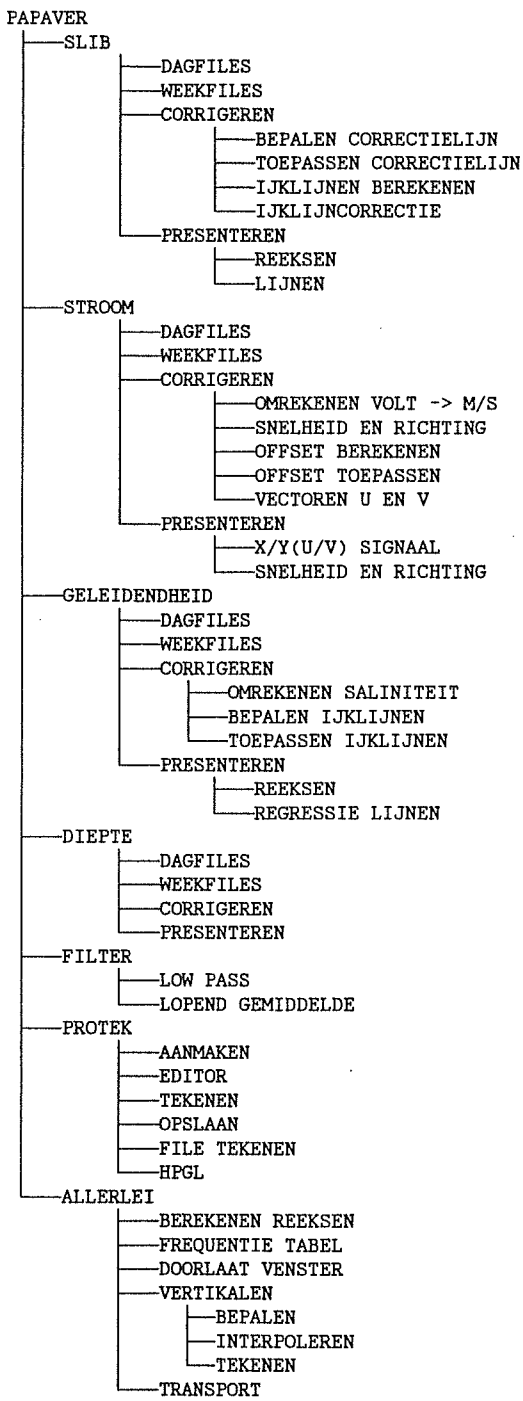
3.2.6 FREQUENTIEVERDELING

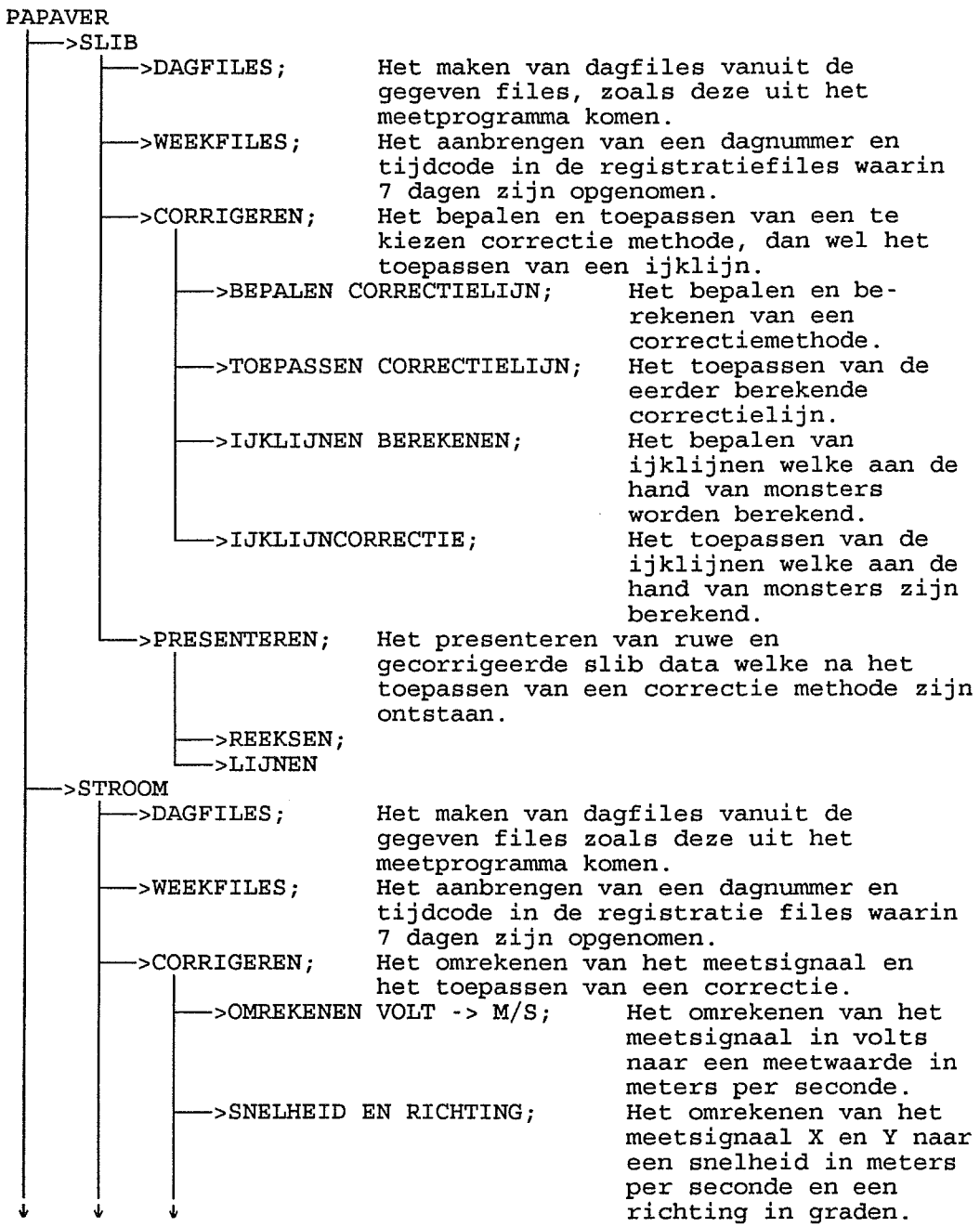
Doordat in de onderzochte periode alleen op werkdagen baggerwerkzaamheden zijn verricht, zou het slibsignaal van de weekenden een ander verloop kunnen hebben (bijvoorbeeld lagere maxima). Door de werkdagen en de weekenden te splitsen en van beide een frequentieverdeling te maken zou dit wellicht tot uiting kunnen komen.

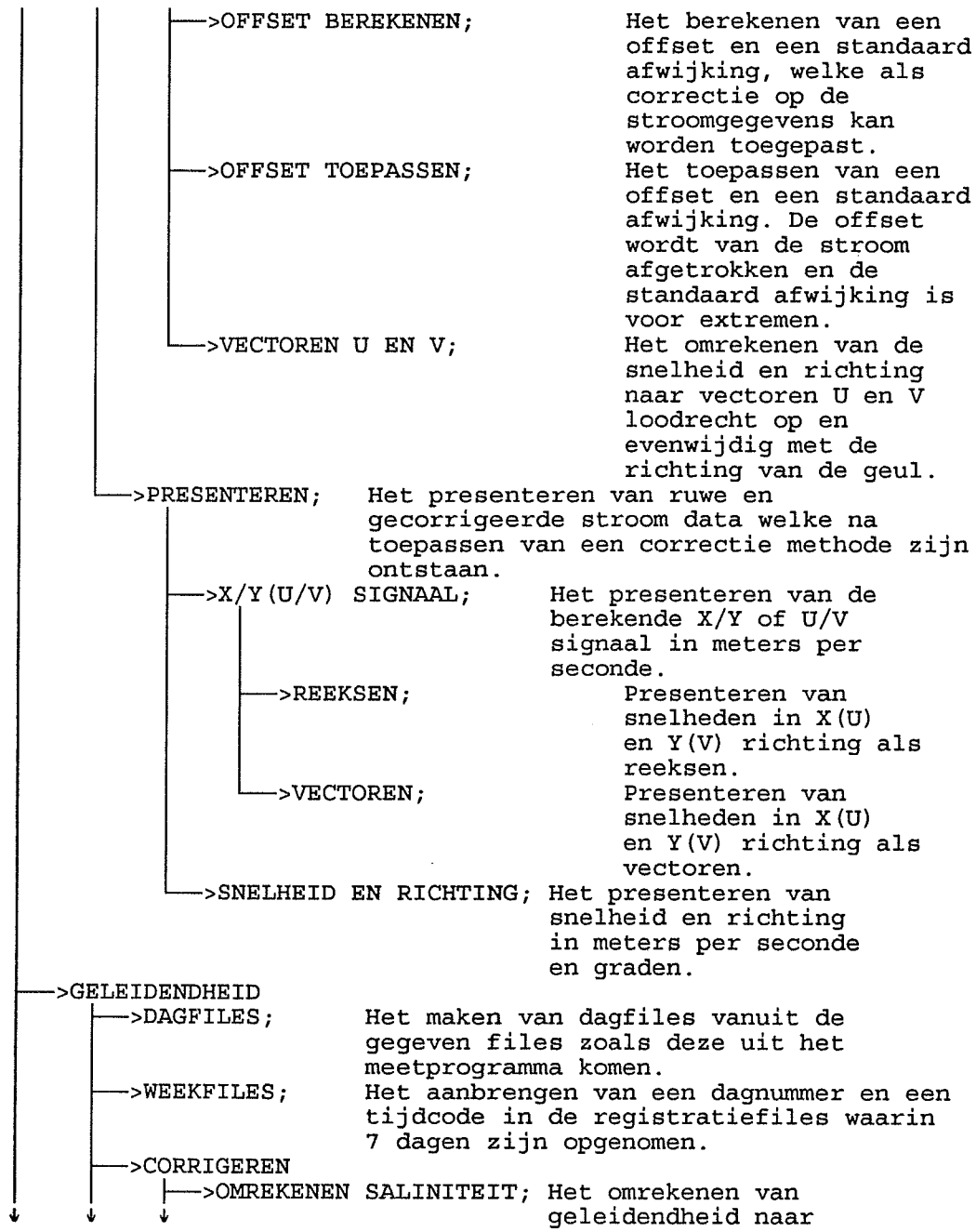
Voor deze handeling is een frequentieprogramma geschreven. Na toepassing van dit programma heeft men over de volgende gegevens de beschikking:

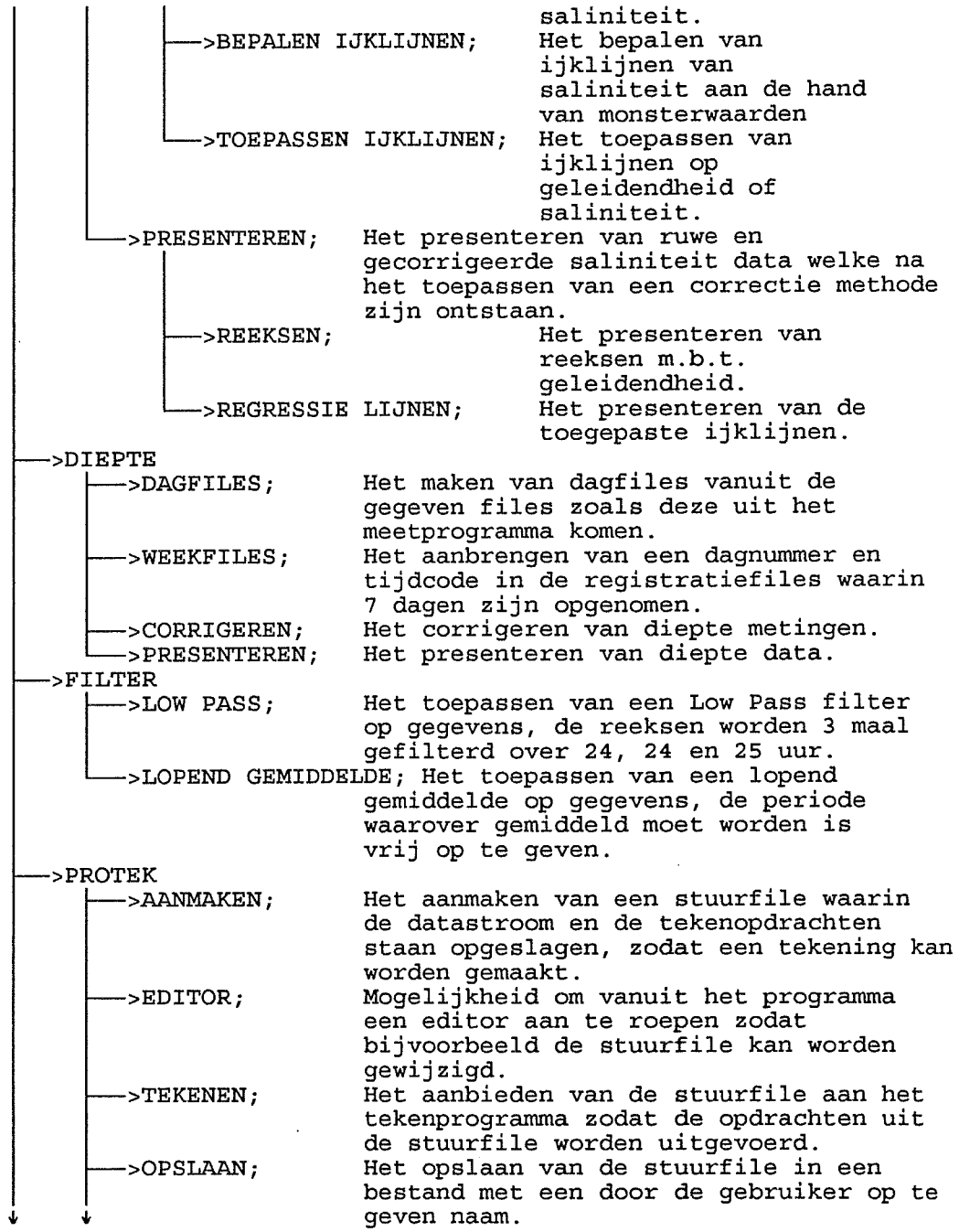
- gemiddelde in de reeks
- gemiddelde in de tabel
- mediaan
- standaard afwijking
- aantal waarnemingen

3.3 OVERZICHT




PAPAVER
->SLIB
->DAGFILES; Het maken van dagfiles vanuit de gegeven files, zoals deze uit het meetprogramma komen.
->WEEKFILES; Het aanbrengen van een dagnummer en tijdcode in de registratiefiles waarin 7 dagen zijn opgenomen.
->CORRIGEREN; Het bepalen en toepassen van een te kiezen correctie methode, dan wel het toepassen van een ijklijn.
->BEPALEN CORRECTIELIJN; Het bepalen en berekenen van een correctiemethode.
->TOEPASSEN CORRECTIELIJN; Het toepassen van de eerder berekende correctielijn.
->IJKLIJNEN BEREKENEN; Het bepalen van ijklijnen welke aan de hand van monsters worden berekend.
->IJKLIJNCORRECTIE; Het toepassen van de ijklijnen welke aan de hand van monsters zijn berekend.
->PRESENTEREN; Het presenteren van ruwe en gecorrigeerde slib data welke na het toepassen van een correctie methode zijn ontstaan.
->REEKSEN;
->LIJNEN
->STROOM
->DAGFILES; Het maken van dagfiles vanuit de gegeven files zoals deze uit het meetprogramma komen.
->WEEKFILES; Het aanbrengen van een dagnummer en tijdcode in de registratie files waarin 7 dagen zijn opgenomen.
->CORRIGEREN; Het omrekenen van het meetsignaal en het toepassen van een correctie.
->OMREKENEN VOLT -> M/S; Het omrekenen van het meetsignaal in volts naar een meetwaarde in meters per seconde.
->SNELHEID EN RICHTING; Het omrekenen van het meetsignaal X en Y naar een snelheid in meters per seconde en een richting in graden.


->OFFSET BEREKENEN; Het berekenen van een offset en een standaard afwijking, welke als correctie op de stroomgegevens kan worden toegepast.
->OFFSET TOEPASSEN; Het toepassen van een offset en een standaard afwijking. De offset wordt van de stroom afgetrokken en de standaard afwijking is voor extremen.
->VECTOREN U EN V; Het omrekenen van de snelheid en richting naar vectoren U en V loodrecht op en evenwijdig met de richting van de geul.
->PRESENTEREN; Het presenteren van ruwe en gecorrigeerde stroom data welke na toepassen van een correctie methode zijn ontstaan.
->X/Y(U/V) SIGNAAL; Het presenteren van de berekende X/Y of U/V signaal in meters per seconde.
->REEKSEN; Presenteren van snelheden in X(U) en Y(V) richting als reeksen.
->VECTOREN; Presenteren van snelheden in X(U) en Y(V) richting als vectoren.
->SNELHEID EN RICHTING; Het presenteren van snelheid en richting in meters per seconde en graden.
->GELEIDENDHEID
->DAGFILES; Het maken van dagfiles vanuit de gegeven files zoals deze uit het meetprogramma komen.
->WEEKFILES; Het aanbrengen van een dagnummer en een tijdcode in de registratiefiles waarin 7 dagen zijn opgenomen.
->CORRIGEREN
->OMREKENEN SALINITEIT; Het omrekenen van geleidendheid naar


saliniteit.
->BEPALEN IJKLIJNEN; Het bepalen van ijklijnen van saliniteit aan de hand van monsterwaarden
->TOEPASSEN IJKLIJNEN; Het toepassen van ijklijnen op geleidendheid of saliniteit.
->PRESENTEREN; Het presenteren van ruwe en gecorrigeerde saliniteit data welke na het toepassen van een correctie methode zijn ontstaan.
->REEKSEN; Het presenteren van reeksen m.b.t. geleidendheid.
->REGRESSIE LIJNEN; Het presenteren van de toegepaste ijklijnen.
->DIEPTE
->DAGFILES; Het maken van dagfiles vanuit de gegeven files zoals deze uit het meetprogramma komen.
->WEEKFILES; Het aanbrengen van een dagnummer en tijdcode in de registratiefiles waarin 7 dagen zijn opgenomen.
->CORRIGEREN; Het corrigeren van diepte metingen.
->PRESENTEREN; Het presenteren van diepte data.
->FILTER
->LOW PASS; Het toepassen van een Low Pass filter op gegevens, de reeksen worden 3 maal gefilterd over 24, 24 en 25 uur.
->LOPEND GEMIDDELDE; Het toepassen van een lopend gemiddelde op gegevens, de periode waarover gemiddeld moet worden is vrij op te geven.
->PROTEK
->AANMAKEN; Het aanmaken van een stuurfile waarin de datastroom en de tekenopdrachten staan opgeslagen, zodat een tekening kan worden gemaakt.
->EDITOR; Mogelijkheid om vanuit het programma een editor aan te roepen zodat bijvoorbeeld de stuurfile kan worden gewijzigd.
->TEKENEN; Het aanbieden van de stuurfile aan het tekenprogramma zodat de opdrachten uit de stuurfile worden uitgevoerd.
->OPSLAAN; Het opslaan van de stuurfile in een bestand met een door de gebruiker op te geven naam.

```
    ├──>FILE TEKENEN;  Het naar een file sturen van een
    │                  tekening, welke later alsnog naar een
    │                  plotter kan worden gestuurd.
    └──>HPGL;          Het omzetten van een naar een file
                       gestuurde tekening van GINO-F naar HPGL.
└──>ALLERLEI
    ├──>BEREKENEN REEKSEN; Het rekenen met reeksen. Zo kunnen
    │                  reeksen van elkaar worden afgetrokken,
    │                  op elkaar worden gedeeld, of met elkaar
    │                  worden vermenigvuldigd.
    ├──>FREQUENTIE TABEL; Het samenstellen van een frequentie
    │                  tabel van data.
    ├──>DOORLAAT VENSTER; Het toepassen van een
    │                  doorlaatvenster. Hierdoor is het
    │                  mogelijk data te selecteren en op te
    │                  slaan aan de hand van bepaalde
    │                  kriteria.
    ├──>VERTIKALEN;    Het bepalen, interpoleren en tekenen
    │   │              van stroom- en slibvertikalen.
    │   ├──>BEPALEN VERTIKALEN;   Het bepalen van
    │   │                         stroom- en
    │   │                         slibvertikalen.
    │   ├──>INTERPOLEREN;         Verwerking en
    │   │                         interpretatie van
    │   │                         vertikaal metingen van
    │   │                         slibconcentratie en
    │   │                         stroomsnelheid en
    │   │                         berekenen van
    │   │                         transportvertikalen.
    │   └──>TEKENEN VERTIKALEN;   Het tekenen van stroom,
    │                             slib- en transport
    │                             vertikalen. En het
    │                             berekenen en tekenen
    │                             van vertikaal
    │                             gemiddelden.
    └──>BEREKENEN TRANSPORT; Het berekenen van
                       transport uit slib
                       reeksen en stroom
                       snelheden loodrecht op
                       en evenwijdig aan de
                       geulrichting (U/V signaal).
```

4. PROCESSEN DIE HET SLIBSIGNAAL BEÏNVLOEDEN

Wanneer het slibsignaal nader beschouwd wordt blijkt dat dit grote variaties vertoont. Er zijn dan ook veel processen die invloed hebben op de slibconcentratie. Een periodiek terugkerend proces is het dagelijks getij. Maar ook de invloed van spring- en doodtij is in het signaal terug te vinden. Verder kunnen golven, wind, rivierafvoer, saliniteit en menselijk handelen (zoals baggerspeciestortingen, scheepvaart, enz.) van invloed zijn.

Onder omstandigheden waarbij geen andere invloeden dan eb en vloed aanwezig zijn zal het verloop van het slibsignaal een regelmatig karakter hebben. Tijdens kentering van eb naar vloed is de slibconcentratie laag. De stroomsnelheid is dan bijna of geheel gelijk aan nul en materiaal dat tijdens de ebstroom in suspensie is gegaan zal bezinken. Wanneer de vloed inzet wordt dit materiaal, als gevolg van de toenemende stroom, weer van de bodem opgepikt en zal opnieuw in suspensie gaan. Dit is in het slibsignaal terug te vinden als een plotselinge toename. Naarmate de vloedstroom toeneemt gaat er steeds meer materiaal suspenderen.

Bij het bestuderen van het slibsignaal over een periode van enkele weken is ook de invloed van springtij en doodtij te zien. Bij springtij is er een algehele verhoging van de slibconcentratie. Dit is het gevolg van de hogere stroomsnelheden die tijdens springtij optreden. Materiaal dat onder invloed van het gemiddelde getij niet in suspensie gaat wordt nu wel opgenomen. Het tegenovergestelde is geval bij doodtij. Er zijn dan lagere stroomsnelheden wat tot gevolg heeft dat er minder materiaal in suspensie gaat. De slibsensor registreert rond doodtij dan ook een algehele verlaging in de slibconcentratie.

Uit het vergelijken van de golfregistratie met het slibsignaal blijkt dat golven een grote invloed hebben op de slibconcentratie. Dit is toe te schrijven aan de invloed die de golven hebben op de zandplaten in het Eems-Dollard estuarium. Hoge golven veroorzaken daar bodemerosie wat tot gevolg heeft dat de slibconcentratie stijgt.

Wind kan zowel een indirekte als een direkte invloed op de slibconcentratie hebben. Er is sprake van een indirekte invloed wanneer de wind hoge golven veroorzaakt. Deze hoge golven leiden tot bodemerosie. Wanneer de wind geen hoge golven veroorzaakt kan door direkte invloed bodemerosie optreden op zandplaten en andere ondiepe gedeelten. In beide gevallen zal de slibconcentratie stijgen.

Omdat de meetpaal aan de rand van een vaargeul ligt en er dus regelmatig scheepvaart de meetpaal passeert kan dit ook invloed hebben op de slibconcentratie. De turbulentie die de scheepsschroef veroorzaakt kan materiaal van de bodem in suspensie brengen.

Wanneer er ter plaatse van de meetpaal toename van de slibconcentratie optreedt nadat er gestort is, zal dit door de slibsensoren geregistreerd worden. Voorwaarde hierbij is dat er tijdens vloed en in dezelfde stroombaan gestort moet worden als waar de meetpaal in staat. Direkt na het lossen zal een deel van het gestorte materiaal zich als een slibwolk verplaatsen door het water. De rest van het gestorte materiaal komt op de bodem terecht en zal daarna getransporteerd worden. Beide verschijnselen kunnen een verhoging in het slibsignaal veroorzaken.

5. SALINITEIT EN DE EEMSAFVOER

5.1 INVLOED SALINITEIT OP SLIBGEHALTE

Door de G/T-meter wordt de geleidendheid van het water gemeten. De geleidendheid wordt uitgedrukt in de saliniteit (zoutgehalte) van het water.

Door de aanwezigheid van zout in zoet water wordt het flocculatieproces bevordert. De slibdeeltjes gaan samenklonteren, waardoor grotere vlokken ontstaan met een toenemende valsnelheid. Hierdoor treedt meer sedimentatie op en de erosiesnelheid van deze samengevoegde slibdeeltjes is hoger als van die afzonderlijk. Dit zou als resultaat een lagere slibconcentratie van het water hebben. Deze invloed van het zout op het flocculatieproces heeft een bovengrens van 2 à 3 ‰. Is de saliniteit hoger dan deze waarde, dan heeft dit geen verdere invloed meer op het proces [9]. De saliniteit in het Groote Gat is vele malen groter, de laagst gemeten waarde bedraagt 15 ‰. Hierdoor verwachten we hier geen invloed van de saliniteit op de slibconcentratie.

5.2 INVLOED EEMSAFVOER OP SALINITEIT

Het verloop van de dagelijkse schommelingen in de saliniteit is het gevolg van het getij. De saliniteit vertoont een soortgelijk verloop als het getij (bijlage D2); bij opkomend water zien we een toename in saliniteit en bij afnemend water een eveneens afnemende saliniteit.

Bijlage E3 bevat het Low Pass-signaal van de gemeten saliniteit bij de meetpaal. Hierop zien we dat het signaal in week 44 enkele promille oploopt van circa 23 tot ongeveer 25 ‰. In week 45 treedt een daling van circa 10 ‰ op. Hierna blijft de saliniteit laag, circa 17 ‰.
Vergelijking met de gemiddelde dagafvoeren van de Eems levert de volgende samenhang:

In week 44 liggen de dagafvoeren iets lager dan 25 m^3/s, in de voorgaande weken ligt het boven deze waarde. In week 45 neemt de rivierafvoer enorm toe, tot 130 m^3/s en in week 47 zelfs tot 170 m^3/s. In week 48 daalt dit weer onder de 100 m^3/s tot in week 49 lager dan 50 m^3/s.
De enorme daling in saliniteit aan het einde van week 45 is waarschijnlijk een gevolg van de verhoogde rivierafvoer. Op grond hiervan zou men een verhoging van de saliniteit in week 48 verwachten, welke niet optreedt. Daarvoor is het nodig ook de waterstanden te bekijken. Op bijlage G1.2 zien we dat er springtij optreedt in de weken 44 en 45. De gemiddelde waterstanden in de weken 47 en 48 is lager. Springtij neemt verhoogde waterstanden en dus meer zout zeewater met zich mee, waardoor ook verhoging van de saliniteit verklaarbaar is.

5.3 INVLOED EEMSAFVOER OP SLIBGEHALTE

In de weken 43,45 en 47 is het springtij, in de weken 42,44 en 46 doodtij. De waterstanden in de laatste weken, week 47,48 en 49, benaderen de ongestoorde situatie doordat er dan geen hoge golven zijn of andere extreme invloeden gelden. Hiermee vergeleken zijn de waterstanden in week 45 erg hoog, waarschijnlijk door de wind veroorzaakt. De waterstanden in week 43 en 44 zijn erg laag. De waterstanden op zich veroorzaken geen hogere of lagere troebelheid, maar de wind wel. Als we er van uit gaan dat de lage en hoge waterstanden veroorzaakt zijn door de wind dan zien we dat de wind een hogere slibconcentratie veroorzaakt in de weken 43 en 45.

De gemiddelde dagafvoer van de Eems loopt op van circa 25 m^3/s in week 42 en 43 tot hoeveelheden groter dan 100 m^3/s in week 45,46 en 47 (bijlage G2). Zoals hiervoor al is vermeld is de Eemsafvoer van invloed op de saliniteit van het water in de Eems-Dollard, maar beïnvloedt het flocculatieproces niet. De rivierafvoer kan wel direkt van invloed zijn op de troebelheid, doordat het rivierwater veel slib kan bevatten. De slibconcentratie is de eerste weken hoog en neemt in de laatste drie weken erg af. Dit terwijl de afvoer van de Eems over de periode toeneemt. De Eemsafvoer heeft dus ook geen direkte

invloed op het slibgehalte van het water. De afvoer kan te gering zijn om invloed in het estuarium uit te kunnen oefenen. Of het water van de Eems bevat weinig slib, of het slib passeert de meetpaal niet. De sluis bij Nieuw Statenzijl heeft een gemiddelde dagafvoer van 0.01 a 0.03 m^3/s. Ten opzichte van de dagafvoeren van de Eems is deze zo klein dat we deze verwaarlozen.

6. GOLVEN

6.1 INVLOED WIND OP GOLFHOOGTE

Pas in de afrondingsfase van ons onderzoek werden ons de windgegevens verstrekt. Hierdoor ontbrak de tijd om deze volledig uit te kunnen werken. We volstaan daarom met onderstaande relatie tussen wind en golfhoogte.

Als er nauwelijks wind is, worden de golven niet hoger dan circa 0.25 m. We spreken van hoge golven als de significante golfhoogte groter dan 0.30 m wordt. Er is naar de relatie tussen wind en golfhoogte gekeken als de golven hoog zijn. De windrichting geldt voor De Bilt. Omdat de windrichting niet bekend is voor een nader gelegen station, nemen deze richting ook voor het Groote Gat aan.

In het weekend van week 44, op dag 299 (26 oktober), loopt de significante golfhoogte op tot 0.30 m en op dag 301 worden er golven hoger dan 0.40 m gemeten. Op de voorgaande dagen bleven de golven kleiner dan 0.25 m. Bij de kuststations werd een verdubbeling in windsnelheid gemeten van circa 3 m/s tot meer dan 6 m/s (bijlage G4). De windrichting draaide van Noord-West naar Zuid-Oost. In de periode van dag 308 t/m 318 (4 t/m 14 november) zijn de hoogste golven gemeten. In november was het weer erg slecht; lagedrukgebieden hadden grote invloed en er heersten aktieve depressies. Dit slechte weer duurde tot 15 november. De gemiddelde windsnelheid over de dagen 1 t/m 14 november was 6.2 m/s, varieert uit westelijke en zuidelijke richting. Uitschieters zijn gemeten op dag 311 en 312 (7 en 8 november). Op het station De Kooy werd een windkracht gemeten van 12.6 m/s en in Eelde 9.5 m/s uit West-Zuidwestelijke richting. Op dag 323 (19 november) neemt de significante golfhoogte weer toe tot 0.30 m. Op deze dag verdubbeld de windsnelheid tot 11.8 m/s bij De Kooy en 7.2 m/s bij Eelde.

Hieruit blijkt dat bij windsnelheden groter dan 6 m/s de golven groter dan 0.30 m worden. Op 26 oktober is de windsnelheid alleen aan de kust groter dan 6 m/s, maar de richting is wel gedraaid naar het Zuidoosten. Wanneer in week 45 extreem hoge golven

gemeten zijn is de windrichting Zuid-West, met een snelheid van ongeveer 10 m/s.

Uit bovenstaande samenhang tussen golven en wind blijkt dat de golven door de wind veroorzaakt worden. Omdat de windsnelheden op 1 t/m 4 november (dag 305 t/m 308) hoog zijn en uit Zuidwestelijke richting nemen we aan dat er toen ook hoge golven waren.

6.2 INVLOED GOLFHOOGTE OP SLIBGEHALTE

6.2.1 THEORIE

Bijlage G3 toont de significante golfhoogten met de daarbij horende golfperioden. In deze gegevens zitten veel hiaten. Van week 42 ontbreken de golfgegevens grotendeels. In week 43 loopt de golfhoogte op van ongeveer 0.10 tot 0.40 m. In week 45 waren de golven het hoogst; op dag 312 is de significante golfhoogte 0.80 m. Een grote golfhoogte gaat samen met een korte golfperiode. In de overige weken ontbreken veel golfgegevens. De meest hoge golven zijn tijdens springtij gemeten.

De golven kunnen een toename van de slibconcentratie veroorzaken. Hiervoor zijn twee verklaringen:

1. Door de hoge golven wordt de bodemschuifspanning verhoogd. Hierdoor kunnen grote hoeveelheden slib van de bodem losgemaakt worden.
2. Er kan verweking van de bodem optreden door de grote erosiesnelheid bij hoge golven. Uit metingen in een laboratorium is gebleken dat de kritische schuifspanning van erosie onder invloed van golven belangrijk kan afnemen [25]. Deze afname wordt veroorzaakt door verweking van de bodem als gevolg van periodieke drukfluctuaties veroorzaakt door golven.

In ondiep water is de orbitale beweging van de waterdeeltjes in een golf ellipsvormig. Op de bodem resulteert dit in een oscillerende werking, waardoor bodemmateriaal losgewoeld kan worden.

Het water dat de meetpaal tijdens eb passeert is voornamelijk afkomstig van de ondiepe gedeelten in het estuarium die tijdens eb gedeeltelijk droogvallen. Voor deze gebieden geldt een ondiep water situatie, waarin de golven grote invloed op de bodem hebben.

Onderstaande berekening toont aan dat we ter plaatse van de stortlokatie te maken hebben met een situatie tussen diep en ondiep water in. We gaan ervan uit dat voor de plaats van storten dezelfde golfgegevens gelden als geregistreerd door de golfboei.

We spreken van diep water als: $h > \frac{1}{2} L$
h= waterdiepte
L= golflengte

Voor de golfsnelheid geldt dan: $C = L/T = \frac{g*T}{2*\pi}$
T= golfperiode
g= 10

De gemiddelde significante golfperiode T = 4s, waardoor

$$C = \frac{4*10}{2*\pi} = 6.36 \text{ m/s}$$

$$\text{en} \quad L = 4 * 6.36 \approx 25 \text{ m}$$

De gemiddelde waterdiepte is 6.50 m, en dus $h \approx \frac{1}{4} L$

Conclusie: geen diep water situatie

We spreken van ondiep water als geldt: $h < 1/25\ L$

Voor ondiep water geldt: $C = L/T = \sqrt{(g*h)}$
$= \sqrt{(10 * 6.50)} = 8$ m/s
$L = 8 * 4 = 32$ m
Er geldt: $h \approx 1/5\ L$

Conclusie: ook niet echt ondiep water.

In deze situatie zullen de golven zelfs in de diepe gedeelten een grote werking op de bodem hebben en in staat zijn veel bodemmateriaal los te maken.

6.2.2 ONDERZOEK

We spreken van hoge golven in dit gebied als de significante golfhoogte groter dan 0.30 m is. Om de invloed van de golven op het slibgehalte te achterhalen, worden de golfgegevens vergeleken met het slibsignaal.

In het 370-min.gefilterde signaal (bijlage E1.1) stijgt het slibgehalte in week 43 op dag 298 met circa 200 mg/l. Vanaf deze dag loopt de golfhoogte op van circa 0.15 m tot groter dan 0.40 m. In week 44 wordt het golfverloop wat rustiger en het slibsignaal daalt weer.

Zeer hoge slibconcentraties worden gemeten in week 45, wanneer de meest hoge golven zijn geregistreerd. Van de laatste drie weken, week 47, 48 en 49, ontbreken veel golfgegevens. Maar uit de enkele golfmetingen en op grond van een laag en rustig slibsignaal nemen we aan dat er in deze weken geen hoge golven zijn.

Hieruit blijkt dat golven groter dan 0.30 m onmiddellijk een verhoging op het slibgehalte veroorzaken.

7. BODEMLIGGING

Het Eems-Dollard gebied wordt regelmatig door de Meetdienst van Rijkswaterstaat Groningen gepeild. Dit gebeurt door echopeilingen met een peilvaartuig. Elke vijf jaar wordt het gehele gebied gepeild en in kaart gezet.

Voor dit onderzoek zijn er door het Havenschap Delfzijl extra peilingen uitgevoerd in het Groote Gat. Hierbij is om de 50 m een raai dwars op de geul gepeild waarbij elke 10 m de diepte gepeild wordt.

Uit de verschillen van de peilkaarten is de verandering van de bodem zichtbaar. Verdieping en verondieping duiden op erosie resp. sedimentatie. Sedimentatie kan een gevolg van de stortingen zijn. Om hier inzicht in te krijgen is het nodig iets over het natuurlijk gedrag van de bodem te weten.

7.1 ACHTERGROND

Het blijkt uit onderzoekingen dat het Dollardgebied een vrij stabiel gebied is [3, 23]. Deze onderzoeken zijn gehouden in 1952 tot 1970 en 1977 t/m 1980. Uit het eerste onderzoek bleek dat het geulenstelsel nauwelijks verandert; over de gehele periode bleef de geul in het Groote Gat even diep. Er werd wel een kleine verondieping van de platen gemeten, waardoor een afname van de komberging werd verwacht met als eventueel gevolg dat de geuldiepte zou kunnen afnemen door afnemende stroomsnelheden in de geulen. Maar deze verondieping is slechts een tot enkele centimeters over een tiental jaren, en bij ons onderzoek dus niet van belang.

Een zelfde conclusie komt uit metingen gehouden in 1977,'78,'79 en '80 [3]. In de Dollard zijn toen vier proefvakken onderzocht. Hierbij ligt proefvak I ongeveer een kilometer ten zuiden van de stortlokatie. Dit blijkt een heel stabiel gebied te zijn; kleine fluctuaties in diepte van 1 à 2 cm, maar geen resulterende sedimentatie of erosie. De proefvakken II en III liggen verder

van de stortlokatie verwijderd. In proefvak II zijn de fluctuaties in diepte +/- 3 cm, maar ook zonder resulterende sedimentatie of erosie. In proefvak III zijn grotere dieptevariaties gemeten, nl. +/- 6 cm. Dit komt voornamelijk door wind uit het westen. Hier vindt ook enige sedimentatie plaats, in de orde van 1 a 2 cm per jaar. Ook hieruit blijkt dat de sedimentatie in dit gebied niet noemenswaardig is over een periode van acht weken.

7.2 BODEMONDERZOEK

7.2.1 GEGEVENS

We beschikken over peilkaarten van 04-09, 21-10, 15-11, 10-12 van 1991 en 07-02 1992. Mede uit tijdgebrek, maar hoofdzakelijk in verband met de onbetrouwbaarheid van deze metingen, onderzoeken we slechts twee peilingen binnen de onderzoeksperiode. We nemen hiervoor de peilingen van 21-10 en 15-11. Verder hebben we een lodingskaart van 1985-'86.

Het was in eerste instantie de bedoeling deze laatst genoemde kaart als referentiekaart te gebruiken. Maar de betrouwbaarheid van deze metingen ten opzichte van de twee andere laat veel te wensen over. Er is hier namelijk gemeten met een keer zo grof meetraaienstelsel (om de 100 in plaats van om de 50 meter), en niet loodrecht op de geul maar in Noord-Zuid richting. Hierdoor kan er niet vergeleken worden met de twee lodingen uit oktober en november, waar wel om de 50 meter gemeten is en loodrecht op de geul.

7.2.2 NAUWKEURIGHEID

De nauwkeurigheid van dergelijke peilkaarten wordt algemeen gesteld op +/- 0.10 à 0.20 m. Deze afwijking kan voortkomen uit meetfouten gemaakt tijdens het peilen door slingeringen van het peilvaartuig en/of voorwerpen op de zeebodem, en bij de

verwerking van de gegevens bij onder anderen de correctie met de waterstanden en het aflezen.

Het rooster neemt ook een onnauwkeurigheid met zich mee: tussen het rooster van oktober en november kan horizontaal of verticaal een verschuiving zijn opgetreden. Verder moeten we er rekening mee houden dat we met gemiddelde waarden werken. Aannemende dat het rooster dezelfde positie op beide kaarten heeft, houden we voor de verschilprofielen een onnauwkeurigheid van +/- 0.20 m aan.

7.2.3 WERKWIJZE

We hebben een rooster met vakken van 100 * 100 meter over een gebied rond de stortlokatie van 500 * 1100 meter gelegd. Hierdoor werd het gebied verdeeld over 55 vakken met circa 20 dieptepeilingen. Per vak hebben we de gemiddelde diepte bepaald. Dit hebben we voor beide peilingen, van oktober en november, gedaan.Door het rooster vast te leggen aan x- en y-koördinaten, kunnen we de uitkomsten onderling vergelijken. Dit rooster hebben we ook gebruikt voor de peiling van 1985-'86, maar nu waren er per vak slechts 2 a 3 dieptematen. Ook uit vergelijk van deze loding met de waarden van de twee uit 1991 blijkt dat deze loding niet gebruikt kan worden voor onderling vergelijk, daar de waarden door onnauwkeurigheid te veel afwijken.

Het verschil tussen de gemiddelde dieptewaarden van oktober en november staan in de laatste tabel van bijlage J.
Van deze tabel vervalt de onderste regel (dit is de zuidelijke langsraai) omdat hier grote verschillen zijn gemeten terwijl dit buiten de verwachting valt. De zuidelijke raai komt immers overeen met de rand van de geul, waar naar verwachting weinig zal veranderen. De gemeten verschillen zijn in dezelfde orde van grootte, namelijk 0.5 à 0.6 m. Waarschijnlijk is er een horizontale verschuiving opgetreden in de meetraai of in het rooster.

7.2.4 UITWERKING

De negatieve waarden uit de tabellen van bijlage J duiden een verondieping aan. De onderste regels van de verschiltabellen geven de sommatie van de dwarsraaien, evenzo de rechtse tabel de sommatie van de langsraaien. De diepte neemt in zeewaartse richting toe. De bodem heeft een verhang van ongeveer 0.2% .

Uit het verschil tussen oktober en november zien we dat er zeewaarts van de stortlokatie sedimentatie plaats heeft gevonden. Dichter naar de stortlokatie toe neemt deze verondieping af. Op en landwaarts van de stortlokatie is er verdieping ofwel erosie opgetreden.

Van beide peilingen hebben we dwarsprofielen getekend (Bijlage J). De raaien staan dwars op de geul, genummerd van West naar Oost. In raai zeven bevindt zich de stortlokatie. Uit de figuur valt waar te nemen dat de geul een naar zee aflopend verhang heeft. Het sediment beweegt zich met het verhang mee en komt zeewaarts van de stortlokatie terecht (zie hiervoor de berekening in 7.3.2). In het bovenste figuur van bijlage J is deze verondieping duidelijk te zien. Gezien uit literatuur onderzoek blijkt dat er van nature geen sedimentatie of erosie over zo'n korte periode voorkomt, is het aanneembaar dat dit het gevolg van de stortingen is.

7.2.5 HOEVEELHEDEN

Door de diepteverschillen van oktober en november met het oppervlak (= 440.000 m^2) te vermenigvuldigen, krijgt men de hoeveelheid sedimentatie in kubieke meters. Netto is dit 76.000 m^3. Rekening houdend met een onnauwkeurigheid van 0.2 m wordt dit +/- 88.000 m^3 (0.20 * 440.000 m^3) en dus 0 tot 160.000 m^3.

Gestort in deze periode is $15*10^6$ kg (droge stof). Altijd geldt dat de sedimentatie kleiner of gelijk moet zijn aan het aantal gestort materiaal. Maar van de 76.000 m^3 dat op de bodem ligt is de dichtheid niet bekend. Voor de dichtheid van de bodem van de haven in Delfzijl is een waarde van 300 kg/m^3 aangenomen.

Uit gegevens van de stortingen blijkt dat de dichtheid in het beun van het schip iets boven de 100 kg/m^3 ligt (129 kg/m^3). Verwacht wordt dat de dichtheid van de bodem tussen deze twee waarden in ligt.

voorbeeld 1: dichtheid bodem : 100 kg/m^3
sedimentatie (m^3) : 76.000 m^3
sedimentatie (kg) : 100 * 76.000 = 7.6*10^6 kg

Dit betekent dat 50% van de stortingen op de bodem blijft liggen.

voorbeeld 2: dichtheid bodem : 150 kg/m^3
sedimentatie (m^3) : 100.000 m^3
sedimentatie (kg) : 150 * 100.000 = 15*10^6 kg

Dit betekent dat 100% van de stortingen op de bodem blijft liggen.

voorbeeld 3: dichtheid bodem : ?
sedimentatie (m^3) : 0
sedimentatie (kg) : 0

Dit betekent dat alles verdwijnt van de bodem.

Hieruit blijkt dus dat, rekening houdend met de onnauwkeurigheid, er over de hoeveelheden geen uitspraak gedaan kan worden.

7.3 BEWEGING VAN DE SLIBWOLK

7.3.1 INVLOED VAN DE HELLING

Meer dan de helft van de stortingen zijn tijdens vloed uitgevoerd. Toch blijkt uit de peilingen dat er sedimentatie zeewaarts van de stortlokatie plaatsvindt. De bodem heeft een helling van ongeveer 0.2% (zie 7.2.4). Als gevolg van deze

helling zal de gestorte massa een snelheid krijgen die tegengesteld is aan de richting van de vloedstroom.

Het storten gebeurt door de luiken onderin het beun te openen. De massa komt in de vorm van een cirkelvormige koek op de bodem terecht. Door radiale verspreiding wordt de straal van deze koek steeds groter waarbij de dikte afneemt. Er wordt op een diepte van 6 à 7 meter gestort, en de massa komt op de stortlokatie terecht. Bij het storten op grotere diepten kan de plaats waar de stort terecht komt afwijken van de stortlokatie, door de invloed van de stroomsnelheid.

Zolang de snelheid als gevolg van de helling groter is dan de vloedsnelheid, zal het sediment zich zeewaarts verplaatsen.De snelheid door de helling neemt af in de tijd, door wrijving van de bodem en afname van de concentratie, wat een kleinere dichtheid van de wolk geeft.

In de in 7.3.2 genoemde nota wordt de gemiddelde vloedsnelheid op een halve meter boven de bodem wordt vergeleken met de snelheid die de slibwolk krijgt onder invloed van de helling. Voor de gemiddelde stroomsnelheid tijdens vloed op een halve meter boven de bodem geldt: V_v= 0.44 m/s.

De snelheid veroorzaakt door de helling, V_h,is afhankelijk van de concentratie, dichtheid en straal van de slibwolk en neemt in de loop van de tijd af.

7.3.2 BEREKENING VAN SNELHEID

Voor de volgende berekening wordt verwezen naar de nota GWAO-88.034 van Tj.van Heuvel [10].

Voor de snelheid als gevolg van de helling geldt:

C = concentratie slibwolk
C_0= beginconcentratie op t=0 = 10 kg/m^3
H = dikte slibwolk
R = straal slibwolk
ρ_w= dichtheid omgevingswater = 1000 kg/m^3
ρ_m= dichtheid slibwolk
ρ_s= dichtheid sediment = 2650 kg/m^3
V_h= snelheid door helling
C_d= 0.002
I = bodemverhang = 1/500

Op het tijdstip t=0 is de dikte van de slibwolk (slibkolom) gelijk aan de waterdiepte. De waterdiepte bij vloed is circa 7.50 m en dus H_0= 7.50 m.

$$H = \frac{R_0^2 * H_0}{R^2}$$

De massa van de stort is constant. Hiervoor geldt:

$$\text{massa} = C_0 * H_0 * R_0^2 * \pi$$

Gemiddeld is er per keer 185000 kg gestort en dus

$$R_0 = 185000/(10*7.50*\pi) = 28 \text{ m}$$

$$R = R_0 + 3\sqrt{t}$$

Voor de concentratie geldt: $C=C_0 * e^{ßt}$ met ß=0.003

Zo komen we tot de volgende concentraties (C in kg/m^3):

t	0	10	20	30	60	90	120	180	300	600	900
C	10	9.70	9.42	9.14	8.35	7.64	6.98	5.83	4.07	1.65	0.67

Voor de dichtheid van de slibwolk geldt:

$$\rho_m = (C+(1-C/\rho_s)\rho_w)$$

Aldus gelden de volgende waarden voor de dichtheid en de straal van de slibwolk en de snelheid die veroorzaakt is door de helling:

tijd (s)	C (kg/m^3)	ρ_m (kg/m^3)	H (m)	V_h (m/s)
0	10	1006.23	7.50	0.67
10	9.70	1006.04	4.18	0.50
20	9.42	1005.86	3.43	0.44
30	9.14	1005.69	2.98	0.41
60	8.35	1005.20	2.24	0.34
90	7.64	1004.76	1.84	0.29
120	6.98	1004.35	1.59	0.26
180	5.83	1003.63	1.26	0.21
300	4.07	1002.53	0.92	0.15
600	1.65	1001.03	0.57	0.08

7.3.3 CONCLUSIE

Uit de voorgaande berekening blijkt dat tot 20 seconden na het storten de snelheid ten gevolge van de helling groter is dan de gemiddelde snelheid tijdens vloed op een halve meter boven de bodem. Daarna is de vloedsnelheid groter en zal de verplaatsing van de slibmassa met de vloedstroom meegaan.
Bij stortingen tijdens eb heeft de stroom dezelfde richting als de stroom veroorzaakt door het bodemverhang. Dan versterken ze elkaar wat resulteert in slibtransport zeewaarts.

Hiermee kan de sedimentatie worden verklaard die zeewaarts van de stortlokatie optreedt.

8. DIEPTELIGGING

De aan de meetpaal gemonteerde dieptemeter meet de afstand tot de bodem. De gemiddelde afstand is 0.35 m (bijlage D5). Uit de gegevens van de bodemligging weten we dat er zeewaarts van de stortlokatie sedimentatie optreedt. In de andere richting, dus in het gebied waar de meetpaal staat, treedt voornamelijk erosie op (zie hoofdstuk 7).

Hieruit concluderen we dat verhoging van de slibconcentratie niet alleen een gevolg van het storten is, maar ook door materiaal van elders dat de meetpaal passeert.

Vergelijking van het algemeen verloop van de diepte bij de meetpaal met het algemeen verloop van de slibconcentratie levert het volgende overzicht op:

week	slibconcentratie	diepte (m)
43	verhoogd	groot: > 0.40
44	afnemend	afnemend tot < 0.35
45	hoog	groot: > 0.40
46	afnemend	afnemend
47	gering	gering
48	gering	gering

Hierin is een verband te zien tussen de diepte en het slibgehalte; verondieping treedt gelijktijdig met een verhoogde slibconcentratie op. De verhoogde slibconcentratie kan mede veroorzaakt worden door losgewoeld bodemmateriaal.

In week 45 zien we een top in de dieptegrafiek en dus een grote bodemverdieping. In deze week zijn ook de hoogste golven geregistreerd. Golven kunnen bodemerosie veroorzaken. Deze bodemerosie is zichtbaar in de dieptetoename. Dit geldt ook voor week 43, waar in het weekend de golven hoog waren. Hier loopt de afstand tot de bodem op tot 0.40 m.

9. ONDERZOEK NAAR HET SLIBGEHALTE

9.1 SLIBSIGNALEN

Het gevalideerde slibsignaal vertoont regelmatige fluctuaties die verstoort worden door uitschieters (bijlage D1). Het regelmatige patroon wordt veroorzaakt door het getij. De fluctuaties die per dag en binnen een constante stroomrichting optreden worden veroorzaakt door de af- en toename van de stroomsnelheid (bijlage D3.1). Als bij laagwaterkentering de stroomrichting van zeewaarts naar landwaarts keert, is er over het algemeen een daling van het slibsignaal waarneembaar. Het omgekeerde geldt ook: een oplopende slibconcentratie als het getij wisselt van vloed naar eb.

De gefilterde slibsignalen geven een algemeen verloop van de slibconcentratie (bijlagen E1.1, E1.2 en E2). In het Low Pass-signaal is de invloed van het dagelijks getij eruit gefilterd. Het 370-min.gefilterde signaal bezit deze invloed nog wel. Week 42 vervalt in dit onderzoek omdat de ijklijn voor deze week niet betrouwbaar is. Deze ijklijn is namelijk door extrapolatie verkregen

De pieken in het gevalideerde signaal treden zowel tijdens eb als vloed op. Een vloedpiek zou door een storting veroorzaakt kunnen zijn. Als er tijdens vloed gestort is kan er direkt slib uit de slibwolk getransporteert worden. Dit zou dan enige tijd na de stort direkt merkbaar zijn in de slibconcentratie. Ook kan de vloedstroom slib losmaken van de bodem van de stortlokatie. Maar dit houdt in dat de vloedstroom ook materiaal van elders bevat.

De verhoging die tijdens eb optreedt kan geen direkt gevolg zijn van de stortingen; de richting van de stroombaan is immers niet van de stortlokatie afkomstig. Verhoging tijdens eb kan door bodemerosie veroorzaakt zijn.

Om de eb- en vloedpieken te kunnen vergelijken hebben we de gemiddelde getijpieken getekend (bijlage H3). Hiervoor hebben we het Low Pass-signaal van het 370-min.gefilterde signaal afgetrokken. Het verschil levert de gemiddelde getijpieken.

De gemiddelde ebpieken in week 43 en 45 zijn hoger dan de gemiddelde vloedpiek. In deze weken waarin de golven hoog waren, is de verhoging tijdens eb dus het hoger dan bij vloed. Zoals vermeld staat in hoofdstuk 6 zijn de golven de oorzaak van deze verhogingen.

9.2 SLIBGEHALTE IN GESTORTE SPECIE

De gestorte specie is afkomstig uit de haven van Delfzijl. Door analyse van een monster uit de haven is onderzoek gedaan naar de fysisch-chemische eigenschappen van het slib. Hieruit blijkt dat circa 90 % van het sediment bestaat uit deeltjes < 63 μm en er ongeveer 1.9 gewichtsprocent aan organisch materiaal in zit [18]. Ook de monsters die genomen zijn bij de meetpaal, zijn gecontroleerd op het slibgehalte. Ook hier werd een hoog slibgehalte gevonden van gemiddeld bijna 90% (bijlage I). Hieruit blijkt dat de gemeten lichtdoorlatendheid voornamelijk toegeschreven kan worden aan het slibgehalte.

9.3 REFERENTIEWAARDEN SLIBGEHALTE

Van nature, zonder dat er gebaggerd wordt, zal het water ook een bepaalde hoeveelheid slib bevatten. In de notitie GWAO-91.12023 [19] is een voorspelling gedaan voor de toename van de troebelheid door storten. Voor het Groote Gat geldden voor augustus 1988 waarden van maximaal 340 mg/l en minimaal 40 mg/l.

Uit voorgaande onderzoekingen blijkt dat het slibgehalte in de wintermaanden hoger is dan zomers [1, 7]. Dit kan door volgende factoren verklaard worden:

- door de lagere temperatuur is de viscositeit van het water groter waardoor er minder bezinking van slibdeeltjes op kan treden.
- door de grotere rivierafvoeren, harde wind, hogere golven en dergelijke zal er meer slib opgewerveld worden.

- door een verminderde biologische aktiviteit, vooral van algen, treedt er minder flocculatie op en blijft er meer slib in suspensie.

Dit onderzoek is gedaan in oktober t/m december. Doordat de slibconcentratie seizoensafhankelijk is, is het niet relevant de gegevens van dit onderzoek te vergelijken met de metingen van augustus 1988.

9.4 SLIBDEKEN

9.4.1 THEORIE

In een estuarium kan zich een slibdeken vormen. Onder een slibdeken verstaan we een laag van een slib/water-mengsel met een zeer hoge slibconcentratie, die zich direkt boven de bodem bevindt. De slibdeken gedraagt zich enigszins onafhankelijk van het water. Voor het lokaliseren van een slibdeken moeten we de sensoren onderling vergelijken. Doordat de slibdeken zich over de bodem verplaatst zal alleen dichtbij de bodem een zeer hoge slibconcentratie gemeten worden. Als de onderste slibsensor een zeer grote verhoging meet zonder dat deze verhoging in de naar boven gelegen slibsensoren gemeten wordt, dan kan dit op de aanwezigheid van een slibdeken duiden.

Slibdekens vormen zich met name als er hoge golven zijn. Hoge golven kunnen bodemerosie veroorzaken, waardoor ook zwaarder bodemmateriaal met een grotere valsnelheid losgewoeld wordt. Ook kan er, door de verhoogde slibconcentratie bij de bodem, gemakkelijk flocculatie optreden [25]. Ook dit heeft een grotere valsnelheid van de deeltjes tot gevolg, waardoor het slib dicht boven de bodem blijft hangen.

9.4.2 ONDERZOEK

Voor de meeste gevallen geldt dat als er door de onderste slibsensor een verhoging geregistreerd wordt, dit meestal ook in de naar boven gelegen sensoren gemeten is. Er treden in totaal 82 extreme verhogingen in het slibconcentratie tijdens vloed op (zie hoofdstuk 10).
In slechts vier van deze pieken is deze verhoging alleen door de onderste sensor gemeten. De verhoging wijkt in deze gevallen in hoeveelheid niet af van de verhoging die gemeten wordt als er verhoging over alle sensoren optreedt.

Er is in de onderzochte periode geen slibdeken ontdekt. Het slibtransport vindt over de gehele diepte plaats, met een afnemende concentratie van onder naar boven, wat een natuurlijk verloop is.

10. ONDERZOEK NAAR EXTREME PIEKEN

10.1 SELEKTIE VAN DE EXTREMEN

In het gefilterde signaal zien we het algemene verloop van de slibconcentratie van het water. In het gevalideerde signaal treden veel pieken op. Onderzocht is of deze pieken gerelateerd kunnen worden aan de stortingen. Daarvoor hebben we alle pieken uit het gevalideerde signaal gehaald door het 370-min.gefilterde slibsignaal van de gevalideerde waarden af te trekken. Aldus blijven de waarden over die groter zijn dan het algemene verloop op die dag.

Deze pieken zijn uitgezet in histogrammen met een klassebreedte van 50 mg/l op bijlage H2. De pieken zijn per sensor uitgezet en per week onderverdeeld in werkdagen en weekend. In deze verdeling is de spreiding in de grootte van de pieken te zien. De spreiding is tijdens werkdagen groter dan in het weekend. Een grotere spreiding betekent dat er hogere slibconcentraties worden bereikt. Daar er in het weekend niet gestort wordt kan deze grotere spreiding het gevolg zijn van de stortingen. Dit geldt overigens niet voor week 43 en 45. In deze weken is de spreiding in het weekend groter. Maar in deze weekenden zijn de golven hoog wat de troebelheid verhoogt.

In het weekend wordt er geen invloed van de stortingen meer verwacht. Daarom is de gemiddelde slibconcentratie van alle weekenden als uitgangspunt voor de bepaling van extremen gekozen. Als ondergrens van een extreme piek geldt dit gemiddelde plus drie keer de standaardafwijking van de weekendverdeling. Aldus gelden de volgende grenzen voor de slibsensoren:

- 03: 677 mg/l
- 04: 522 mg/l
- 05: 369 mg/l
- 07: 207 mg/l

Voor de selektie van de waarden die groter zijn dan deze grenzen hebben we het vensterprogramma van PAPAVER gebruikt.

Alle slibgehalten die tijdens werkdagen optreden en groter zijn dan deze grenzen worden als extreme piek doorgelaten.

Het blijkt dat de grens van 207 mg/l voor de bovenste sensor nogal laag is. Deze grens wordt door de bovenste sensor namelijk vaak overschreden, terwijl er door de andere sensoren geen toename gemeten wordt. Dit kan verklaart worden door dat in de ongestoorde situatie van het weekend er meer bezinking op kan treden, waardoor de waarde van de bovenste sensor in het weekend aanmerkelijk lager is dan tijdens werkdagen.

Dit onderzoek is in twee delen opgesplitst:
- onderzoek naar alle extreme pieken
- onderzoek naar relatie tussen extreme piek en stort

10.1.1 ALLE EXTREME PIEKEN

In totaal zijn er 105 pieken die groter zijn dan de vermelde ondergrenzen voor de sensoren. Daarbij zijn de verhogingen die alleen door de bovenste sensor gemeten zijn niet meegerekend als er niet gelijktijdig of opvolgend ook verhoging door een andere sensor gemeten werd. Onder de tabel "verhoging" staat de tijd aangegeven vanaf en tot welk tijdstip de verhoging duurt.

verdeling in EB- EN VLOEDPIEKEN

* bij vloed = alleen verhoging bij onderste sensor
* bij eb = geen verhoging in onderste sensor

week 43

	EB		VLOED	
dag	verhoging	duur	verhoging	duur
295	0230-0400	100	0630-0720	60
	1530-1650	90	1840-1920	50
296	0050	10	1950-2030*	50
	0350-0450	70		
	1300-1310	20	0720-0740	30
	1620-1730	70	1040-1050	20
			1940-2010	40
297	0130-0150	30	2230-2320	60
	0430-0530	70	0750-0810	30
			1050-1100	20
	1720-1750	40	2020-2040	30
			2320-0000	50
298	0210-0240	40	0830-0900	40
	0520-0600	50	1030-1040	20
			1120-1220	70
			2040-2100	30
	1450-1500	20	2300-0100*	130
	1800-1830	40		
299	0300-0340	50	0910-0930	30
	0450-0630*	50	1020-1040	30
	1530-1900*	100	1120-1320	120
			2110-2150	50
			2240-2320	50
300	0410-0510*	70	2350-0140	120
	0600-0700	70	0940-1020	50
	1620-1930	180	1120-1140	30
			1210-1400	120
301	0440-0630	120	2150-2240	60
	0700-0750	60	2310-0200	180
	1720-1940	140		
			1030-1110	50
			1200-1210	20
			1410-1500*	60
			2240-0030	120

week 44

	EB		VLOED	
dag	verhoging	duur	verhoging	duur
302			2240-0030	120
			0110-0130	30
	0530-0800	160	0220-0250	40
	1810-1910	70	1120-1210	60
303	0630-0750	90	2330-0110	110
	1930-2040	80	0350-0400	20
			1210-1300	60
304	0730-0830	70	0020-0100	50
			0320	10
			1310-1350	50
305			0140-0200	30
			1420-1450	40
			1750-1800	20
	2300-0030*	100	2120-2130	20
306	1240-1310*	40	0240-0320	50
			0440-0530	60
			1810-1830	30
307	0050-0200*	80	0640-0650	20
	1210-1250	50	1620-1650	40
	1400-1440*	50		
308			1750-1800	20
			2050-2140	60

week 46

	EB		VLOED	
dag	verhoging	duur	verhoging	duur
316	0830-0840	20	1330-1340	20
	1720-1810	60		
	1920-1950	40	2240-2310	40

week 46

	EB		VLOED	
dag	verhoging	duur	verhoging	duur
317			0300	10
			0330-0420	60
			0450-0500	20
	0820-0950*	90	1050-1130	50
			1310-1320	20
			1440-1450	20
	1840-1900	30		
	2030-2120*	60	0040-0120	50
318	0710	10		
	0820-0940*	90	1400-1410	20
	1900-1940	50		
	2020-2110	60		
319			0210-0220	20
	0720-0800	50	1250-1310	30
	0800-0930*	100	1620-1700	50
	2010-2050	50	1700-1950*	180
	2050-2240*	120		
	2350-0210	150		
320			0310-0330	30
	0940-0950	20		
	2140-2200	30		
	2300-2330	40		
321	1210-1230	30		
			2310	10

week 47

	EB		VLOED	
dag	verhoging	duur	verhoging	duur
323	2340-0010	40	1730-1740	20
	1200-1210*	20	0830-0900	40
	1320-1340*	30	1850-1920	40
324	0000-0210	140	2040-2100	30
	1410-1430	30	0640-0720	50
	2350-0210	150	0740-0840	60
	1250-1330	50	1900-1930	40
			0710-0740	40

week 47

	EB		VLOED	
dag	verhoging	duur	verhoging	duur
325	0110-0140	40		
325	0210-0300	50		
	1530-1610	50		
326	0410-0450*	50		
	1630-1720*	60		
327	0520-0530*			

week 48

	EB		VLOED	
dag	verhoging	duur	verhoging	duur
330	0630-0800*	100	1020-1040	30
	1910-2000*	60	2010-2030	30
			2230-2300	40
331	2040-2100*	30	1650	10
			1700-1710	20

week 49

	EB		VLOED	
dag	verhoging	duur	verhoging	duur
339			0700-0710	20
			1940	10
340	0350-0420*	40		

week 43

		EB	VLOED
werkdagen	aantal:	16	18
	gem. duur:	60 min.	50 min.
weekend	aantal:	6	12
	gem. duur:	86 min.	65

week 44

		EB	VLOED
werkdagen	aantal:	6	16
	gem. duur:	95 min.	46 min.
weekend	aantal:	4	5
	gem. duur:	55 min.	40

week 46

		EB	VLOED
werkdagen	aantal:	15	14
	gem. duur:	65 min.	42 min.
weekend	aantal:	4	2
	gem. duur:	30 min.	20

week 47

		EB	VLOED
werkdagen	aantal:	12	8
	gem. duur:	59 min.	40 min.

weekend: geen gemiddelden, slechts 1 piek op dag 327

week 48

		EB	VLOED
werkdagen	aantal:	3	5
	gem. duur:	63 min.	26 min.

weekend: geen pieken in het weekend

week 49

		EB	VLOED
werkdagen	aantal:	1	2
	gem. duur:	40 min.	15 min.

weekend: geen gegevens van het weekend

TOTALE VERHOGING BIJ VLOED ALS ER GEEN STORT IS GEWEEST

dag	begintijd	verhoging(mg/l)
299	0910	3425
	1020	1173
	1120	9614
	2110	7274
	2240	1254
	2350	1617
300	0940	4929
	1120	913
	1210	3519
	2150	7609
	2310	7009
306	0240	1924
	0440	4803
	1810	1498
307	0640	1108
	1620	1649
308	1750	1447
	2050	1483
320	0310	1254
321	2310	311

Gemiddelde totale toename per piek: 3017 mg/l

10.1.2 EXTREMEN IN RELATIE TOT STORT

Alleen als er tijdens vloed gestort wordt valt er een verhoging in troebelheid te verwachten. De meetpaal staat immers ten Zuid-oosten van de stortlokatie en de sensoren kunnen alleen verhoging waarnemen als de stroming in dezelfde richting is, dus tijdens vloed. Daarom worden alleen de extreme pieken die tijdens vloed optreden onderzocht op relatie tot de stortingen.

Er zijn twee manieren mogelijk waardoor de slibconcentratie bij de meetpaal als gevolg van de stortingen groter zal worden:
1: De slibwolk die bij het storten ontstaat wordt gelijk met de vloedstroom meegenomen.
2: Het gestorte sediment komt eerst op de bodem terecht. Pas als de vloedstroom sterk genoeg is zal door de optredende erosie het sediment van de bodem meegenomen worden.

Als er slib uit de slibwolk gelijk in de vloedstroom opgenomen en getransporteerd wordt, dan zal dit eerder merkbaar zijn bij de meetpaal dan dat het sediment door erosie meegenomen wordt. De gemiddelde vloedsnelheid is 0.40 m/s en maximaal circa 0.8 m/s. De snelheid ter hoogte van de bovenste sensor is groter dan dit gemiddelde. De afstand tussen de meetpaal en de stortlokatie is ongeveer 600 meter. Als er slib uit de slibwolk getransporteerd wordt kan dit dus al na 10 minuten merkbaar zijn. Maar volgt het de tweede genoemde weg dan duurt het langer eer het de meetpaal bereikt. Dit zal het geval zijn als er tijdens kentering of tijdens lage stroomsnelheden gestort wordt. Het sediment blijft in dit geval op de bodem liggen tot de snelheid opgelopen is tot de kritische snelheid waarbij erosie optreedt.

Welke weg het sediment volgt is moeilijk te achterhalen. Daarvoor is het nodig de stroomsnelheden tijdens de stortingen te weten en de kritische snelheid voor erosie en sedimentatie. Dit laatste is niet bekend. De stroomsnelheden tijdens storten zijn wel te achterhalen maar dit kost erg veel tijd. Tevens is de betrouwbaarheid van de storttijden niet groot, waardoor de stroomsnelheden ook niet exact bepaald kunnen worden.

Er zal ook, zonder dat er gestort wordt, tijdens vloed verhoging in de slibconcentratie optreden door erosie. Daardoor kunnen we de geselecteerde pieken niet zonder meer verbinden met de stortingen.

Verder ondergaat de stort nog de invloed van de bodemhelling, waardoor het sediment eerst in zeewaartse richting wordt meegenomen. Als dit later met de vloedstroom meegenomen wordt heeft het een langere weg af te leggen of is het misschien in een andere stroombaan terecht gekomen.

We hebben niet voldoende wetenschap van het proces wat gelijk na de storting optreedt, om de relatie tussen stort en de extreme pieken te kunnen bepalen. Daarom stellen we de volgende kriteria:

A: Uit de stort die tijdens vloed of laag water kentering is uitgevoerd, kan gelijk slib door de vloedstroom meegenomen worden. Dit kan na 10 minuten merkbaar zijn bij de meetpaal.

B: Voor het slib dat door erosie van de bodem losgemaakt wordt hebben gesteld dat dit binnen 60 minuten na de stort merkbaar moet zijn bij de meetpaal. Een piek die later optreedt, terwijl er wel tijdens vloed gestort is, wordt niet meer aan de stort gerelateerd.

De weken 42 en 45 zijn bij dit onderzoek niet meegenomen. De ijklijn voor week 42 is door extrapolatie verkregen en daardoor niet betrouwbaar. In week 45 hebben de hoge golven te veel invloed op de troebelheid om nog uitspraak te kunnen doen over de relatie tot stort. Week 46 blijkt zich ook niet te lenen voor dit onderzoek. Waarschijnlijk komt dit doordat de invloed van week 45 nog doorwerkt in deze week.

De hierna volgende pagina's vertonen een overzicht van extreme pieken die optreden binnen 60 minuten na het storten tijdens vloed of laag water kentering. Hierbij zijn ook pieken opgenomen die gelijktijdig of, ogenschijnlijk, eerder beginnen dan de storting. Dit kan verklaart worden doordat de sensoren 10 minuten-gemiddelde waarden afgeeft, waardoor een overlapping op kan treden met de transporttijd. Een andere oorzaak kan een onjuist vermelde storttijd zijn.

Pagina 72 toont een overzicht van alle extreme pieken die aan een stort gerelateerd kunnen worden. In de laatste tabel staat de totale toename van het slibgehalte. Dit is de som van de toenamen over de vier slibsensoren gedurende de piekduur. Er zijn in totaal 70 stortingen tijdens vloed of laagwaterkentering gedaan. Van de, in totaal 105, extreme pieken kunnen 29 veroorzaakt zijn door de stort.

week 43

dag 295: Stort om: 0625 h; 157 ton (vloed)
1750 h; 159 ton (LW-kentering)
1940 h; 185 ton (vloed)

toename (mg/l) = gevalideerde - ondergrenswaarde

tijd	sensor 03	sensor 04	sensor 05	sensor 07
0630	22	86	0	39
0640	149	281	243	232
0650	2564	2018	940	63
0700	2718	916	121	79
0710	619	90	0	86
0720	49	0	0	133
1850	362	262	0	0
1900	344	439	258	98
1910	491	601	489	204
1920	407	488	187	107
1950	184	0	0	0
2000	473	0	0	117
2010	550	0	0	98
2020	766	0	0	95
2030	292	0	0	57

dag 296: Stort om: 0630 h; 233 ton (LW-kentering)
0820 h; 221 ton (vloed)
1020 h; 247 ton (vloed)
1945 h; 184 ton (vloed)

tijd	sensor 03	sensor 04	sensor 05	sensor 07
0710	120	89	0	0
0720	189	268	133	84
0730	316	444	312	158
0740	213	269	91	0

dag 296

tijd	sensor 03	sensor 04	sensor 05	sensor 07
0900	45	0	0	79
1040	166	325	294	170
1050	105	200	0	132
1930	125	103	0	0
1940	430	499	319	90
1950	658	697	550	317
2000	36	155	146	154
2010	217	80	0	84

dag 297: Stort om: 1040 h; 160 ton (vloed)
1955 h; 238 ton (LW-kentering)

tijd	sensor 03	sensor 04	sensor 05	sensor 07
1050	0	0	62	198
1100	455	270	43	194
2020	120	240	180	151
2030	883	970	724	332
2040	101	68	10	79

dag 298: Stort om: 0815 h; 324 ton (vloed)
1015 h; 221 ton (vloed)
1200 h; 182 ton (vloed)

tijd	sensor 03	sensor 04	sensor 05	sensor 07
0830	119	199	81	16
0840	932	902	550	217
0850	1817	1551	624	415
1030	111	44	0	130
1040	536	450	10	158

dag 298

tijd	sensor 03	sensor 04	sensor 05	sensor 07
1200	322	327	63	173
1210	380	330	80	133
1220	86	78	0	115

dag 301: Stort om: 1025 h; 167 ton (vloed)
1255 h; 237 ton (vloed)

tijd	sensor 03	sensor 04	sensor 05	sensor 07
1030	226	318	66	0
1040	803	956	485	118
1050	857	1009	841	282
1100	185	343	295	193
1310	33	16	0	113
1410	221	0	0	88
1420	531	0	0	90
1430	370	0	0	88
1440	102	0	0	75

week 44

dag 302: Stort om: 1140 h; 255 ton (vloed)

tijd	sensor 03	sensor 04	sensor 05	sensor 07
1120	304	412	246	19
1130	552	728	568	216
1140	612	800	586	168
1150	364	466	259	168
1200	132	108	114	233
1210	139	133	45	190

dag 303: Stort om: 1145 h; 281 ton (vloed)

tijd	sensor 03	sensor 04	sensor 05	sensor 07
1210	260	412	274	0
1220	155	305	261	251
1230	145	347	352	286
1240	0	141	180	276

dag 304: Stort om; 1250 h; 229 ton (vloed)

tijd	sensor 03	sensor 04	sensor 05	sensor 07
1310	88	246	183	144
1320	875	917	337	160
1330	238	401	304	185
1340	565	636	244	177
1350	452	465	0	141

dag 305: Stort om: 1340 h; 290 ton (vloed)

tijd	sensor 03	sensor 04	sensor 05	sensor 07
1430	264	437	370	162
1440	893	879	365	170
1450	752	484	94	94
1500	83	75	0	81

dag 308: Stort om: 1805 h; 162 ton (vloed)

tijd	sensor 03	sensor 04	sensor 05	sensor 07
1750	411	266	0	182
1800	106	284	204	98

week 46

dag 317: Stort om: 1125 h (??); 138 ton (vloed)
1405 h; 132 ton (vloed)

tijd	sensor 03	sensor 04	sensor 05	sensor 07
1100	485	373	75	207
1110	539	358	93	236
1120	450	297	53	190
1130	15	38	19	197

dag 322: Stort om: 1625 h; 179 ton (vloed)
1815 h; 198 ton (vloed)

tijd	sensor 03	sensor 04	sensor 05	sensor 07
1700	955	796	450	127
1710	647	174	0	28
1930	465	0	0	21
1940	453	0	0	7

week 47

dag 323: Stort om: 1635 h; 89 ton (vloed)

tijd	sensor 03	sensor 04	sensor 05	sensor 07
1730	0	36	71	191
1740	0	42	75	217

dag 324: Stort om: 0645 h; 193 ton (vloed)
1645 h; 121 ton (LW-kentering)
1840 h; 164 ton (vloed)

tijd	sensor 03	sensor 04	sensor 05	sensor 07
0830	224	341	30	157
0840	141	243	0	126
0850	74	115	20	197
0900	103	36	2	186
1850	177	330	182	68
1900	726	462	89	96
1910	594	430	325	199
1920	491	122	0	33
2040	25	119	58	172
2050	296	167	131	208
2100	100	100	66	249

N.B.: Deze pieken treden op lang nadat gestort is. We mogen daarom niet vaststellen dat deze pieken van de stortingen afkomstig zijn.

dag 325: Stort om: 0640 h: 124 ton (vloed)
1755 h; 268 ton (vloed)

tijd	sensor 03	sensor 04	sensor 05	sensor 07
0640	25	127	0	15
0650	45	189	154	130
0700	270	346	361	353
0710	366	454	439	339
0720	333	485	439	77

dag 325

tijd	sensor 03	sensor 04	sensor 05	sensor 07
0740	74	64	142	249
0750	28	64	218	271
0800	226	295	349	371
0810	336	280	200	313
0820	216	118	146	276
0830	0	42	91	44
0840	2	104	137	251

dag 326: Stort om: 0630 h; 169 ton (vloed)

tijd	sensor 03	sensor 04	sensor 05	sensor 07
0710	350	29	0	0
0720	279	54	213	45
0730	555	181	383	154
0740	853	273	244	85

week 48

dag 330: Stort om: 0925 h; 146 ton (vloed)

tijd	sensor 03	sensor 04	sensor 05	sensor 07
1020	168	0	0	0
1030	458	128	333	45
1040	92	0	164	79

week 49

dag 399: Stort om: 0630 h; 116 ton (vloed)

tijd	sensor 03	sensor 04	sensor 05	sensor 07
0700	665	128	25	16
0710	1040	25	0	9

Samenvattend week 43:
Als er tijdens vloed gestort is, is de invloed direkt na tot 40 minuten erna merkbaar in verhoging van de troebelheid, met een duur van 10 tot 55 minuten. Als er tijdens laagwaterkentering gestort is, duurt het 25, 40 en 60 minuten eer dit de meetpaal heeft bereikt. De verhoging om 14.10 uur op dag 301 telt niet mee omdat deze piek pas na 95 minuten optreedt.

Samenvattend week 44:
Als er tijdens vloed gestort is, is dit direkt tot na 50 minuten merkbaar, ongeveer 30 tot 50 minuten lang.
De tijd van storten op dag 308 is waarschijnlijk niet correct.

Samenvattend week 46:
Deze week is niet voor onderzoek op relatie tot stort geschikt.Er valt namelijk geen verband te ontdekken tussen stort en verhoging in troebelheid, uitgezonderd dag 322. Mogelijk hebben de golven van week 45 nog invloed. De stort op dag 317 is waarschijnlijk eerder geweest dan 11.25 uur. Er is een paar maal tijdens eb gestort.

Samenvattend week 47:
Als er tijdens vloed is gestort, is dit na 10 tot 60 minuten later en 20 tot 50 minuten lang, merkbaar in een verhoogd slibsignaal. De stort van dag 324 op 06.45 uur is na 105 minuten pas merkbaar, maar hierbij is het de vraag of deze verhoging wel door die stort komt. Wat er in deze week tijdens eb is gestort, geeft geen extreme verhoging.

Samenvattend week 48:
In week 48 zit maar een extreme piek. Deze is na 55 minuten, 20 minuten lang merkbaar.

Samenvattend week 49:
Ook in deze week slechts een extreme, welke na 30 minuten, 20 minuten lang zichtbaar is.

TOTALE VERHOGING over alle sensoren IN REL. TOT STORT

dag	stort (ton)	toename (mg/l)
295	157	11448
	159	4737
	185	2632
296	233	2502
	221	124
	247	1392
	184	4660
297	160	1222
	238	3858
298	324	7423
	221	1439
	182	2087
301	167	6977
	237	162
302	255	7562
303	281	3723
304	229	6758
305	290	5203
308	162	1551
317	138	3625
	132	2521
322	179	3177
	198	946
323	89	632
325	124	4947
	268	5107
326	169	3698
330	146	1467
339	116	1908

Gemiddelde totale toename per piek: 3568 mg/l

10.2 RESULTAAT VAN HET ONDERZOEK NAAR EXTREMEN

10.2.1 OVERZICHT

Hieronder volgt een overzicht:

	aantal	PIEKEN		gestort tijdens:		
week	stort.	totaal	door stort	EB	LWK	VLOED
43	25	52	15	7	3	15
44	19	31	5	8	2	9
46	19	35	4	8	1	10
47	17	20	3	5	2	10
48	13	8	1	5	0	8
49	12	3	1	2	2	8
	105	149	29	35	10	60

Van de 105 stortingen is er een derde deel tijdens eb gestort, en ongeveer een tiende deel tijdens laagwaterkentering. Het grootste deel (57%) is tijdens vloed gestort.

In de weken 43, 44, 46 t/m 49 is in totaal 105 keer gestort, waarvan 70 tijdens vloed of laagwaterkentering. In deze weken zijn er 29 extreme pieken opgetreden die aan de stortingen gerelateerd kunnen worden. Dit is ongeveer 40%.
Het andere deel van deze stortingen kunnen hebben geen extreme verhoging tot gevolg. Hiervoor zijn twee verklaringen;

1: De verhoging van de slibconcentratie blijft onder de grenzen die we bij dit onderzoek naar extremen gehanteerd hebben doordat:
   a: het slib zo gelijkmatig en over een langere tijdsperiode getransporteerd wordt dat dit niet als een piek geregistreerd wordt.
   b: er horizontale verspreiding in het water optreedt, waardoor de transportbaan van het slib breder wordt en de concentratie afneemt.

2: Er treden wel extreme verhogingen op, maar deze worden niet geregistreerd doordat ze de meetpaal niet passeren. Hiervoor zijn meerdere verklaringen:
   a: Uit onderzoek naar de bodemligging bleek dat er sedimentatie zeewaarts van de stortlokatie plaatsvindt. Het slib uit de stort wat daar blijft liggen heeft de meetpaal niet gepasseerd.
   b: De stroombaan kan verkeerd aangenomen zijn.
   c: De stroombaan kan door de wind veranderd zijn.
   d: De stort komt in een andere stroombaan terecht doordat er op een andere positie gestort is.

Voor het onderzoek van extreme pieken op relatie tot is week 46 niet geschikt. Er is in deze week een paar maal tijdens eb gestort. Een samenhang tussen stort en pieken is in deze week niet te vinden. Dit kan een gevolg zijn van de nawerking van de hoge golven in week 45.

Het is opmerkelijk dat de verhoging tijdens eb vaak door de twee of drie bovenste sensoren gemeten wordt, dus vanaf 0.65 tot 1.65 m vanaf de bodem, en nooit alleen maar door de onderste. Bij vloed geldt het omgekeerde; hier wordt soms wel een verhoging alleen door de onderste sensor gemeten, op 0.15 m vanaf de bodem, maar nooit alleen maar door de bovenste. Een mogelijke oorzaak hiervan zijn de stroomsnelheden: Uit de gemiddelde stroomsnelheden blijkt dat de ebsnelheid voor de bovenste twee sensoren groter is dan de vloedsnelheid en dat tijdens vloed de snelheid onderin groter is dan bij de bovenste sensoren (bijlage D4). Door de sterke vloedstroom onderin zal er bodemmateriaal losgemaakt kunnen worden, wat zich niet goed over de verticaal verdeelt. De verticale menging is tijdens eb veel beter.

Ook in het weekend, als er niet gestort wordt, treedt er verhoging in het slibgehalte op. Pagina 59 toont de verhogingen die op zaterdag en zondag optreden en dus niet direkt veroorzaakt kunnen zijn door de stortingen. Op pagina 72 staan alle extremen die door stortingen veroorzaakt kunnen zijn. Op bijlage K1 is dit in grafiek uitgezet. We zien hierin geen relatie tussen de hoeveelheden die gestort zijn en de verhoging. Wel kunnen we zien dat de verhoging door storten meestal tussen 1000 en 5000 mg/l bedraagt. De meeste verhogingen die in het weekend optreden zijn

tussen de 1000 en 2000 mg/l. De spreiding van verhogingen door storten is dus vier maal groter.

10.2.2 NATUURLIJK PIEKVERLOOP

Op vrijdagochtend is er steeds voor de laatste keer in die week gestort. In de weekenden, dit is zaterdag en zondag, valt er geen invloed meer van de stort te verwachten. Het slibsignaal van de weekenden van week 43, 44, 46 en 47 benaderen het natuurlijk verloop van de slibconcentratie, dat wil zeggen; zonder de invloed van de stortingen. In de meeste weekenden treden tijdens vloed meer pieken op dan bij eb. In het weekend van week 43 treden tijdens vloed twee keer zoveel pieken op als tijdens eb. Dit kan de door de invloed van de wind komen, die dan van Noord naar Oost gedraaid is. Alleen in de weken 46 en 47 treden tijdens eb een paar pieken meer op dan tijdens vloed. In het weekend van week 47 treedt er op zaterdag een ebpiek op. In weekend 48 treden er helemaal geen pieken op. De metingen zijn gestopt halverwege week 49, zodat we van dit weekend geen gegevens hebben.

We kunnen vaststellen dat verhoging tijdens eb langer duurt als bij vloed. In de weekenden houden ze een faktor 1.3 langer aan. De gemiddelde totale toename per piek bedraagt 3017 mg/l.

10.2.3 PIEKVERLOOP IN SITUATIES MET STORTINGEN

De meest rustige periode is die van week 48 en 49; hier zijn geen hoge golven gemeten. In deze weken treden er tijdens werkdagen meer vloed- als ebpieken op maar door kun geringe aantal en omdat dit slechts een periode van nog geen twee weken beslaat kunnen we hieruit geen conclusies trekken. De ebpieken duren in beide weken circa 2.5 keer zolang als de vloedpieken.

De voorgaande weken ondervinden veel invloed van wind en golven. In week 43 en 46 zijn er bijna evenveel pieken gemeten tijdens eb als vloed. Maar in week 44 tijdens vloed bijna drie keer zoveel, terwijl in week 47 er meer ebpieken dan vloedpieken zijn.

Opnieuw valt er weinig te zeggen over de frequentie. Maar wel over de duur: de ebpieken duren 1.2 tot 2 keer zo lang. De gemiddelde totale toename per piek is nu 3568 mg/l. Dit is 15% meer dan de toename bij het natuurlijk piekverloop.

11. OVERZICHT VAN GEGEVENS

Op de volgende pagina's staat een overzicht van de gemiddelde slibgehalten en gegevens die uit hierop van invloed zijn. Hieruit valt op te maken dat er geen verlaging van de slibconcentratie optreedt wanneer er minder gestort wordt. De spreiding in de verdeling van het slibgehalte vertoont wel een samenhang met de hoeveelheid van storten. Vergelijken we namelijk de standaardafwijking met de hoeveelheid gestort materiaal dan zien we dat wanneer er meer gestort wordt, de spreiding groter is. Dit is in een grafiek uitgezet op bijlage K2. Deze grafiek bevat overigens nog wel de invloed van doodtij en springtij. Een grotere spreiding rond een gemiddeld slibgehalte betekent dat er hogere waarden bereikt worden.

Voor week 42 en 44 geldt dit verband niet. Maar, zoals eerder vermeld, valt week 42 in het hele slibonderzoek al uit door de onbetrouwbaarheid van de ijklijn. De hoogste waarde voor de standaardafwijking is in week 45 in de onderste sensor gevonden. In deze week treedt er veel bodemerosie op, waardoor deze hoge waarde dicht bij de bodem verklaard kan worden.

μ = gemiddeld slibgehalte per sensor in mg/l
ρ = standaard afwijking
g.g = geen gegevens
* = 4068 mg/l
WRKDG= werkdagen
WKND = weekend

	week 42		week 43		week 44		week 45	
	μ	ρ	μ	ρ	μ	ρ	μ	ρ
WRKDG:								
03	342	273	495	331	413	297	505	313
04	245	208	410	259	355	255	429	209
05	151	144	271	189	222	198	304	151
07	195	78	291	102	267	114	332	98
WKND:								
03	274	143	619	359	357	191	598	*
04	208	116	483	289	328	162	487	304
05	139	99	289	208	220	119	329	160
07	204	61	297	113	279	76	336	98
GETIJ	doodtij		spr.tij		doodtij		spr.tij	
GOLF	g.g.		>0.25 m		>0.25 m		>0.50 m	
STORT (ton)	5194		5074		4026		3576	

	week 46		week 47		week 48		week 49	
	μ	ρ	μ	ρ	μ	ρ	μ	ρ
WRKDG:								
03	394	238	351	213	218	124	188	126
04	345	200	298	150	223	56	211	48
05	230	159	228	140	175	88	158	73
07	267	95	250	75	208	43	207	36
WKND:								
03	280	127	261	95	198	92		
04	246	120	244	43	213	42		
05	161	108	204	74	156	69		
07	222	68	219	39	202	35		
GETIJ	doodtij		spr.tij		doodtij		spr.tij	
GOLF	>0.20 m		>0.25 m		<0.20 m		<0.25 m	
STORT (ton)	3238		2751		1674		1585	

12. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Het slibgehalte in het Eems-Dollard estuarium vertoont voor de periode van 15 oktober t/m 6 december een zeer onstabiel beeld. Het wordt onder anderen beïnvloedt door golven en wind, de bodemligging en het getij. De saliniteit van het water en de afvoer van de Eems hebben geen aantoonbare invloed op de slibconcentratie.

Uit peilingen blijkt dat er sedimentatie zeewaarts van de stortlokatie optreedt en landwaarts erosie. De bodem heeft een naar zee aflopend verhang. Hierdoor verplaats het gestorte sediment zich tot ongeveer 20 seconden na het storten zeewaarts. Door de wind worden golven opgewaaid. Als deze golven groter worden dan 0.30 m veroorzaken ze verhogingen in de slibconcentratie. Dit komt doordat de golven veel bodemmateriaal losmaken.

Door het dagelijks getij ontstaan fluctuaties in het slibverloop. Bij laagwaterkentering daalt de slibconcentratie en bij hoogwaterkentering loopt de concentratie op. Uit het onderzoek naar extreem hoge waarden van de slibconcentratie blijkt dat de verhogingen tijdens eb langer, zelfs tot twee keer zo lang, aanhouden als bij vloed.

Omdat de invloed van het storten bij de meetpaal tijdens vloed merkbaar zal zijn, verwachtten we op werkdagen bij vloed meer pieken dan bij eb en in het weekend. Maar dit is niet uit dit onderzoek naar voren gekomen. Uit de histogrammen voor de verdeling van extreme verhogingen van de slibconcentratie blijkt dat de spreiding tijdens werkdagen groter is dan in het weekend. De gemiddelde totale toename voor een extreme piek in een situatie zonder stortingen is 15% lager dan de gemiddelde toename per piek die optreedt als er gestort is. Hier valt uit op te maken dat er in een situatie met stortingen hogere waarden voor het slibgehalte bereikt worden.

De hoeveelheid die gestort wordt is van invloed op de standaard afwijking van de weekgemiddelde slibgehalten. Als er meer gestort wordt neemt de standaard afwijking toe. Dit houdt in dat er

hogere waarden ten opzichte van de gemiddelde slibconcentratie worden bereikt.

Het slibgehalte in de Eems-Dollard is erg afhankelijk van wind, getij en bodemerosie. De invloed van de golven is beduidend groter dan de invloed van de stortingen. Door alle andere invloeden op het slibgehalte werd het onderzoek naar het effect van de stortingen gecompliceerd. Voor een verdergaand onderzoek hiernaar is het, naar onze mening, noodzakelijk op meerdere plaatsen of met behulp van tracers het slibgehalte te meten. Voor het verkrijgen van referentiewaarden zou er ook gemeten moeten worden wanneer de stortlokatie nog niet of niet meer in gebruik is. Doordat er zeewaarts van de stortlokatie sedimentatie plaatsvindt en er ook tijdens eb verhoging optreedt, is het nodig om aan weerszijden van de stortlokatie te meten. Om ook inzicht te verkrijgen in de horizontale verspreiding van het slib zouden er metingen dwars op de geul gehouden kunnen worden. Hierbij loopt men ook geen risico meer dat er niet in de juiste stroombaan gemeten wordt.

GERAADPLEEGDE LITERATUUR

[1] Akkerman, R.J. e.a., *Gezamenlijk Duits-Nederlands onderzoek naar het sediment- en zoutgehalte in de Benedeneems en de Dolard*, Groningen, 1987.

[2] Boere, P.W., *Valsnelheids- en vertikaal slibtransportmetingen in de Westerscheldemond en berekening van de horizontale slibtransporten in de Oosterschelde*, nota GWAO.87.113, Middelburg, 1987.

[3] Boom, L.D., *Sedimentatiemetingen Dollard 1977, 1978, 1979 en 1980; 1 à 2 wekelijkse hoogtemetingen in kleine proefvakken (4m²)*, notitie 81-3, z. pl., 1981.

[4] Briek, J. en A.F.Bazuin, *Onderzoek naar verspreiding van baggerstortslib tijdens storten*, notitie 90-02, Delfzijl, 1990.

[5] Brilhuis, R.A. en L. Bijlsma, *De verdunning en verspreiding van baggerspecie gestort met de sleephopperzuiger KINHEM in de Mond van de Dollard*, nota 83-15, Delfzijl, 1983.

[6] Brilhuis, R.A., *De verdunning en verspreiding van baggerspecie gestort met de sleephopperzuiger KINHEM op de stortlokaties "Mond van de Dollard" en "Bocht van Wattum"*, nota 84-03, Delfzijl, 1984.

[7] Brilhuis, R.A., *Onderzoek sedimenthuishouding Eems-Dollard estuarium*, nota 84-19, Delfzijl, 1984.

[8] *Coastal Engineering; Introduction*, vol.I, rapport van de "Coastal Engineering Group", Delft, 1976.

[9] Hayter, E.J., *Prediction of cohesieve sediment movement in estuarial waters*, Florida, 1983.

[10] Heuvel, Tj. van, *Verspreiding van baggerspecie tijdens en na het storten vanuit een baggerschip*, nota GWAO-88.034, z.pl., 1988.

[11] Karelse, M., Moser, G. en Leussen, W.van, *Onderzoek naar de transportmechanismen van slib in zout/zoet omstandigheden*, nota nr.3, z. pl., 1982.

[12] Kleef, H.L., *De mogelijkheid van effectonderzoek met betrekking tot de bodemfauna op een slibstortlokatie in de Mond van de Dollard*, nota GWAO-92.602x, Haren, 1992.

[13] Krone, R.B. e.a., *Estuarine Cohesive Sediment Dynamics; Lecture notes on coastal and estuarine studies*, vol.14, New York, 1986.

[14] Leussen, W.van, *Getijgootonderzoek; Onderzoek naar de transportmechanismen van slib in zout/zoet omstandigheden*, nota nr.1, z. pl., 1981.

[15] Leussen, W. van, *Getijgootonderzoek; Onderzoek naar de transportmechanismen van slib in zout/zoet omstandigheden*, nota nr.2, z. pl., 1981.

[16] *Maandoverzicht van het weer in Nederland; oktober, november en december*, uitgave van het K.N.M.I., De Bilt, 1991.

[17] Mulder, H.P.J., Hoeven, W.van der en Ariaans, R., *Meetpaal tussen wal en schip*, notitie GWAO-91.12019, Haren, 1991.

[18] Mulder, H.P.J., *Eigenschappen van slib van twee locaties in het Eems-Dollard estuarium op basis van laboratoriumproeven*, notitie GWAO-91.12006, Haren, 1991.

[19] Mulder, H.P.J., *Tentatieve voorspelling van de slibconcentratie t.p.v. de meetpaal bij de stortlocatie Groote Gat*, notitie GWAO-91.12023, Haren, 1991.

[20] Nortier, I.W., *Hydraulica voor waterbouwkundigen* , 6e dr. 2e opl., Culemborg, 1984.

[21] Nouben, N., *De invloeden van baggerwerkzaamheden op het aquatisch milieu*, Groningen, 1989.

[22] Postma, J.T., *Onderzoek naar de sedimentatie en erosie in de Bocht van Watum in de periode 1982-1983 ten behoeve van de zandwinning in de vakken I tot en met IV*, nota 83-42, Delfzijl, 1983.

[23] Reenders, R. en D.H.van der Meulen, *De ontwikkeling van de Dollard over de periode 1952-1969/'70*, nota nr.72.1, Delfzijl, 1972.

[24] *Sedimentologische gevolgen van het storten van baggerspecie uit de haven in Delfzijl in het Eems-Dollard-estuarium*, nota van Rijkswaterstaat, Meet- en Adviesdienst, z. pl., 1980.

[25] Verlaan, P. en R.Spanhoff, *In situ procesonderzoek aan slibtransporten met duurmetingen bij de zeebodem*, Utrecht, 1992.

ERRATA

pag.44: De formule die de snelheid van de slibwolk als gevolg van de helling geeft is weggevallen. Hiervoor geldt:

$$V_h = \sqrt{\left(\frac{\rho_m - \rho_w}{\rho_w} . g . H . \frac{I}{C_d} \right)}$$

pag.45: De waarde voor ß moet vervangen worden door -0.003.

pag.47: "verondieping", in de derde alinea, moet zijn 'verdieping'.

pag.48: De laatste zin van de eerste alinea vervalt.
Zowel bij hoog- als bij laagwaterkentering daalt de slibconcentratie.

pag.74: De eerste zin van de tweede alinea moet zijn:
' Voor het onderzoek van extreme pieken in relatie tot het slibgehalte...'.

In de derde alinea, 10e zin moet "bovenste sensoren" vervangen worden door 'eb'.

pag.80: De tweede zin in de derde alinea moet zijn: ' Bij laag- en hoogwaterkentering daalt de slibconcentratie.'