

Getijafhankelijk storten van baggerspecie

Resultaten van numeriek modelonderzoek

augustus 2002

Rapport RIKZ/2002.027

Getijafhankelijk storten van baggerspecie

Resultaten van numeriek modelonderzoek

Auteur : J.M. de Kok

augustus 2002

Rapport RIKZ/2002.027

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave 5

Samenvatting en conclusies 6

1 Inleiding 9

2 Vraagstelling 11

3 Opzet van het onderzoek 13

3.1 Relaties met aanverwante projecten 14

3.2 Aannamen en uitgangspunten 14

3.3 Percentages 15

3.4 Modelschematisaties en rivierafvoeren 15

4 Onzekerheidsmarges. 17

5 Retourpercentages vanaf Loswal Noord 19

6 Retourstroming vanaf Loswal Noord-West 21

6.1 Doorgerkende scenario's 21

6.2 Schatting jaargemiddelde retourtransport vanaf Loswal Noord-West 22

6.3 Variatie in het retourtransport ten gevolge van externe factoren. 23

7 Optimale stortstrategieën 25

7.1 Kostenanalyse voor storten op LWNW 25

7.2 Kostenschatting bij getijafhankelijk storten 28

7.3 Kostenanalyse bij hoge retentie van slib in de zeebodem 29

7.4 Keuze stortlokatie afhankelijk van getij, wind en Rijnafvoer 31

7.5 Schatting kostenreductie bij gedifferentieerd storten 34

7.6 Keuze stortlokatie afhankelijk van zandgehalte van de specie. 35

7.7 Verdiepte loswal 35

8 Conclusies en aanbevelingen 37

Literatuurverwijzingen 39

FIGUREN 1 t/m 7 41

Samenvatting en conclusies

De meeste baggerspecie, die in het Maasmond- en Botlekgebied bij het vaargeulonderhoud wordt opgebaggerd, wordt voor de zuid-hollandse kust in zee gestort. Dit gebeurde vroeger op Loswal Noord ter hoogte van Ter Heijde en tegenwoordig op het 9 km noordelijker gelegen Loswal Noord-West . Een groot gedeelte van de specie blijft niet op de zeebodem liggen, maar wordt door getij-, wind-, dichtheids- en golfgedreven stromingen in suspensie gebracht en verspreid.

Een zeker percentage baggerspecie komt uiteindelijk weer in het Maasmondgebied terecht en sedimenteert daar. Het zogenaamde retourpercentage is afhankelijk van de plaats en het tijdstip waarop de specie gestort wordt.

Met een driedimensionaal numeriek waterbewegings- en slibverspreidingsmodel zijn retourpercentages voor de slibfractie van de baggerspecie bepaald voor diverse situaties wat betreft getijfase, wind, Rijnafvoer en stortlokatie.

Uit de berekeningen kan in het algemeen het volgende worden geconcludeerd:

- als er gestort wordt op Loswal Noord, is het retourpercentage 30 % punt hoger dan wanneer er gestort wordt op Loswal Noord-West.
- het retourpercentage is kleiner, als er gestort wordt bij beginnende vloedstroom (vloedkentering).
- bij wind uit zuid-westelijke richtingen is er minder retourtransport dan bij wind uit andere richtingen.
- bij lage rivierafvoeren is het retourtransport kleiner dan bij hoge afvoeren.

Over de mate waarin baggerslib na het storten in de zeebodem achterblijft (bodemretentie) bestaat nog veel onzekerheid. Deze parameter is wel van grote invloed op het uiteindelijke retourpercentage.

Na het doen van aannamen hierover kan het volgende worden geconcludeerd :

- Het jaargemiddelde retourtransport vanaf Loswal Noord wordt geschat op **44 % +/- 22 %** punt van de totaal gestorte hoeveelheid specie, gerekend in tonnen droge stof.
- Het jaargemiddelde retourtransport vanaf Loswal Noord-West wordt geschat op **13 % +/- 6,5 %** punt.
- Ten gevolge van de variatie in wind varieert het jaargemiddelde van het retourpercentage vanaf Loswal Noord-West tussen **7** en **19 %**.
- Ten gevolge van de variatie in de rivierafvoer varieert het jaargemiddelde retourtransport vanaf Loswal Noord-West tussen de **8** en de **18 %**.
- Ten gevolge van onzekerheden omtrent de modelaannamen is er een onzekerheidsmarge rond het modelmatig geschatte retourpercentage van (relatief) **50 %** (afgezien van variatie in wind en afvoer).

Het zogenaamd getijafhankelijk storten van baggerspecie zou kostenbesparend kunnen werken. Hieronder wordt hier verstaan: in een getijvenster rond ebkentering storten op Loswal Noord-West en rond vloedkentering storten op Loswal Noord.

- Of het getijafhankelijk storten van baggerspecie een netto kostenbesparing oplevert, hangt af van de mate van retentie van gestort baggerslib in de zeebodem.
Bij een bodemretentie van 16 % van het gestorte slib is er een **kostentoeename** van **3,1 Mfl** per jaar.
Bij een bodemretentie van 58 % van het gestorte slib is er een **kostenafname** van **1,4 Mfl** per jaar.

De stortlokatie kan eventueel kort voor het moment van storten gekozen worden afhankelijk van de recente Rijnafvoer, van de te verwachten windsnelheid en –richting en van het geschatte zandgehalte van de specie.

- Storten rond vloedkentering bij zuid-westen wind met snelheden hoger dan 8 m/s en bij lage rivierafvoeren is voordeliger op Loswal Noord. Storten rond ebkentering is in het algemeen voordeliger op Loswal Noord-West.
- Door afhankelijk van wind en rivierafvoer op Loswal Noord of op Loswal Noord-West te storten kan er een jaarlijkse **kostenreductie** bereikt worden van **1,25 Mfl**.
Per situatie moet dan een beslissingstabel geraadpleegd worden.
- Door zandrijke (> 60% zand) specievrachten op Loswal Noord te storten is er een **kostenreductie** mogelijk van **0,5 à 1 Mfl** per jaar. (Dit is afhankelijk van de hoeveelheid specie die als suppletiezand wordt gebruikt.)
- Door zandrijke vrachten op een **verdiepte loswal** te storten is er een **kostenreductie** mogelijk in de orde van **1,5 Mfl** per jaar. (Dit is afhankelijk van de hoeveelheid specie die als suppletiezand wordt gebruikt.)

1 Inleiding

Een groot gedeelte van de baggerspecie, die in het Maasmond- en Botlekgebied bij het vaargeulonderhoud wordt opgebaggerd, wordt voor de zuid-hollandse kust in zee gestort (fig.1). Het gaat hier om klasse I specie, die aan de uniforme gehaltetoets voldoet.

De slibfractie van deze specie bedraagt jaargemiddeld 50 à 60 % van het totaal aan droge stof. Een groot gedeelte van dit slib blijft niet op de zeebodem liggen, maar wordt door getij-, wind-, dichtheids- en golfgedreven stromingen in suspensie gebracht en verspreid.

Een gedeelte gaat naar het noord-oosten, waar het opgenomen wordt in de kustrivier, die richting Waddenzee en Duitse Bocht stroomt.

Een ander gedeelte wordt opgepakt door een restcirculatie, die materiaal van de loslokatie naar de Maasmond transporteert (fig. 2). In het Maasmondgebied met inbegrip van het Calandkanaal en het Beerkanaal sedimenteert het grootste gedeelte hiervan.

Dit zuidwaartse transport wordt het retourtransport genoemd en het percentage baggerspecie, dat uiteindelijk weer in het Maasmondgebied sedimenteert, wordt het retourpercentage genoemd.

Het retourpercentage is afhankelijk van de plaats en het tijdstip waarop gestort wordt. In het algemeen geldt : hoe noordelijker er gestort wordt, des te kleiner is het retourpercentage. Ook is het retourpercentage kleiner, als er gestort wordt bij beginnende vloedstroom. De vloedstroom is op de loslokatie noord-oostelijk gericht.

Bij wind uit zuid-westelijke richtingen is er minder retourtransport dan bij wind uit andere richtingen. Bij lage rivierafvoeren is het retourtransport minder dan bij hoge afvoeren.

Momenteel wordt er gestort op Loswal Noord-West (fig.1), waarvandaan het retourtransport over het algemeen zeer gering is. De vaarafstand naar de stortlokatie is relatief groot, en er kan in principe op vaarkosten worden bezuinigd door dichterbij de Maasmond te storten. Het retourtransport is dan echter groter, zodat er nadien weer meer gebaggerd moet worden, hetgeen weer extra kosten met zich meebrengt.

De totale kosten kunnen geminimaliseerd worden door gebruik te maken van kennis over getij- en windafhankelijke verspreidingspatronen van gestorte baggerspecie. Afhankelijk van de heersende wind, rivierafvoer en de fase van het getij kan er een stortlokatie worden gekozen, die optimaal is met betrekking tot baggerkosten ten gevolge van retourtransport en vaarkosten.

2 Vraagstelling

Het onderzoek "getijafhankelijk storten" werd verricht in opdracht van de Directie Noordzee, de Directie Zuid-Holland en het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam en was gericht op de beantwoording van de volgende vraag :

In hoeverre en onder welke omstandigheden is het mogelijk om baggerspecie te storten op een lokatie in zee, die dicht bij de Maasmond is gelegen dan Loswal Noord-West, zonder dat daarbij het percentage retourtransport naar de Maasmond belangrijk toeneemt?

Dit vanuit de gedachte, dat het beperken van de vaarafstand vanaf de Maasmond sterk kostenbesparend is, als de te baggeren hoeveelheid ten gevolge van retourtransport niet noemenswaard toeneemt.

Uit het oogpunt van vergunningverlening komt alleen de vroegere Loswal Noord (fig. 1) in aanmerking als alternatieve loslocatie. Als het storten op deze lokatie alleen plaats vindt in een tijdvenster rond de stroomkentering van eb naar vloed wordt het retourtransport vanaf deze lokatie beperkt. Het gestorte baggerslib wordt dan immers met de vloedstroom eerst naar het noorden gevoerd, vanwaar het retourtransport veel minder is.

De wind zal dan geen al te sterke noordelijke component mogen hebben.

In hoeverre er sprake kan zijn van een reële kostenbesparing, hangt af van de grootte van het tijdvenster waarin op Loswal Noord gestort kan worden, en van het percentage retourtransport dat optreedt na storten binnen dat tijdvenster.

Om deze vraag te beantwoorden zijn met numerieke waterbewegings- en slibtransportmodellen verspreidingspatronen en retourpercentages berekend van hoeveelheden baggerspecie, die op Loswal Noord en op Loswal Noord-West worden gestort.

Dit werd gedaan voor een aantal zeer verschillende situaties wat betreft rivierafvoer en windcondities met als doel om uiteindelijk door gewogen middeling een jaargemiddeld beeld van het retourtransport te verkrijgen.

In het onderzoek is gebruik gemaakt van de 3D-modellen TRIWAQ, DELFT3D en SLIB3D.

3 Opzet van het onderzoek

Met de modelprogrammatuur werden er baggerspeciéstortingen op Loswal Noord en op Loswal Noord-West bij eb- en bij vloedkentering doorgerekend. Gedurende twintig dagen werd de verspreiding van de slibfractie in de specie berekend voor een waterbeweging die behoort bij een typische situatie m.b.t. wind, golven en Rijnafoer.

Op basis van het verspreidingspatroon na deze twintig dagen werd er bepaald hoeveel slib er aanwezig was in het Maasmondgebied, in de Maasgeul en ten zuiden van de Maasgeul. Hieruit werd voor iedere speciéstorting het retourpercentage bepaald.

Met behulp van deze percentages is het mogelijk kostenberekeningen te maken bij het toepassen van diverse stortstrategieën.

De waterbeweging werd apart berekend met TRIWAQ of DELFT3D en opgeslagen in een database. Voor het onderzoek zijn de volgende situaties doorgerekend :

- a) gemiddelde Rijnafoer (2200 m³/s), gemiddelde wind, ZW 4,5 m/s
- b) gemiddelde Rijnafoer, noord-wester "storm", 18 m/s
- c) gemiddelde Rijnafoer, zuid-wester "storm", 18 m/s
- d) gemiddelde Rijnafoer, gemiddelde wind en een beheer van de Haringvlietsluizen volgens het scenario "getemd getij"
- e) lage Rijnafoer (1500 m³/s), ZW wind, 9 m/s
- f) hoge Rijnafoer (3500 m³/s), ZW wind, 9 m/s

Tabel 3.1 Overzicht van de waterbewegingsruns

	afvoer in m ³ /s	wind m/s	windrichting	spuiregime
a	2200	4,5	ZW	huidig
b	2200	18	NW	huidig
c	2200	18	ZW	huidig
d	2200	4,5	ZW	getemd getij
e	1500	9	ZW	huidig
f	3500	9	ZW	huidig

Er wordt hier korthedshalve over "storm" gesproken, hoewel het gaat om "stormachtige wind" .

Uit eerdere modelberekeningen in het kader van het onderzoek uitbreiding Maasvlakte is gebleken, dat het beheer van de Haringvlietsluizen grote invloed heeft op de zoutverdeling rond de Maasmond en als gevolg daarvan op restsnelheden, slibtransporten en aanslibbing in de Maasmond.

Daarom is er ook specifiek gekeken naar de hypothetische situatie, dat er volgens het scenario "getemd getij" gespuid wordt (d). In dit spuisceario wordt er veel meer Rijn/Maaswater via het Haringvliet gespuid en minder door de Nieuwe Waterweg.

De waterbewegingsberekeningen zijn uitgevoerd door *WLDelft* (Wang et al., 1999) en door bureau *Svasek* (Collard, 2001).

De slibtransportberekeningen zijn uitgevoerd door bureau *Aqua Vision* (Aardoom, 2001) met de SLIB3D-programmatuur van RIKZ. De details van de berekeningen, parameterinstellingen, begin- en randvoorwaarden zijn vermeld in de door de bovengenoemde bureaus opgeleverde rapportages en worden hier niet verder besproken.

3.1 Relaties met aanverwante projecten

Bij dit onderzoek is intensief gebruik gemaakt van onderzoeksresultaten uit de eerste fase van het SILTMAN project, met name als het gaat om het slibmodel. Afregeling en validatie van dit model hebben in het kader van SILTMAN plaatsgevonden.

De gebruikte modelschematisaties ZEEDELTA en RIJMAMO zijn in het kader van het project NAUTILUS op waterbeweging afgeregeld en gevalideerd. Daarnaast is er gebruik gemaakt van kennis en modelresultaten, die zijn verkregen in het kader van het "Project Mainport Rotterdam" (PMR), waarin onderzoek naar de effecten van een uitbreiding van de Maasvlakte werd verricht.

Ten slotte heeft er een uitgebreide uitwisseling van modelresultaten plaatsgevonden met het project "Monitoring Alternatieve Loswal" (MAL). Ook van de meetresultaten van MAL met betrekking tot de retentie van slib op Loswal Noord-West en omgeving is dankbaar gebruik gemaakt.

3.2 Aannamen en uitgangspunten

De baggerspecie die op de loswallen wordt gestort bestaat uit sedimenten met verschillende korreldiameters en is zeer variabel van samenstelling. Op grond van baggergegevens over de periode 1996-1999 wordt aangenomen, dat de specie gemiddeld voor 57 % uit slib (primaire korrel < 63 μ) en voor 43 % uit zand bestaat (Stutterheim, 2002).

Een belangrijk percentage van de specie bestaat uit kalk. Het verspreidingsgedrag hiervan is gelijk aan dat van slib (de Kok e.a., 1992). Daarom is bij het slibpercentage dat van kalk inbegrepen.

Het slibgehalte van het sediment dat achterblijft op de lokatie Loswal Noord-West is volgens de bodemonmonsteranalyses 18 %. Aangenomen wordt, dat de gehele gestorte zandfractie op de loswal achterblijft. Daaruit volgt, dat van de slibfractie 16 % op de loswal achterblijft. 84 % van de gestorte slibmassa komt vroeg of laat in suspensie.

Uit recent radiometrisch bodemonderzoek blijkt, dat een zeer groot deel hiervan terecht komt in de toplaag van de zeebodem in een gebied van 10 x 15 km rond Loswal Noord-West. Het is niet aannemelijk dat het daar blijft. Door golfwerking zal het tijdens stormen weer opgewerveld worden en in suspensie verder verspreid worden.

De radiometrische bodemkartering geeft wel een redelijk betrouwbaar beeld van de ruimtelijke verdeling van dit slib, maar geeft geen uitsluitel over het percentage slib, dat op deze manier tijdelijk in de zeebodem terecht komt. Bij gebrek aan meer nauwkeurige informatie wordt hier aangenomen dat van de 84 % slib, die niet in de loswal achterblijft, de helft in suspensie blijft en door getij- en dichtheidsgedreven stromingen tijdens rustig weer verspreid wordt. In de modelberekeningen wordt dit slib initiëel uniform over de waterkolom op de stortlokatie verdeeld.

De andere helft komt in de toplaag van de zeebodem terecht en wordt tijdens storm opgewerveld en daarna verder verspreid. In de modelberekeningen wordt dit slib initiëel verdeeld over de bodem rond Loswal Noord-West, overeenkomstig de verdeling, zoals die uit de radiometrische kartering is gevonden.

Voor Loswal Noord wordt aangenomen, dat de retentie van slib 16 % is. Hiermee wordt bedoeld het percentage van de gestorte slibmassa, die in de loswal achterblijft.

In het Milieu effect rapport "Een nieuwe Loswal Noord" werd aangenomen dat de retentie van de zandfractie 80 % is. De overige 20 % stroomt weer terug naar de Maasgeul en wordt beschouwd als retourpercentage. Deze percentages worden hier overgenomen. Bovendien wordt aangenomen dat het terugstromen van zand uitsluitend plaatsvindt na een storting rond ebkentering.

Vanwege het feit dat de omgeving van Loswal Noord zeer ondiep is, wordt er hier vanuit gegaan, dat er geen storm nodig is om de 84% van de slibfractie, die niet in de loswal achterblijft, in suspensie te houden.

De verspreiding na een storting op Loswal Noord vindt dus gemiddeld tijdens "rustig" weer plaats (Verlaan & Spanhoff, 1992). Voor Loswal Noord zijn dus geen stormscenario's doorgerekend.

3.3 Percentages

In dit rapport wordt gewerkt met vier soorten percentages :

1. een percentage van de totale vracht baggerspecie
2. een percentage van de vracht slib, deel uitmakend van de baggerspecie
3. een percentage van de slibmassa die na het storten in suspensie blijft en niet voor kortere of langere tijd in de bodem terecht komt.
4. een percentage van de slibmassa die in de omgeving van de loswal sedimenteert, maar tijdens storm weer resuspendeert.

In de tekst wordt steeds duidelijk aangegeven om welk soort percentage het gaat door middel van een getal tussen haakjes achter het woord "percentage" of achter het % teken : (1), (2), (3) of (4).

Het retourpercentage, dat resulteert uit een modelberekening, wordt berekend uit de hoeveelheid slib, die zich aan het eind van de berekening (meestal na 20 dagen simulatietijd) in de Maasmond en Nieuwe Waterweg en in het hele modelgebied ten zuid-westen daarvan bevindt. Het wordt gegeven als percentage van de hoeveelheid slib, die aan het begin van de berekening in het model aanwezig was, dus bij rustig weer gaat het om percentage (3) en na een storm om percentage (4).

3.4 Modelschematisaties en rivierafvoeren

Er is met twee modelschematisaties gewerkt: RIJMAMO en ZEEDELTA.

RIJMAMO is gebruikt voor de waterbewegingsruns a), b), c) en d).

ZEEDELTA is gebruikt voor de runs e) en f) (zie tabel 3.1).

In het RIJMAMO model wordt de debietverdeling tussen Haringvliet en Nieuwe Waterweg opgelegd aan de oostelijke modelranden (zie fig. 3). In de runs a), b) en c) was de verdeling als volgt: 1800 m³/s door de Nieuwe Waterweg en 400 m³/s door het Haringvliet.

In run d) was de afvoerdeling: 1100 m³/s Nieuwe Waterweg en 1100 m³/s Haringvliet. Volgens modelberekeningen, gedaan in het kader van het onderzoek "Open Haringvliet", stelt een dergelijke verdeling zich in na het invoeren van het spuiregime "getemd getij".

In het ZEEDELTA model liggen deze randen veel verder naar het oosten en wordt de debietverdeling door het model zelf bepaald, afhankelijk van het door de gebruiker ingestelde spuiregime van de Haringvlietsluizen.

In het geval van de runs e) en f) was dat het normale regime. In run e) verliep de hele zoetwaterafvoer van 1500 m³/s via de Nieuwe Waterweg en de Maasmond omdat de Haringvlietsluizen volgens het heersende spuiregime dan dicht staan.

In run f) verdeelde het model de afvoer als volgt : 1700 m³/s door de Maasmond en 1800 m³/s door het Haringvliet.

Deze runs werden gedaan om de effecten van rivierafvoer op retourtransport te onderzoeken.

4 Onzekerheidsmarges.

In de hoofdstukken 5 en 6 van dit rapport wordt aannemelijk gemaakt, dat het jaargemiddelde retourtransport van baggerslib een variatie vertoont van bijna 50 % van het langjarig gemiddelde als gevolg van de variabiliteit van wind en rivierafvoer.

Bij het maken van prognoses op basis van de modelmatig berekende retourpercentages is het belangrijk om rekening te houden met deze variabiliteit, die een onzekerheid in een prognose voor een specifiek jaar introduceert.

Voor een korte termijn prognose (minder dan een week) is de onzekerheid in de voorspelde wind en rivierafvoer minder groot, maar dan gaan juist de onzekerheden in de modelaannamen een grotere rol spelen.

Deze onzekerheden leiden tot minder grote onnauwkeurigheden in de modeluitkomsten als het gaat om lange termijn gemiddelden, omdat een onnauwkeurige modellering van het momentane gedrag dan minder belangrijk is. Bijvoorbeeld, een nauwkeurige berekening van het moment van resuspensie van een gesedimenteerde slibwolk is bij een korte termijn prognose van meer belang dan bij de berekening van een lange termijn effect.

De onzekerheden in de modellering van het retourtransport betreffen vooral de aannamen omtrent sedimentatie en resuspensie in het gebied rondom de loswallen. Dit gebied heeft een oppervlak van ongeveer 150 km². Voor Loswal Noord-West (zie fig. 6) heeft het Kernfysisch Versneller Instituut (KVI) enige jaren geleden door middel van radiometrische kartering met het MEDUSA systeem de verdeling van baggerslib in dit gebied gekwantificeerd.

Uit de metingen is vast komen te staan dat er vrij veel baggerslib in de toplaag van de bodem aanwezig is, maar de uit de metingen afgeleide absolute waarden van de massa's slib, die hiermee gemoeid zijn, zijn uiterst onnauwkeurig. Het is ook niet duidelijk of het om een permanente begraving gaat, of dat er tijdens storm een gedeelte resuspendeert.

Afgaande op de MEDUSA metingen zou men tot de conclusie kunnen komen, dat het grootste gedeelte van het baggerslib voor minstens enkele jaren in de bodem wordt opgeslagen, en dat het retourtransport gedurende die tijd zeer gering is. Na 10 jaar zou dan de toplaag van de bodem van het hele surveygebied voor minstens 30 % uit slib moeten bestaan. Het is aannemelijk dat er reeds in een eerder stadium een evenwicht tussen jaargemiddelde sedimentatie en resuspensie zal ontstaan. In deze studie is aangenomen, dat dat evenwicht is bereikt, en dat 16 % (2) van het slib in de loswal zelf achterblijft en dat de overige 84 % in suspensie blijft of na enige tijd in suspensie komt.

De jaarlijkse bodembemonsteringen, die in de jaren '80 rond Loswal Noord zijn gedaan, gaven aan, dat er daar na enige tijd geen verdere toename van het bodemslibgehalte meer optrad. De bodemdiepte lag daar tussen de 10 en de 20 meter. Bij Loswal Noord-West is dat gemiddelde een stuk dieper.

Zou blijken, dat de bodem rond Loswal Noord-West toch voortdurend slib blijft absorberen, dan moet het retourtransport met dit bedrag worden verminderd. Op dit moment valt nog niet aan te geven om welk percentage het gaat.

Een andere onzekerheid is gelegen in de aanname omtrent de hoeveelheid slib, die in de bodem op de stortlokatie van de loswal zelf achterblijft. De meetdata zijn onderling niet consistent. Afhankelijk van de gehanteerde rekenmethode en de gebruikte meetgegevens komt men uit op percentages tussen de 15 en de 25 % (2).

In deze studie is uitgegaan van de slibgehalten van een beperkt aantal steekmonsters genomen uit de bodem van de stortlokatie.

Bij de berekening van de lange termijn gemiddelden is van een zeer beperkt aantal scenario's gebruik gemaakt. Door lineaire interpolatie en gewogen middeling is een schatting gemaakt van het jaargemiddelde retourtransport. De afhankelijkheden van wind en rivierafvoer zijn echter niet lineair. Ook dat levert een bepaalde onnauwkeurigheid op. In werkelijkheid zal de verspreiding een meer diffusief karakter hebben dan in de berekening, vooral als er gedurende meer dan een week met constante wind en rivierafvoer wordt gerekend.

Voor berekeningen korter dan een week levert dit geen grote fout op.

In het algemeen kan men zeggen, dat een numeriek model, en zeker een slibverspreidingsmodel, altijd nog een sterk vereenvoudigde weergave is van de werkelijkheid, waarbij noodgedwongen talloze processen zijn weggelaten of zijn geparameteriseerd. De parameters zijn afgeregeld op een zo goed mogelijke match met de schaarse meetwaarden, maar ze zijn zeker niet onder alle omstandigheden geldig.

Het is daarom realistisch een onzekerheidsmarge rond het geschatte retourpercentage te plaatsen van (relatief) 50 %.

5 Retourpercentages vanaf Loswal Noord

Doorgerekende scenario's

Voor Loswal Noord zijn retourpercentages bepaald voor de volgende situaties :

- a1 - storting bij vloed volgens waterbewegingsscenario a) (zie tabel 3.1)
- a2 - storting bij eb volgens waterbewegingsscenario a)
- d1 - storting bij vloed volgens waterbewegingsscenario d)
- d2 - storting bij eb volgens waterbewegingsscenario d)

“Storting bij eb” wil hier zeggen : “storting bij beginnende ebstroom” en “storting bij vloed” betekent : “storting bij beginnende vloedstroom”. De vloedstroom is naar het Noord-Oosten gericht, de ebstroom naar het Zuid-Westen.

Er is niet met storm gerekend.

In tabel 5.1 staan de retourpercentages (3) vermeld, die uit de berekeningen resulteerden. In de laatste kolom staat het totale retourpercentage van de hele specievracht, uitgaande van een retourpercentage van 20% van de zandfractie. Dit retourtransport vindt alleen plaats bij storten rond ebkentering. Het slibgehalte van de specie bedraagt bij storting 57 %(1) en de retentie van slib in de loswal is 16 %(2).

Tabel 5.1 Berekende retourpercentages vanaf Loswal Noord

	Waterbeweging	Eb / vloed Stroom	retour % (3)	totaal retour % (1)
a1	a)	V	57	27
a2	a)	E	98	64
d1	d) getemd getij	V	4	2
d2	d) getemd getij	E	76	56

Uit de tabel blijkt, dat storten bij beginnende vloedstroom een veel lager retourpercentage oplevert. Dit is vooral het geval in de hypothetische situatie “getemd getij” (scenario d).

In scenario d) komt er relatief weinig zoet water door de Maasmond naar buiten, waardoor de dichtheidsgradiënten in het directe Maasmondgebied afnemen. Dit heeft een verminderde bodemstroming richting Maasmond tot gevolg en daardoor een verminderd retourtransport.

Scenario d) zou men ook kunnen interpreteren als een situatie met lage Rijn/Maasafvoer. Ook dan is er een laag zoetwaterdebiet door de Maasmond en zijn de saliniteitsgradiënten in het kustwater kleiner.

Uit figuur 4 blijkt, dat in het berekeningsscenario a1 zich na 3 dagen reeds een belangrijke slibmassa ten westen van de Maasmond bevindt. Dat is ook het geval in de andere scenario's.

In figuur 5 is het verloop in de tijd weergegeven van de hoeveelheid slib in het zuid-westelijk modelgedeelte. Na 1500 tijdstappen van 10 minuten (<11 dagen) is er vrijwel geen slib meer in suspensie. Wel wordt er nog voortdurend uit het noorden-oosten slib aangevoerd, dat vrijwel direct in het Maasmondgebied sedimenteert.

Uit de tabel valt af te leiden, dat het retourpercentage onder gemiddelde omstandigheden (scenario a) 47 % van het totaal (1) is, er van uitgaande dat er even vaak rond ebkentering als rond vloedkentering wordt gestort.

Jaargemiddeld retourtransport

In bovenvermelde berekeningsresultaten is nog niet het effect van stormen verdisconteerd. Tijdens storm met wind en golven komend vanuit het zuid-westen vindt er resuspensie plaats van slib, dat in de voorafgaande periode is gesedimenteerd. De zuid-westen wind veroorzaakt een stroming naar het noord-oosten, die het geresuspendeerde materiaal meevoert. Er zal dan weinig of geen retourtransport plaatsvinden vanaf de omgeving van Loswal Noord. Volgens windstatistieken van station Noord-Hinder waait gedurende 3,4 % van de tijd de uurgemiddelde wind uit de sectoren Z0-WZW met een snelheid van 14 m/s en hoger (fig. 12).

Een wind in de zelfde sterkteklasse uit de sectoren WNW-NO waait 2 % van de tijd. Het invallend golfveld komt dan uit het noord-westen en de windgedreven stroming is gericht naar het zuid-oosten en transporteert het opgewervelde slib naar de Maasmond. Er zal dan relatief veel retourtransport plaatsvinden.

Uit in situ onderzoek van Verlaan en Spanhoff (1992) blijkt, dat wegens de geringe diepte reeds bij betrekkelijk lage golven slib uit de omgeving van Loswal Noord resuspendeert. Dit slib verdwijnt uit de omgeving van de loswal. Het transport bij storm heeft dus alleen betrekking op slib, dat vlak voor die storm is gestort. Het gaat dus om 5,4 % van het slib.

Aannemend dat bij ZW-storm het retourtransport 0 % is, en bij NW storm 100 % (4), komt het totale retourtransport bij storm uit op 1 % (1) van het totaal.

Dit brengt de schatting van het jaargemiddelde retourtransport vanaf Loswal Noord op $0,946 \times (27+64)/2 + 1 = 44 \%$ (1) van het totaal.

Deze schatting van het retourpercentage ligt beduidend hoger dan eerdere schattingen, b.v. die uit het Milieueffectrapport "Een nieuwe Loswal Noord" (30-35 %).

Dit is o.a. een gevolg van het feit, dat er nu 16 % (2) retentie van slib wordt aangenomen. Voorheen werd hiervoor 20 % aangenomen.

Het slibgehalte in de baggerspecie is volgens de huidige schattingen 57 % (1). Voorheen werd hiervoor 44 tot 50 % aangenomen.

Andere oorzaken zijn gelegen in een verbeterde modelresolutie, waardoor met name het transport dichtbij de bodem nauwkeuriger wordt berekend. Daar vindt ook het meeste retourtransport plaats.

6 Retourstroming vanaf Loswal Noord-West

6.1 Doorgerekende scenario's

Het verspreidingspatroon van slib na storting op Loswal Noord-West is voor een variëteit aan omstandigheden berekend. Er is gerekend met :

- A - Rustig weer, gemiddelde rivierafvoer (a) (zie tabel 3.1),
- B - Anderhalve dag zuid-westerstorm (c) gevolgd door 20 dagen rustig weer (a),
- C - Anderhalve dag noord-westerstorm (b) gevolgd door 20 dagen rustig weer (a),
- D - Lage rivierafvoer ZW wind, 9 m/s (e),
- E - Hoge rivierafvoer ZW wind, 9 m/s (f).

Voor waterbewegingsscenario (a) werd er gerekend met een storting bij vloedkentering (A1) en met een storting bij ebkentering (A2).

Voor de beide stormscenario's c) en b) werd er gerekend met slib dat aan het begin van de storm vrij snel in suspensie kwam vanaf de zeebodem in een tijdvenster halverwege eb- en vloedkentering (H).

Er werden afzonderlijke runs gedaan met resuspensie vanaf de lokatie Loswal Noord-West en er werden runs gedaan met resuspensie van slib dat zich op de zeebodem in een gebied van 10 x 15 km rondom Loswal Noord-West had verspreid volgens de verdeling, die uit de radiometrische kartering was afgeleid (fig. 6). Dit laatste resuspensie-scenario wordt aangeduid met een "O" voor "Omgeving".

Voor de beide rivierafvoerscenario's e) en f) werd er gerekend met een speciëstorting bij ebkentering.

De berekende retourpercentages (3),(4) en (1) zijn vermeld in tabel 6.1 .

Tabel 6.1

Berekende retourpercentages vanaf Loswal Noord-West en omgeving.

	Windrichting + snelheid in m/s	Afvoer in m ³ /s	Water-beweging	Eb/ Vloed-Kentering/ Halverwege	Vanaf : Loswal NW/ Omgeving	retour % (3),(4)	retour % (1)
A1	ZW 4,5	2200	a)	V	L	0	0
A2	ZW 4,5	2200	a)	E	L	65	31
B1	ZW 18 - 4,5	2200	c), a)	H	L	1	0
B2	ZW 18 - 4,5	2200	c), a)	H	O	0	0
C1	NW 18, ZW 4,5	2200	b), a)	H	L	61	29
C2	NW 18, ZW 4,5	2200	b), a)	H	O	57	27
D	ZW 9	1500	e)	E	L	4	2
E	ZW 9	3500	f)	E	L	30	14

Bij de berekening van retour% (1) is uitgegaan van 0% retourtransport voor de zandfractie en een slibgehalte van de specie bij storting van 57 % (1) en een retentie van slib in de loswal van 16 % (2).

Bij rustig weer (wind 4,5 m/s) is het retourtransport vanaf Loswal Noord-West aanmerkelijk minder dan vanaf Loswal Noord. In totaal is er een afname van 46 % naar 16 % (1). Dat is dus beduidend meer dan een halvering van het retourtransport.

Onder stormomstandigheden is er weinig verschil tussen het retourtransport vanaf Loswal Noord-West zelf (B1, C1) en het retourtransport vanaf de omgeving (B2, C2). Wel is de windrichting bepalend.

Bij een ZW wind van 9 m/s, dat is qua richting wel gelijk aan het jaargemiddelde, maar qua sterkte aanzienlijk meer, is er een sterke afname van het retourtransport (vergelijk D (2%) en E (14%) met A2 (31%)).

Uit de scenario's D en E blijkt de afhankelijkheid van de zoetwaterverdeling voor de zuid-hollandse kust. Bij hoge rivierafvoer, dus bij grote dichtheidsgradiënten in het kustwater, is er een sterkere bodemstroming (fig. 7) richting Maasmond dan bij een lage afvoer (fig. 2) en dientengevolge meer retourtransport (14 % versus 2 %).

6.2 Schatting jaargemiddelde retourtransport vanaf Loswal Noord-West

Als we alleen het rustig weer scenario a) in beschouwing nemen en ervan uitgaan, dat er even vaak rond ebkentering als rond vloedkentering wordt gestort, dan schatten we het retourtransport vanaf Loswal Noord-West op **16 % (1)**, zijnde het gemiddelde van de retourpercentages van A1) en A2).

Voor een schatting van het jaargemiddelde retourtransport, inclusief stormomstandigheden (wind 18 m/s en hoger) gaan we, bij gebrek aan voldoende nauwkeurige informatie, uit van de aannamen die in § 3.2 werden gedaan, nl. :

16 % van het gestorte slib blijft in de loswal achter,

42 % blijft in suspensie en wordt tijdens rustig weer door de stroming meegevoerd (scenario A),

42 % komt in de "omgeving" van de loswal terecht en resuspendeert tijdens stormen uit ZZW tot noordelijke richtingen (scenario's B2 en C2).

Stormen uit Z en O richtingen zijn niet relevant, omdat er dan geen invallend golfveld van voldoende sterkte bestaat.

Er wordt aangenomen, dat in de scenario's B2 en C2 het slib, dat zich in de toplaag van de zeebodem heeft genesteld, weer opgewerveld wordt door golfactiviteit en in suspensie komt. Vervolgens wordt het door wind-, golf-, dichtheid- en getijgedreven stroming meegevoerd.

Volgens windstatistieken van het nabijgelegen station Noord-Hinder waait gedurende 2 % van de tijd de uurgemiddelde wind uit de sectoren tussen W en N met een snelheid van 14 m/s en hoger (fig. 12).

Een wind in de zelfde sterkteklasse uit de sectoren tussen Z en W waait 3.4 % van de tijd.

Van de relevante stormsituaties heeft dus 37 % betrekking op een wind met een noordelijke component en 63 % op een wind met een zuidelijke component. Er wordt daarom aangenomen, dat 37 % van het slib (4) zich volgens scenario C) verspreidt en dat 63 % (4) zich volgens scenario B) verspreidt.

Het tijdens en na storm optredende retourtransport is dus:
 $0,57 \times 0,42 \times 0,37 \times 59 \% + 0,57 \times 0,42 \times 0,63 \times 0,5 \% = 5,3 \% (1)$

De getallen staan voor:

slibfractie : 0,57
resuspensie : 0,42
NW storm : 0,37
retour (gemiddelde C1 en C2) : 59 %

ZW storm : 0,63
retour (gemiddelde B1 en B2) : 0,5 %

Het tijdens rustig weer optredende retourtransport is :
 $0,57 \times 0,42 \times 32,5 \% = 7,8 \% (1)$.

blijvend in suspensie : 0,42
retour (gemiddelde A1 en A2) : 32,5 %

Het jaargemiddelde retourtransport vanaf Loswal Noord-West, inclusief het transport tijdens stormomstandigheden, wordt geschat op 5,3 + 7,8 %, dat is afgerond 13 % (1).

6.3 Variatie in het retourtransport ten gevolge van externe factoren.

Uit tabel 6.1 blijkt, dat wind en rivierafvoer een significante invloed hebben op het berekende retourtransport.

Wind

Er is in paragraaf 3.2 aangenomen dat 16 % (2) van het slib blijvend in de loswal is begraven en dat 84 % vroeger of later in suspensie komt.

Als nu in afwijking van § 3.2 wordt aangenomen, dat deze 84 % zich alleen tijdens rustig weer verspreidt en niets tijdens storm, wordt het berekende retourpercentage 16 % (1).

Door stormen erbij te betrekken voor 42 % van het slib wordt er een retourpercentage van 13 % (1) berekend.

Als we het andere uiterste nemen en er van uitgaan dat 84 % van het slib zich tijdens en kort na een storm verspreidt en niets tijdens rustig weer, wordt het berekende retourpercentage 10 % (1).

We kunnen hieruit concluderen, dat door de variatie in de frequentie van het optreden van stormen het berekende retourpercentage varieert tussen de 10 % en 16 % (1).

Dit is op zich niet zo'n groot verschil, omdat het gaat om stormen die maar 3 getijperioden lang duren, waarbij de verhouding 37 % NW en 63 % ZW constant blijft.

Als deze verhouding ook varieert, zeg b.v. dat hij gedurende een jaar 50 – 50 % is, dan is het berekende retourpercentage 14 % (1).

Is de verhouding jaargemiddeld 25 – 75 %, dan is het berekende retourpercentage 7 % (1).

Hieruit volgt de indicatie, dat het retourpercentage ten gevolge van de variatie in stormomstandigheden varieert tussen **7** en **16** % (1).

Als we kijken naar de resultaten van de runs D) en E), dan zien we dat de ebretourtransporten gemiddeld 8 % (1) bedragen. Aannemend dat de vloedretourpercentages 0 zijn, is het gemiddelde retourtransport **4** % (1). De wind is in deze berekeningen constant 9 m/s ZW, dat is twee maal zo veel als de 4,5 m/s uit het scenario A).

Een verdubbeling van de gemiddelde windsnelheid levert dus een afname van het retourtransport op van 16 % naar 4 % (1). (Een verdubbeling van de windsnelheid is een verviervoudiging van de windstress). We kunnen dus benaderend stellen, dat het retourtransport kwadratisch afneemt met de windsnelheid (ZW). Bij een variatie in de vectorieel gemiddelde windsnelheid van 20 % zal het retourtransport dus een variatie vertonen van 44 %. Passen we dit percentage toe op een jaargemiddeld retourtransport van 13 % (1), dan is de variatie hierin bijna 6 % punt (1).

*Een variatie in de jaargemiddelde windsnelheid van 20 % is heel normaal en derhalve zal het retourtransport vanaf Loswal Noord-West als gevolg daarvan variëren tussen de **7** % en de **19** % (1).*

Rivierafvoer

De variatie als gevolg van variërende rivierafvoer is eveneens vrij groot.

Als we de resultaten van runs D) en E) lineair interpoleren, dan kunnen we stellen, dat bij een afvoer van 2500 m³/s (wind 9 m/s) het retourpercentage na storting rond ebkentering 8 % (1) is. Stellen we het retourpercentage na storting rond vloedkentering weer op 0, dan is het gemiddelde retourpercentage bij een afvoer van 2500 m³/s **4** % (1).

Bij een afvoer van 1500 m³/s is dat **1** % en bij 3500 m³/s is dat **7** %.

Een variatie in de rivierafvoer naar onder en naar boven van 1000 m³/s (dat is bijna 40% van het jaargemiddelde) levert dus een verandering in het retourtransport op van **3** %punt (1). De relatieve verandering is derhalve $3/4 = 75\%$.

Varieert de jaargemiddelde rivierafvoer met 20 %, wat vaak het geval is, dan zouden we de relatieve verandering in retourtransporten kunnen schatten op 37,5%. Passen we deze variatie toe op het in § 6.2 berekende jaargemiddelde van 13 % (1), dan is de variatie 5 % punt (1).

We kunnen dus stellen :

*Ten gevolge van variatie in de rivierafvoer varieert het jaargemiddelde retourtransport vanaf Loswal Noord-West tussen de **8** en de **18** % (1).*

Op grond van het bovenstaande kan de volgende indicatieve conclusie worden getrokken :

Het langjarig gemiddelde retourtransport vanaf Loswal Noord-West wordt geschat op 13% (1).

De onzekerheid t.g.v. modelaannamen is 6,5 % punt.

De variatie t.g.v. variërende wind is 6 % punt.

De variatie t.g.v. variërende rivierafvoer is 5 % punt.

7 Optimale stortstrategieën

Het is mogelijk om de kosten van baggeren en storten te minimaliseren, door voor iedere individuele baggerspeciéstorting een lokatie te kiezen, die afhankelijk is van het te verwachten retourtransport vanaf die lokatie. Dat retourtransport is afhankelijk van de getijfase op het moment van storten en van de wind en de rivierafvoer in de week voor en na het storten.

Ieder retourtransport kan gerelateerd worden aan een bepaald bedrag aan baggerkosten op basis van een gemiddelde prijs per m³ voor baggeren en storten of bergem. In deze gemiddelde prijs is verdisconteerd, dat het baggeren uit het Botlekgebied duurder is dan uit het Maasmondgebied, en dat een bepaald percentage van de specie naar de Slufter of Papagaaienbek moet, omdat het niet aan de uniforme gehaltetoets voldoet.

Op basis van de geschatte retourpercentages voor de diverse situaties, beschreven in de hoofdstukken 4 en 5, en op basis van korte termijn historie en verwachtingen van wind en rivierafvoer, is het in principe mogelijk om voor een vracht baggerspecie te schatten, hoe groot het retourpercentage zal zijn bij een storting op Loswal Noord en hoe groot bij een storting op Loswal Noord-West op een bepaald moment.

Hieruit kunnen de daaraan gerelateerde kosten voor weer opbaggeren en storten worden berekend.

Voor Loswal Noord-West worden bij dit kostenbedrag de kosten voor 18 km varen opgeteld, omdat Loswal Noord-West 9 km verder van de Maasmond af ligt dan Loswal Noord.

Als er geen verdere overwegingen zijn, kan dan gekozen worden voor de lokatie, die de laagste verwachte kosten oplevert voor varen + retourtransport.

Opmerking : de kostenanalyse is gebaseerd op bedragen en hoeveelheden uit het recente verleden. Deze zijn niet geheel up to date en kunnen bovendien variëren. Ook zijn de bedragen nog niet omgerekend naar de Euro. Dit is niet van invloed op de analyse en de keuze van een optimale stortstrategie.

7.1 Kostenanalyse voor storten op LWNW

Op dit moment wordt jaarlijks op *Loswal Noord-West* door Rijkswaterstaat ongeveer 6 Mton baggerspecie gestort. Deze specie is afkomstig uit het westelijk havengebied, te weten, de baggervakken E,F en G (zie fig.1). De kosten voor baggeren, varen en storten van deze klasse I specie zijn 18 Mfl. Dat is dus fl 3,- per ton.

Naar schatting is 95 % van deze specie afkomstig uit zee en 5% van de rivier.

Door het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam (GHR) wordt jaarlijks ruim 1,5 Mton klasse I specie op Loswal Noord-West gestort. De kosten hiervoor bedragen bijna 9 Mfl per jaar.

GHR heeft echter ook te maken met baggerspecie, die niet aan de uniforme gehaltetoets voldoet en daarom niet in klasse I valt. Deze specie moet tegen

aanzienlijk hogere kosten worden geborgen in een depot, bijvoorbeeld de Slufter. De kosten voor baggeren en berging worden geschat op fl 15,00 per m³. Het gaat hierbij om 876.000 m³ per jaar waarvan 80 % van de rivier afkomstig is.

Naar schatting (GHR, 1988) is ruim 50 % van de specie, die in het beheersgebied van GHR wordt opgebaggerd, uit zee afkomstig. Een deel daarvan (meer dan een kwart) is weer afkomstig uit het retourtransport vanaf de loslokatie (Loswal Noord tot 1997, daarna Loswal Noord-West, zie fig. 8). Van het opgebaggerde zeeslib wordt 2% geborgen in depot.

Van de totale hoeveelheid gebaggerde specie gaat 7534 kton/jaar naar Loswal Noord-West. Hiervan is 57 % slib en 43 % zand. Het zand komt hoofdzakelijk uit de baggervakken F en G. Het gaat om een hoeveelheid van 3240 kton/jaar. De totale kosten voor baggeren en bergen of storten in zee voor slib en zand komen op 40,2 Mf per jaar, wat neerkomt op een gemiddelde prijs van f 5,09 per ton droge stof (d.s.).

Tabel 7.1 .1

Baggerhoeveelheden en jaarlijkse kosten voor de diverse onderhoudsgebieden bij gebruik van Loswal Noord-West. (T. Blokland, persoonlijke informatie). De laatste kolom geeft aan de gemiddelde kosten per ton d.s. inclusief de kosten voor depotberging (prijspeil 1999).

Onderhoudsgebied	m ³ x10 ³	ton d.s. x 10 ³	baggerkosten in kfl	% berging	extra kosten berging in kfl	kosten in fl. per ton d.s.
Vak E,F,G	11000	6000	18000	0	0	3,00
Caland/Beerkanaal	1350	540	2700	0	0	5,00
Botlek	2200	880	5500	10	2750	9,37
1 ^e en 2 ^e petr. haven	560	224	1400	10	840	9,37
Stadshavens	600	240	2220	100	6780	37,50
Totaal	4710	7884	29820	4,4	10.370	5,09

Tabel 7.1.2

Jaarlijkse gebaggerde hoeveelheden **slib** afkomstig uit **zee**, **zand** niet meegerekend, en kosten voor baggeronderhoud bij gebruik van Loswal Noord-West. In de vakken E,F,G is 54% zand en 5 % rivierslib.

Onderhoudsgebied	% zeeslib	kton d.s. zeeslib	kton zeeslib naar zee	kosten verwijdering zeeslib in kfl	gemiddelde kosten in fl. per ton d.s. zeeslib
Vak E,F,G	41	2480	2480	7440	3,00
Caland/Beerkanaal	90	486	486	2430	5,00
Botlek	50	440	396	4125	9,37
1 ^e en 2 ^e petr. haven	20	45	40	422	9,37
Stadshavens	10	24	0	900	37,50
Totaal	44	3475	3402	15.317	4,40

Tabel 7.1.3 Jaarlijkse hoeveelheden gebaggerd slib in kton d.s. afkomstig uit zee en uit de rivier

	Totaal	Vak E, F, G	Caland/Beer- kanaal	Botlek	1 ^e ,2 ^e petr. haven	stadshavens
Uit rivier	1170	280	54	440	180	216
Uit zee	3474	2480	486	440	44	24
Totaal	4644	2760	540	880	224	240

Tabel 7.1.4 Jaarlijkse hoeveelheden gebaggerd slib in kton d.s. naar loswal en naar berging

	Totaal	Vak E, F, G	Caland/Beer- kanaal	Botlek	1 ^e ,2 ^e petr. haven	stadshavens
Rivierslib naar loswal	892	280	54	396	162	0
Zeeslib naar loswal	3402	2480	486	396	40	0
Totaal naar loswal	4294	2760	540	792	202	0
Rivierslib naar berging	278	0	0	44	18	216
Zeeslib naar berging	72	0	0	44	4	24
Totaal naar berging	350	0	0	88	22	240

De jaarlijkse slib- en zandstromen worden in figuur 8 schematisch weergegeven.

Daarbij is:

Baggeronderhoud slib = slib rivier + slib uit zee

Baggeronderhoud zand = zand uit zee = 3240 kton

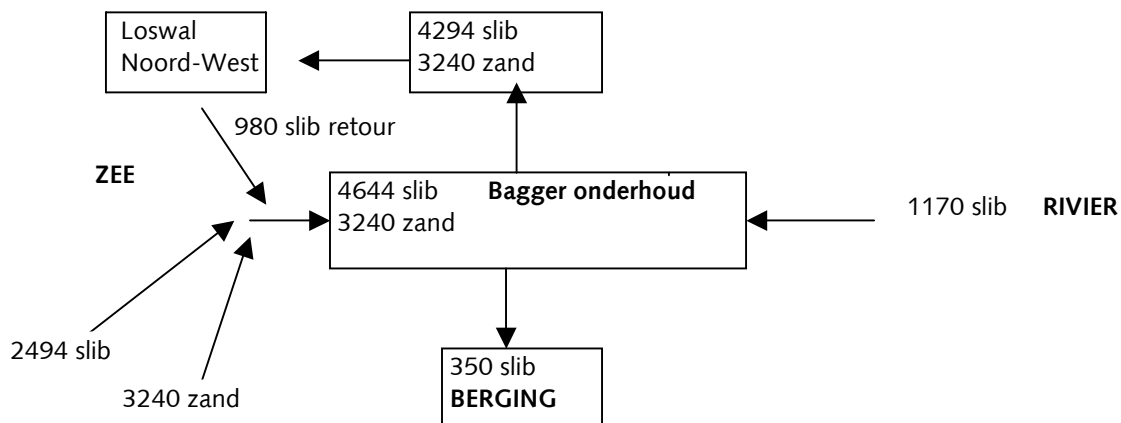
slib rivier = 1170 kton

slib uit zee = marien slib + slib retour

marien slib = 2494 kton

slib berging = $0,0208 \times (\text{slib uit zee}) + 0,2376 \times (\text{slib rivier})$

slib retour is afhankelijk van de loslokatie en de stortstrategie



Figuur 8

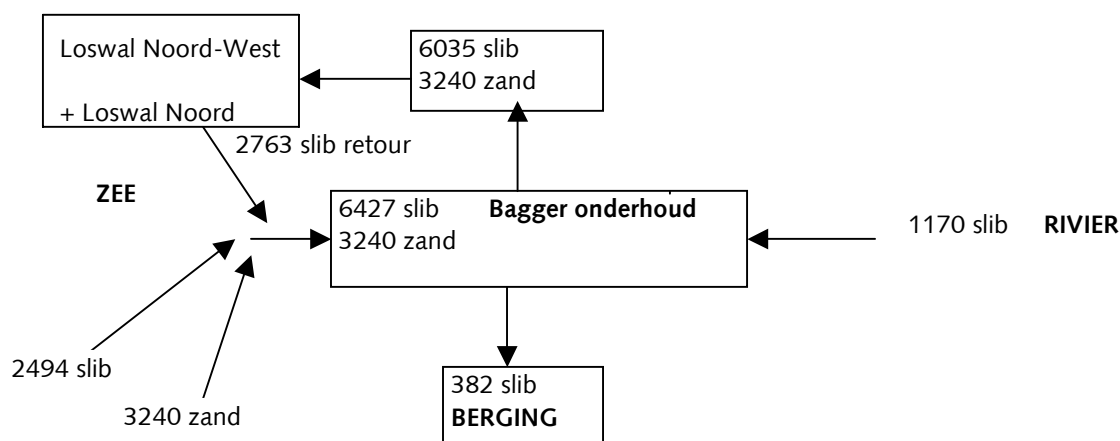
Jaarlijkse zand en slibfluxen in 10^3 ton d.s. bij gebruik van Loswal Noord-West.

Retourpercentage van slib is 23 % (2) van het gestorte slib.

7.2 Kostenschatting bij getijafhankelijk storten

De eenvoudigste vorm van gedifferentieerd storten, is het gebruik van Loswal Noord in een tijdvenster rond vloedkentering en het gebruik van Loswal Noord-West in een tijdvenster rond ebkentering.

Om de kosten te berekenen bij het gebruik van deze stortstrategie wordt aangenomen, dat jaargemiddeld de helft van de specie op Loswal Noord wordt gestort en de andere helft op Loswal Noord-West.



Figuur 9

Jaarlijkse zand en slibfluxen in 10^3 ton d.s. bij getijafhankelijk storten op Loswal Noord en op Loswal Noord-West. Retourpercentage van slib is 46 % (2) van het gestorte slib.

Het retourpercentage (2) na storten precies op vloedkentering op Loswal Noord is voor de slibfractie 48 % (a1 in tabel 5.1).

Het retourpercentage (2) na storten precies op ebkentering op Loswal Noord-West is voor de slibfractie bijna 55 % (A2 in tabel 6.1).

In alle gevallen is er van uit gegaan, dat 16 % van het in zee gestorte slib in de bodem achterblijft en dat 84% vroeg of laat in suspensie komt.

Er wordt aangenomen, dat in beide gevallen het retourpercentage voor de zandfractie 0% is. Voor Loswal Noord-West is deze aanname gebaseerd op de verre en betrekkelijk diepe ligging. Voor Loswal Noord wordt aangenomen dat retourtransport van zand alleen plaatsvindt na storting rond ebkentering, als de stroming naar het zuiden is gericht.

Het jaargemiddelde retourpercentage (2) voor slib komt zo op 51 %.

Er is hierbij nog geen rekening gehouden met het optreden van stormachtige ZW- en NW-wind.

In § 6.3 werd berekend, dat stormachtige ZW- en NW-winden netto jaargemiddeld een vermindering van het retourtransport veroorzaken van maximaal 6% en het meest waarschijnlijk van 3 % (1) van het totaal van de gestorte specie.

Dat komt neer op 5 % (2) van de slibfractie in de specie.

De correctie voor het optreden van stormachtige wind zal bij getijafhankelijk storten ook 5 % punt (2) bedragen. Het jaargemiddeld retourpercentage(2) voor slib bij getijafhankelijk storten wordt daarom hier geschat op $51-5=46\%$.

Het jaargemiddelde retourpercentage, berekend voor storten uitsluitend op Loswal Noord-West is 13 % (1) van het totaal (zie § 6.3) en 23 % (2) van de slibfractie. Het getijafhankelijk storten heeft dus een verdubbeling van het retourpercentage voor slib tot gevolg.

De hoeveelheid te baggeren "zeeslib" neemt daardoor toe van 3474 (fig. 8) tot 5257 kton d.s. per jaar (fig. 9). Onder zeeslib wordt hier verstaan : slib dat vanaf zee de Maasmond binnenkomt en in één van de onderhoudsgebieden sedimenteert.

Als wij er van uitgaan, dat voor de helft van de slibvrachten de kosten voor varen afnemen met f 1,00 per ton d.s., omdat deze op Loswal Noord en niet op het verder weg gelegen Loswal Noord-West worden gestort, dan neemt de gemiddelde kostprijs per ton d.s. zeeslib af van f 4,40 naar f 3,90 (zie tabel 7.1.2).

De baggerkosten voor zeeslib komen daarmee op 20,5 Mfl per jaar. Deze kostenschatting is aan de lage kant, omdat slechts voor 98 % van het zeeslib de vaarkosten naar beneden gaan.

De jaarkosten voor het verwijderen van zeeslib bij gebruik van Loswal Noord-West alleen zijn 15,3 Mfl (tabel 7.1.2). Dat is 5,2 Mfl minder dan bij getijafhankelijk storten.

De bagger- en vaarkosten voor zand gaan gemiddeld met f 0,50 per ton d.s. naar beneden. De hoeveelheid te baggeren zand verandert niet.

De kosten voor het verwijderen en storten van zand dalen dus met $3240 \cdot 10^3 \cdot f 0,50 = 1,62$ Mfl.

De hoeveelheid te verwijderen rivierslib verandert ook niet. Van het rivierslib gaat per jaar 892 kton d.s. naar zee. De kosten hiervoor zullen bij getijafhankelijk storten met f 0,50 per ton d.s. dalen. Dat is een daling van 0,45 Mfl.

Het netto resultaat van getijafhankelijk storten is dus een **kostentoeename** van $5,2 - 1,62 - 0,45$ Mfl = **3,1 Mfl**.

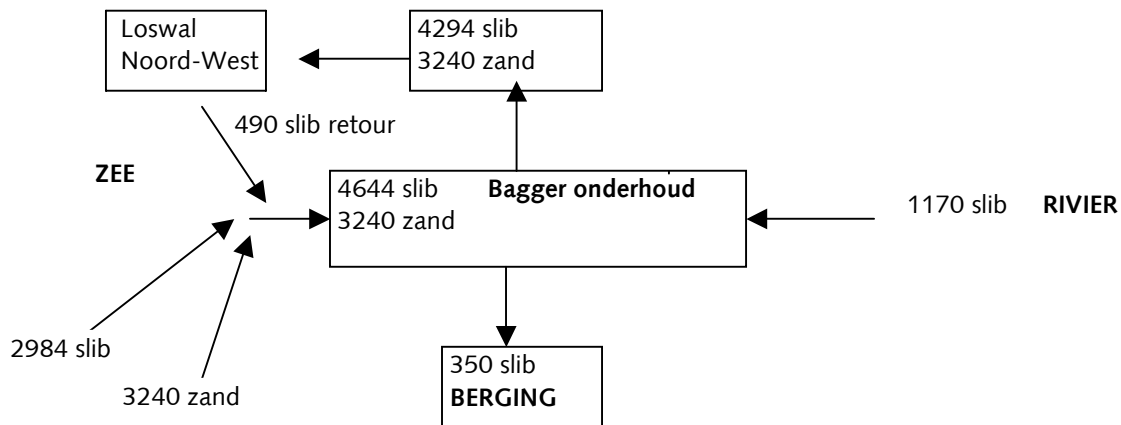
7.3 Kostenanalyse bij hoge retentie van slib in de zeebodem

In hoofdstuk 6 werd een onzekerheidsmarge van 50 % m.b.t. het retourpercentage genoemd, vooral ten gevolge van de onzekerheid omtrent de retentie in de zeebodem. In § 7.2 werd voorzichtigheidshalve verondersteld, dat 84 % van het slib in suspensie blijft of komt, d.w.z dat er alleen retentie van slib plaats vindt op de stortlocatie zelf. In het gebied er omheen, samenvallend met het "surveygebied", een rechthoek van 10 bij 15 km, blijft dan niets achter in de zeebodem.

Als we nu veronderstellen, dat er daar wel retentie is, en dat de helft van het slib, dat niet in de loswal zelf achterblijft, in de zeebodem van het surveygebied achterblijft, dan neemt het eerder berekende retourpercentage voor slib met de helft af.

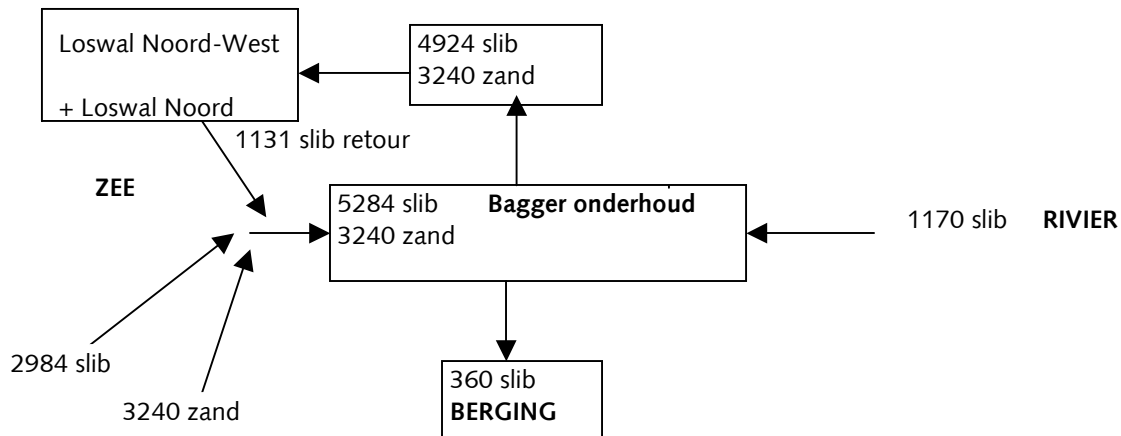
Voor het scenario "alleen storten op Loswal Noord-West" wordt het retourpercentage dan 11% (2) van het gestorte slib.

Het bijbehorend stroomdiagram is gegeven in figuur 10.



Figuur 10

Jaarlijkse zand en slibfluxen in 10^3 ton d.s. bij gebruik van Loswal Noord-West. Retourpercentage van slib is 11 % (2) van het gestorte slib.



Figuur 11

Jaarlijkse zand en slibfluxen in 10^3 ton d.s. bij getijafhankelijk storten op Loswal Noord en op Loswal Noord-West. Retourpercentage van slib is 23 % (2) van het gestorte slib.

We kunnen het totale retourtransport (1) in het scenario "getijafhankelijk storten" berekenen onder de aanname van een hoge retentie van baggerslib in de zeebodem rond Loswal Noord-West **en in dezelfde mate** rond Loswal Noord. Voor beide loswallen nemen we dan de helft van het slibretourtransport (2) dat in § 7.2 is aangenomen. Het resulterende retourtransport van slib is dan 23%. Het bijbehorend stroomdiagram is gegeven in figuur 11.

Er komt in die situatie jaargemiddeld 4114 kton d.s. aan zeeslib binnen en de bagger- en stort- of bergingskosten hiervoor bedragen $4114 \cdot 10^3 \times f \cdot 3,90 = 16,04$ Mfl. Dat is slechts 0,72 Mfl meer dan bij storten op Loswal Noord-West alleen.

De kostenbesparingen op het zand en het rivierslib zijn dezelfde als in § 7.2, nl. $1,62 + 0,45 = 2,07$ Mfl.

Er is dus in het geval van hoge bodemretentie van baggerslib een netto kostenbesparing door getijafhankelijk storten van $2,07 - 0,72 = 1,35$ Mfl per jaar.

Of het getijafhankelijk storten van baggerspecie een netto kostenbesparing oplevert, hangt af van de mate van retentie van gestort baggerslib in de zeebodem.

Bij een bodemretentie van slib van 16 % is er een kostentoename van 3,1 Mfl per jaar.

Bij een bodemretentie van slib van 58 % is er een kostenafname van bijna 1,4 Mfl per jaar.

Het verdient dus aanbeveling om de retentie van baggerspecie in de zeebodem rond Loswal Noord-West te monitoren teneinde een nauwkeuriger schatting van het retourpercentage vanaf Loswal Noord-West te kunnen maken.

7.4 Keuze stortlocatie afhankelijk van getij, wind en Rijnafoer

In tabel 6.1 was te zien, dat het retourpercentage sterk afhangt van de wind (na het storten) en de saliniteitsverdeling rond de loswal. Deze laatste is weer afhankelijk van de Rijnafoer in de voorafgaande week.

Om de meest (kosten)gunstige stortlocatie te bepalen kan er gebruik gemaakt worden van informatie over recente Rijngebieden en de voorspelling van de windrichting. Deze zouden dan verwerkt moeten worden in een tabel met retourpercentages. Hierin zijn alle denkbare stortsituaties ingedeeld in een beperkt aantal klassen wat betreft afvoer en meteo. Voor iedere klasse is dan een retourpercentage gegeven, voor ieder van de beide loswallen.

Hieronder wordt een voorbeeld gegeven van zo'n tabel, waarbij de retourpercentages (3) voor gesuspendeerd slib door interpolatie en extrapolatie van de tabellen 5.1 en 6.1 zijn bepaald.

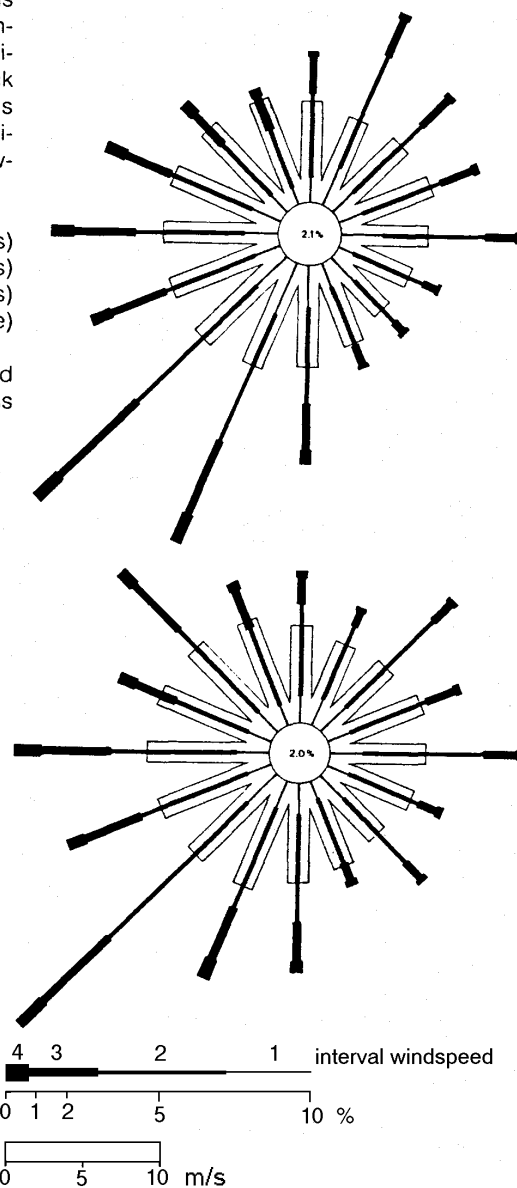
Tabel 7.4.1 Retourpercentages (3) van baggerslib in suspensie en als percentage (1) van de gestorte hoeveelheid specie voor diverse situaties voor Loswal Noord-West. Bodemretentie van slib is 16 % (2).

	Afvoer m ³ /s	Wind m/s	windrichting (360° is alle richtingen)	retour (3) eb	retour(3) vloed	retour (1) eb	retour (1) vloed
1	1500	9	ZW	4	0	2	0
2	2200	9	ZW	16	0	8	0
3	3500	9	ZW	30	0	15	0
4	1500	4,5	360°	16	0	8	0
5	2200	4,5	360°	65	0	31	0
6	3500	4,5	360°	100	30	48	15
7	0 - 10000	18 - 4,5	ZW	0	0	0	0
8	0 - 10000	18 - 4,5	NW	100	20	48	10

Wind roses, composed from hourly observations at the light vessels Noordhinder and Texel (positions 51.6 N, 2.5 E and 53.0 N, 4.3 E, respectively) show the distribution of the wind speed and direction at the two locations over the period 1951-1981. The number in the center circle indicates the frequency of calm conditions (0 Beaufort, i.e. 0.2 m/s and less). For a black line emanating from the center circle its length is proportional to the frequency of wind from that direction. The lines were decomposed in the following intervals according to wind speed:

- 1 1 and 2 Beaufort (0.3 - 3.3 m/s)
- 2 3 and 4 Beaufort (3.4 - 7.9 m/s)
- 3 5 and 6 Beaufort (8.0 - 13.8 m/s)
- 4 7 - 12 Beaufort (13.9 m/s and more)

The wind roses show the average wind speed (at 10 m above sea level) for each of 16 compass points over the same period (1951-1981).



Figuur 12
Statistiek van wind gemeten op de lichtschepen Noord-Hinder en Texel

Tabel 7.4.2 Retourpercentages (3) van gesuspendeerd slib en als percentage (1) van de gestorte hoeveelheid specie voor diverse situaties voor Loswal Noord. Bodemretentie van slib is 16 % (2). Retourpercentage van zand is in principe 40% van het zand dat bij eb wordt gestort.

	Afvoer m ³ /s	Wind m/s	windrichting (360° is alle richtingen)	retour (3) eb	retour(3) vloed	retour (1) eb	retour (1) vloed
1	1500	9	ZW	6	3	20	1
2	2200	9	ZW	25	13	29	6
3	3500	9	ZW	47	24	40	11
4	1500	4,5	360°	25	13	29	6
5	2200	4,5	360°	100	57	65	27
6	3500	4,5	360°	100	100	65	48
7	0 - 10000	18	ZW	0	0	0	0
8	0 - 10000	18	NW	100	100	65	48

In tabel 7.4.2 staan de geïnterpoleerde en geëxtrapoleerde retourpercentages voor Loswal Noord, uitgaande van tabel 5.1. De gehanteerde rekenregels zijn : Bij wind 9 m/s ZW is het retourpercentage (3) 4 x zo klein als bij wind 4,5 m/s ZW.

Retour% (3) bij afvoer 1500 m³/s is 4 x zo klein als bij afvoer 2200 m³/s.

Retour% (3) bij afvoer 3500 m³/s is 2 x zo groot als bij afvoer 2200 m³/s.

Retour% (3) na vloedkentering is 2 x zo klein als retour na ebkentering, maar alleen in de situaties 1 - 4.

Het totale retourpercentage (1) bij eb wordt berekend uit het retourpercentage (3) voor slib bij eb, door het te vermenigvuldigen met 0,48 (= 0,57 x 0,84) en er 17 % voor het retourtransport van zand bij op te tellen (43% zand, waarvan 40% met de ebstroom retour stroomt).

De kosten voor verwijdering van een ton d.s. zeeslib volgens de huidige praktijk (alle klasse I specie naar Loswal Noord-West) zijn f 4,40. De reductie in vaarkosten bij storting op Loswal Noord is fl 1,00 per ton d.s. Er is dan wel meer retourtransport, zeg X ton meer per ton gestorte specie. Als deze X ton weer wordt opgebaggerd en naar Loswal Noord-West wordt gebracht zijn de extra kosten hiervoor X x 4,40 (zie tabel 7.1.2). Van deze X ton stroomt gemiddeld 13 % (zie § 6.2) weer retour. Dat wordt weer opgebaggerd en weer gestort. Kosten 0,13 x X x 4,40

Hiervan stroomt weer 13 % retour. Kosten (0,13)² x X x 4,40 , etc.

De extra kosten voor het extra retourtransport komen zo op 1,15 x 4,40 x X = f 5,06 x X per ton d.s. gestort op Loswal Noord.

Als X = 0,20, dus het extra retourpercentage is 20 % (1), dan zijn de extra hieraan verbonden kosten 0,20 x 5,06 = f 1,01. In dat geval zijn de uiteindelijke kosten voor storten op Loswal Noord bijna dezelfde als voor storten op Loswal Noord-West.

Als het extra retourpercentage kleiner is dan 20 % (1), dan is het voordeliger om op Loswal Noord te storten.

Tabel 7.4.3 Verschil in retourpercentages (1) tussen Loswal Noord en Loswal Noord-West voor diverse situaties. Bodemretentie van slib is 16 % (2).

	Afvoer m ³ /s	Wind m/s	windrichting (360° is alle richtingen)	retour (1) eb	retour (1) vloed
1	1500	9	ZW	18	1
2	2200	9	ZW	21	6
3	3500	9	ZW	25	11
4	1500	4,5	360°	21	6
5	2200	4,5	360°	34	27
6	3500	4,5	360°	17	33
7	0 - 10000	18	ZW	0	0
8	0 - 10000	18	NW	17	38

In tabel 7.4.3 is voor een aantal situaties het extra retourtransport vanaf Loswal Noord gegeven. Volgens deze tabel is het in een aantal gevallen (vetgedrukte cijfers) voordeliger om op Loswal Noord te storten, maar niet in de standaard jaargemiddelde situatie (5).

De winst die te behalen is door storten rond ebkentering is in een aantal gevallen marginaal. Niet echter als er stormachtige ZW of NW wind wordt verwacht.

Bij deze conclusies wordt uitgegaan van het lage retentiepercentage (16 %) voor slib in de zeebodem.

Storten rond vloedkentering is voordeliger op Loswal Noord bij zuid-westen wind met snelheden hoger dan 8 m/s en bij lage rivierafvoeren.

7.5 Schatting kostenreductie bij gedifferentieerd storten

Uit figuur 12 valt op te maken, dat gedurende 10 % van de tijd de wind uit het zuid-west kwadrant waait met een snelheid groter dan 8 m/s.

Een rivierafvoer kleiner dan 1700 m³/s komt gedurende 30 % van de tijd voor. Als in deze situaties rond vloedkentering op Loswal Noord wordt gestort is het extra retourpercentage gemiddeld 6 % (zie tabel 7.3) en de extra kosten voor (eventueel herhaald) opbaggeren en storten bedragen 6,9 % van het nominale bedrag. De kostenreductie per ton is dan $f 1,00 - 0,069 \times f 5,06 = f 0,65$. Het gaat hier om storten rond vloedkentering in 40 % van de tijd, dus om 20 % van de jaarhoeveelheid baggerspecie.

De mogelijke kostenreductie door in de vloedsituaties 1 t/m 4 op Loswal Noord te storten is dus $0,2 \times 7534 \times 10^3 \times 0,65 = 1$ Mfl per jaar.

In situatie 7 (stormachtige ZW wind) is het retourtransport 0 % en de kostenreductie door storten op Loswal Noord is dan f 1,00 per ton. Deze situatie komt gedurende 3,4% van de tijd voor en geldt jaarlijks voor $0,034 \times 7534 \times 10^3 = 256.256$ ton d.s. De kostenreductie door storten op Loswal Noord bij stormachtige ZW wind is dus ongeveer 0,25 Mfl per jaar.

De totale mogelijke kostenreductie door gedifferentieerd te storten op Loswal Noord is 1,25 Mfl per jaar.

Hierbij is uitgegaan van een bodemretentie van slib van 16 %. Als dit voor Loswal Noord een hoger percentage is, dan valt de kostenreductie hoger uit, omdat dan in veel meer gevallen het verschil tussen de retourpercentages vanaf

Loswal Noord en Loswal Noord-West lager is dan 20% en er dus vaker op Loswal Noord gestort kan worden.

Door afhankelijk van wind en rivierafvoer op Loswal Noord of op Loswal Noord-West te storten kan er een jaarlijkse kostenreductie bereikt worden van 1,25 Mfl.

7.6 Keuze stortlocatie afhankelijk van zandgehalte van de specie.

Specie uit vak G (zie fig. 1) bestaat hoofdzakelijk uit zand. Als deze specie naar Loswal Noord wordt gebracht, bedragen de bagger- en vaarkosten f 2,00 per ton d.s. Het geschatte retourtransport vanaf Loswal Noord voor zand is jaargemiddeld 20%.

Als de kosten voor het herhaald baggeren als gevolg van retourtransport worden opgeteld bij die f 2,00 komt men op een bedrag van f 2,50 per ton d.s. De kosten voor baggeren en storten van zand uit vak G op Loswal Noord-West bedragen f 3,00 per ton. Hiervandaan is geen retourtransport van zand. De uiteindelijke kosten voor het storten van zand zijn dus hoger voor Loswal Noord-West.

De kostenreductie als gevolg van het storten van zand op Loswal Noord kan dus f 0,50 per ton bedragen.

Het gaat hierbij om 1 à 2 10^6 ton d.s. per jaar, dus een besparing in de orde van 0,5 à 1 Mfl per jaar is in principe mogelijk.

Ook als de slibfractie van de specie 20% is, is er nog een besparing mogelijk door het storten op Loswal Noord. Uit de tabellen 5.1 en 6.1 valt te berekenen, dat in dat geval het extra retourtransport vanaf Loswal Noord 16% (1) voor zand en 8 % (1) voor slib is.

De extra kosten, die hiervan het gevolg zijn, bedragen $0,16 \times 2,50 + 0,08 \times 5,06 = f 0,80$ per ton. Er is dus nog steeds een besparing van f 0,20 per ton. Het break even point is bereikt bij een slibgehalte van de specie van afgerond 40 %. In dat geval zijn de uiteindelijke kosten voor storten op Loswal Noord dezelfde als voor Loswal Noord-West.

Door zandrijke (> 60% zand) specievrachten op Loswal Noord te storten in plaats van op Loswal Noord-West is er een kostenreductie mogelijk van 0,5 à 1 Mfl per jaar.

Bij deze berekening is ervan uitgegaan, dat in de referentiesituatie de zeer zandrijke vrachten uit vak G niet als suppletiezand worden gebruikt.

7.7 Verdiepte loswal

Als zandrijke specievrachten op een verdiepte loswal worden gestort is er vandaar geen retourtransport van zand en de besparing bedraagt f 1,00 per ton zand. Voor specievrachten met een slibgehalte tot 60 % is het dan voordeliger om op de verdiepte loswal te storten, ervan uitgaande, dat het retourtransport van slib vanaf een verdiepte loswal hetzelfde is als voor Loswal Noord.

De bijbehorende kostenbesparing is dan 1 à 2 Mfl per jaar, ervanuitgaande, dat in de referentiesituatie geen specie als suppletiezand wordt gebruikt.

Indien het retourtransport van slib vanaf de verdiepte loswal minder is dan vanaf Loswal Noord, wat waarschijnlijk is, dan is het getijafhankelijk storten op de verdiepte loswal en op Loswal Noord-West voordeliger. In principe is dit al zo als het retourtransport (1) vanaf de verdiepte loswal kleiner is dan 20 %.

De bijbehorende kostenreductie is dan minimaal 1,5 Mfl.

8 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

Op grond van 3D model berekeningsresultaten en na het doen van een aantal aannamen, vooral ten aanzien van de retentie van slib in de zeebodem, kan het volgende worden geconcludeerd :

- Het jaargemiddelde retourtransport vanaf Loswal Noord wordt geschat op **44 % +/- 22 %** punt van de totaal gestorte hoeveelheid specie, gerekend in tonnen droge stof.
- Het jaargemiddelde retourtransport vanaf Loswal Noord-West wordt geschat op **13 % +/- 6,5 %** punt.
- Ten gevolge van de variatie in wind varieert het jaargemiddelde van het retourpercentage vanaf Loswal Noord-West tussen **7** en **19 %** .
- Ten gevolge van de variatie in de rivierafvoer varieert het jaargemiddelde retourtransport vanaf Loswal Noord-West tussen de **8** en de **18 %**.
- Ten gevolge van onzekerheden omtrent de modelaannamen is er een onzekerheidsmarge rond het modelmatig geschatte retourpercentage van (relatief) **50 %** , (onafhankelijk van de variatie ten gevolge van de variatie van wind en rivierafvoer).
- Of het getijafhankelijk storten van baggerspecie een netto kostenbesparing oplevert, hangt af van de mate van retentie van gestort baggerslib in de zeebodem.
Bij een bodemretentie van **16 %** van het gestorte slib is er een **kostentoeename** van **3,1 Mfl** per jaar.
Bij een bodemretentie van **58 %** van het gestorte slib is er een **kostenafname** van **1,4 Mfl** per jaar.
- Storten rond vloedkentering bij zuid-westen wind met snelheden hoger dan **8 m/s** en bij lage rivierafvoeren is voordeliger op Loswal Noord. Storten rond ebkentering is in het algemeen voordeliger op Loswal Noord-West.
Dit geldt reeds bij de aanname van het lage percentage (**16 %**) bodemretentie. Bij een hoger percentage bodemretentie op Loswal Noord is het in meer situaties voordeliger om op Loswal Noord te storten.
- Door afhankelijk van wind en rivierafvoer op Loswal Noord of op Loswal Noord-West te storten kan er een jaarlijkse **kostenreductie** bereikt worden van **1,25 Mfl**.
Per situatie moet dan een beslissingstabel geraadpleegd worden.

-
- Door zandrijke (> 60% zand) specievrachten op Loswal Noord te storten is er een kostenreductie mogelijk van **0,5 à 1 Mfl** per jaar, afhankelijk van de hoeveelheid specie, die er in de referentiesituatie voor suppletiedoeleinden wordt gebruikt.
 - Door zandrijke vrachten op een verdiepte loswal te storten is er een kostenreductie mogelijk van **1 à 2 Mfl** per jaar, afhankelijk van de hoeveelheid specie, die er in de referentiesituatie voor suppletiedoeleinden wordt gebruikt.

Aanbevelingen

- Het verdient aanbeveling om door middel van het regelmatig analyseren van de bodemsamenstelling rond Loswal Noord-West de retentie van baggerspecie in de zeebodem te monitoren. Dit gegeven is de belangrijkste ontbrekende schakel bij de bepaling van het retourpercentage vanaf Loswal Noord-West.
- Als er resuspensie vanuit de zeebodem plaatsvindt is het belangrijk om te weten of dit eerder bij noordwesten wind of bij zuidwesten wind optreedt. Dit zou onderzocht moeten worden.
- Het verdient aanbeveling om voor iedere individuele vracht baggerspecie de keuze van de stortlokatie (Loswal Noord-West, verdiepte loswal of eventueel Loswal Noord) te laten afhangen van de voorspelde wind, de recente rivierafvoer, het zandgehalte van de specie en de getijfase in die specifieke situatie. Men zou dan een tabel of een beslissingsondersteunend systeem kunnen raadplegen, dat aangeeft welke loswal op dat moment het meest kostenefficiënt is. Met behulp van berekende en nog te berekenen effecten van wind, saliniteitsverdeling en getij en met behulp van de actuele vaar- en baggerkosten kan zo'n tabel of systeem gedefinieerd worden.

Literatuurverwijzingen

Een nieuwe Loswal -Noord voor het lossen van baggerspecie in zee? - Milieueffectrapport. DZH/GHR, 1995

De Kok, J.M., Lourens, J.M., J.H.M. de Ruig - Baggerspecie, van Waterweg tot Waddenzee. DGW-92.030. RIKZ/DGW, 1992.

Van der Gouwe, J. Inventarisatie maatregelen reductie onderhoudsbaggerkosten in de Maasgeul en Maasmond. NZ-N-90.03. DNZ, 1990.

De Kok, J.M. - Verspreiding van slib vanuit putten in zee. GWAO-91.10142. RIKZ/DGW, 1991.

De Kok, J.M. - Slibtransport rond Loswal Noord. GWAO-91.002. RIKZ/DGW, 1991.

De Kok, J.M. , R.M. Salden - Drie-dimensionale modellering van het transport van zwevend stof in de Nederlandse kustwateren. RIKZ-95.019. RIKZ, 1995.

De Kok, J.M. - Effecten van de aanleg van een tweede Maasvlakte op de aanslibbing in de Maasmond. RIKZ-99.013. RIKZ, 1999.

De Kok, J.M. - Slibtransport rond de Maasmond. Resultaten van het Siltman onderzoek. RIKZ-rapport 2000.027.

Aardoom, J. - Slibverspreidingsmodel SLIB3D. Resultaten van modelruns. RIKZ/Aqua Vision BV., 1999, 2000, 2001.

De Kok, J.M., R.Salden, I.Rozendaal, P.Blokland, J.Lander (1995) - Transport paths of suspended matter along the Dutch coast. In:*Computer Modelling of seas and Coastal Regions*, pp 75-86. Eds.C.Brebbia,L.Traversoni,L.Wrobel. Computational Mechanics Publications. Southampton.

De Kok, J.M. and A. van der Meulen - A silt supply model for the Rotterdam harbour entrance. In:*Computer Modelling of seas and Coastal Regions*, pp 401-413. Eds.J.Acinas, C.Brebbia. Computational Mechanics Publications. Southampton, 1997.

Van der Meulen, A. , de Kok, J.M. and Z.B. Wang - Modelling the siltation in the Rotterdam harbour area. Proceedings Oceans'98, 21-25 sept. Nice, pp 1531-1535.

De Kok, J.M. – Effecten van het invoeren van het spuiregime “getemd getij” op de slibhuishouding in de Haringvlietmond en in het Maasmondgebied. RIKZ/OS/2000.107, 2000.

De Ruijter,W.P.M., Postma, L. and J.M. de Kok - Transport Atlas of the Southern North Sea. RIKZ/DGW/WL, 1990.

Stutterheim, S. – Bagger vaart een stukje verder. AB-99.132x. RIKZ, 1999

Stutterheim, S. – Retourpercentage vanaf Loswal Noord-West. In prep. RIKZ, 2002.

Verlaan, P. en R. Spanhoff – In situ procesonderzoek aan slibtransporten met duurmetingen bij de zeebodem. IMAU R92-1, R9202, 1992.

Wang, Z.B., Winterwerp, J.C., Eysink, W.D., Bosboom, J. and D. Hoornstra – Kleinschalig aanslibbingsonderzoek Maasvlakte2. WL-rapport Z2296, 1999.

de Kok, J.M., A. van der Meulen, Z.B. Wang and M. Schroevers - Effects of possible land reclamation projects on siltation in the Rotterdam harbour area. A model study. In : *Coastal Engineering and Marina Developments*, 131-141. WIT, 1999.

Winterwerp, J.C., R.E. Uittenbogaard, J.M. de Kok - Rapid siltation from saturated mud suspensions, Proceedings of the 5th International Conference on Nearshore and Estuarine Cohesive Sediment Transport, INTERCOH'98, *Proceedings in Marine Science No 3, Coastal and Estuarine Fine Sediment Processes*, ed. W.H. McAnally and A.J. Mehta, Elsevier, Amsterdam, pp 125-146, 2001.

Boon, J.G. en T. van Kessel – Effecten van landaanwinning Maasvlakte 2 op het slibtransport langs de Nederlandse kust. WL-Z3215, 2001.

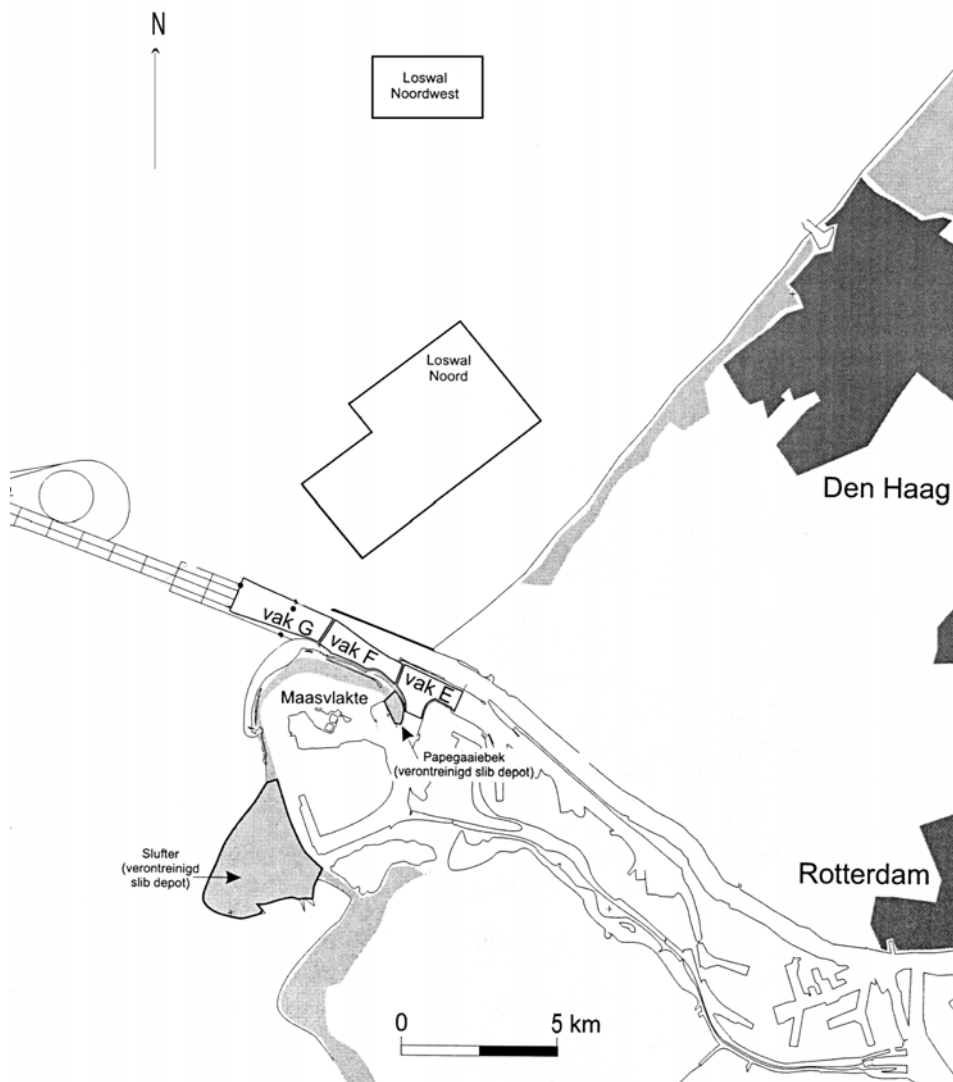
GHR/Ingenieursbureau Havenwerken – Slibbalans voor Rotterdamse havens en rivieren. Rapport 103.00-R8808, GWR, 1988.

Collard, E. – TRIWAQ berekeningen Loswal Noord-West. Rapport 01282/1174, Svasek, 2001.

de Kok, J.M. – The influence of fresh water distribution on SPM transport in the Dutch coastal zone. In : *Fine Sediment Dynamics in the Marine Environment*, 563-576. Elsevier, 2002.

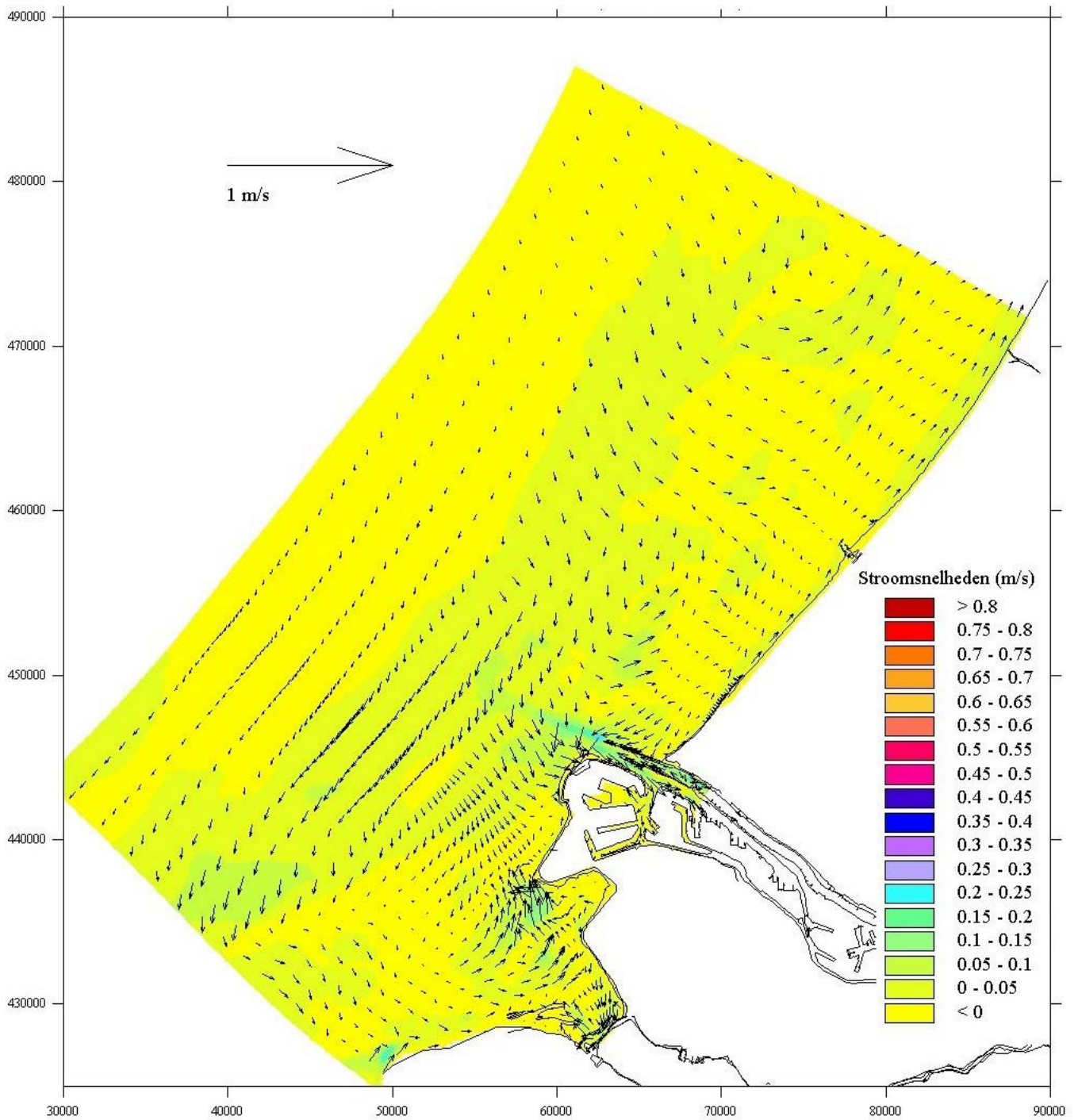
FIGUREN 1 t/m 7

.....



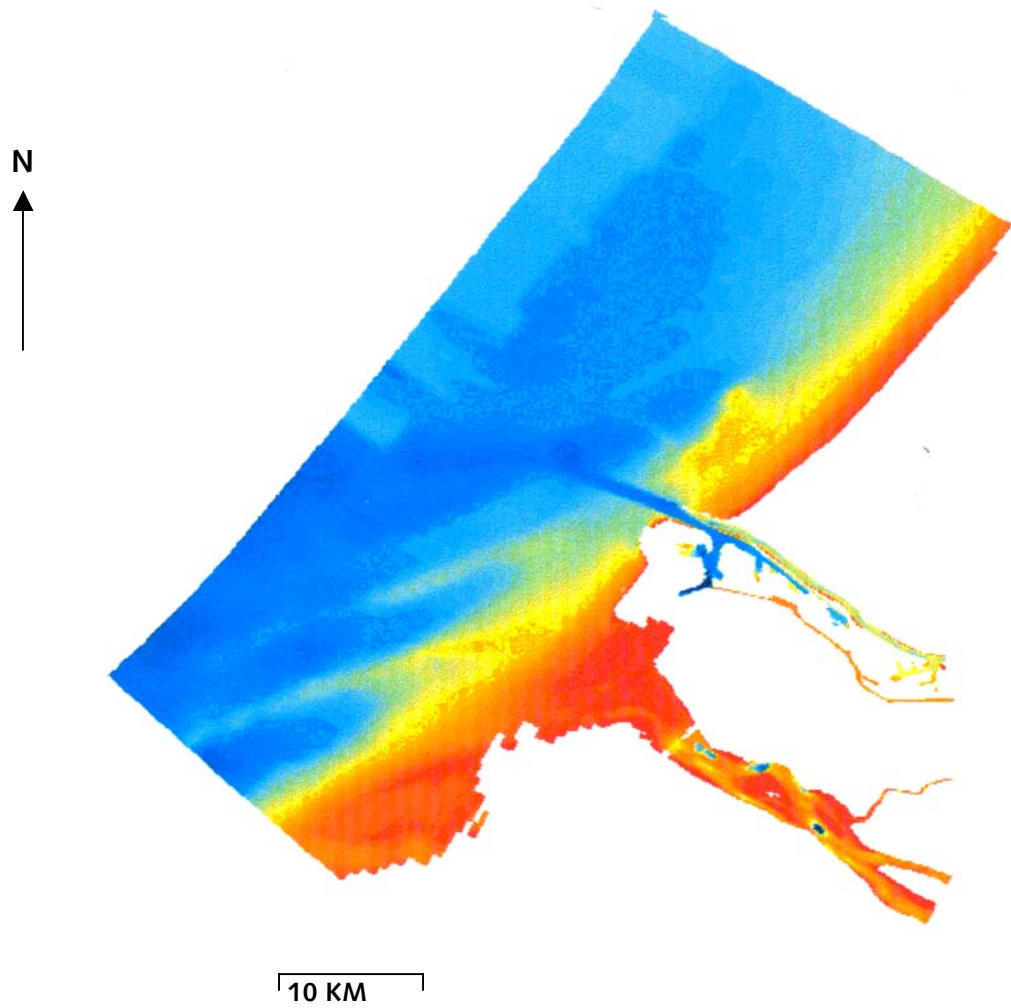
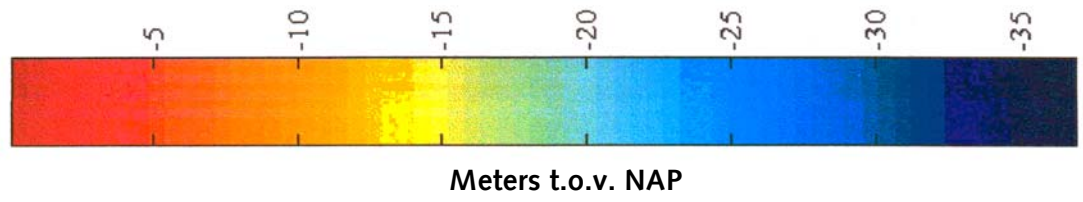
Figuur 1

Het Maasmondgebied en de beide loswallen.
De eigenlijke "Maasmond" bestaat uit vak F

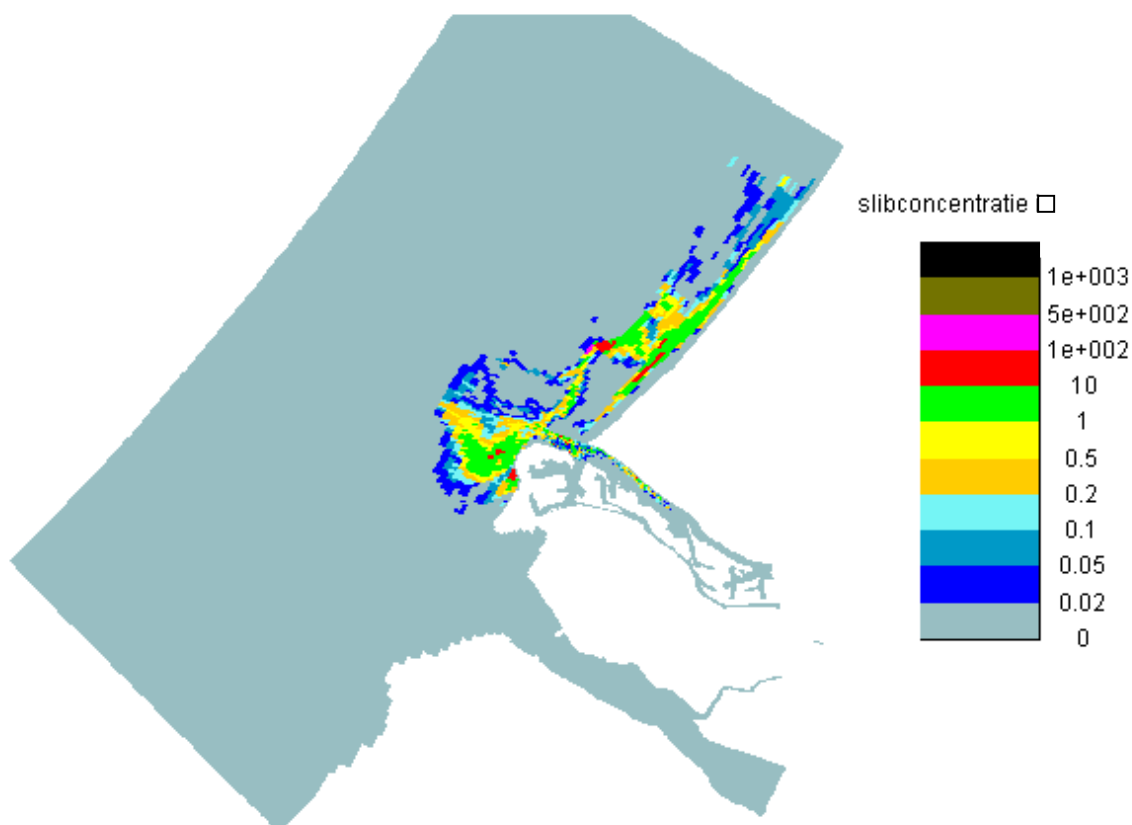


Figuur 2

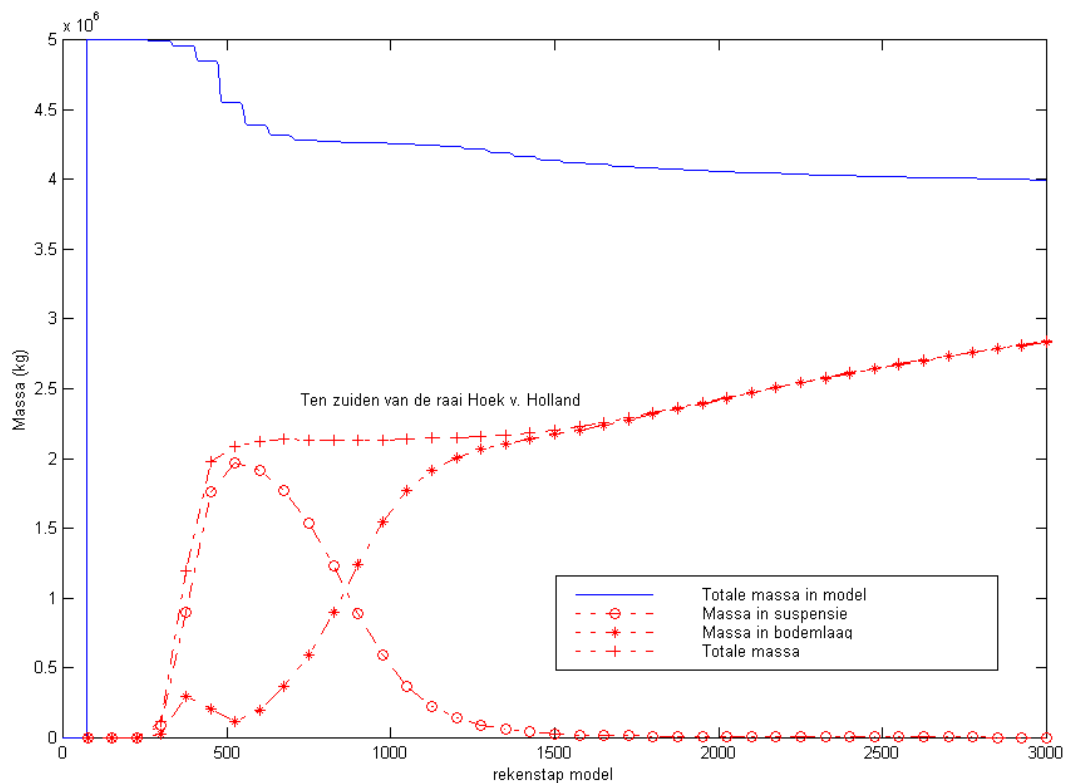
Berekende restsnelheidsvectoren bij de bodem bij een rivierafvoer van $1500 \text{ m}^3/\text{s}$



.....
Figuur 3
Bodemdiepten in het RIJMAMO model

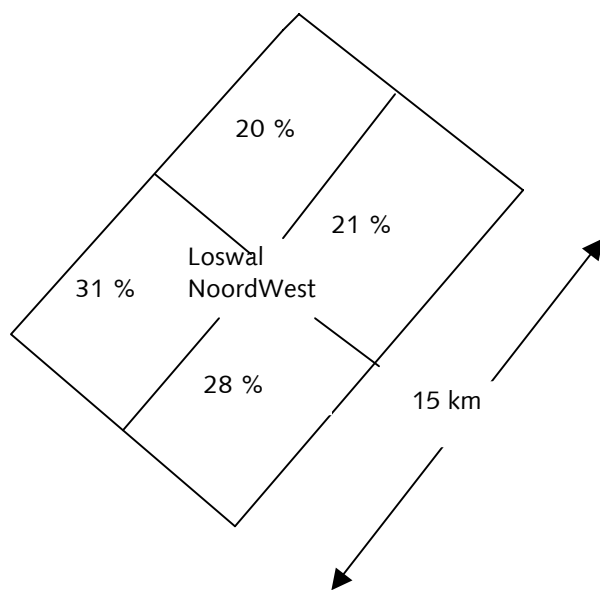


Figuur 4
 Berekend verspreidingspatroon van baggerslib, 3 dagen nadat het op Loswal Noord tijdens vloedkentering is gestort. Jaargemiddelde wind en rivierafvoer (berekening a1).



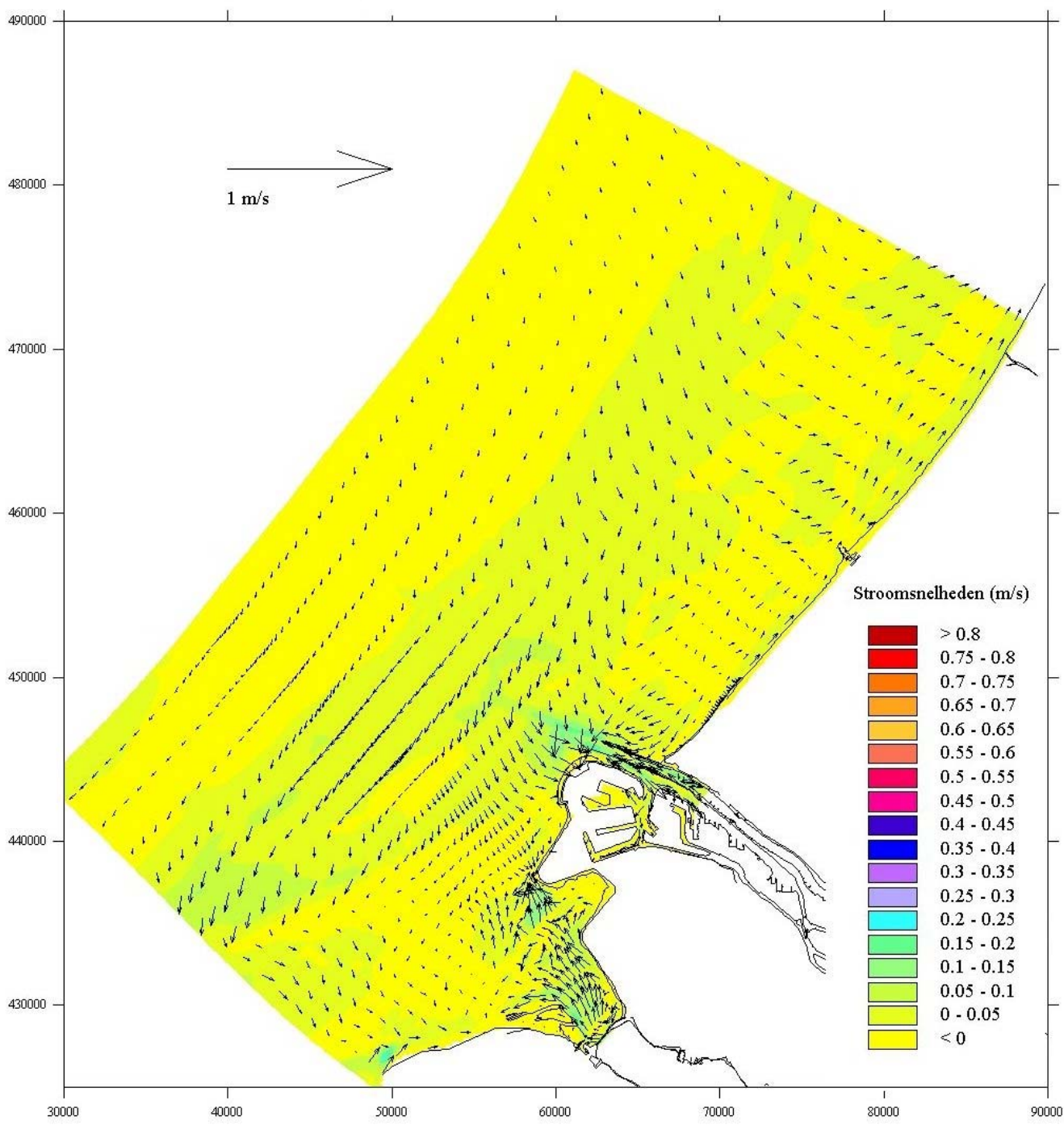
Figuur 5

Massa baggerslib in het model ten zuiden van de raai Hoek van Holland (rood) gedurende 20,8 dagen na een storting van $5 \cdot 10^6$ kg op Loswal Noord. Berekening a1. 1 rekenstap is 10 minuten. De "raai Hoek van Holland" is de noordelijke begrenzing van de Nieuwe Waterweg en de Maasgeul.



Figuur 6

Waargenomen verdeling van baggerslib in het survey gebied



Figuur 7
 Berekende restsnelheden bij de bodem bij een rivierafvoer van 3500 m³/s