

Zandbalans Loswal Noord

De netto bijdrage van Loswal Noord aan de
zandvoorraad van het Nederlands kustfundament

17 maart 2006

Zandbalans Loswal Noord

De netto bijdrage van Loswal Noord aan de
zandvoorraad van het Nederlands kustfundament

17 maart 2006

M.J. Slee

Voorwoord

Onderhavig rapport is het resultaat van mijn afstudeeronderzoek aan de faculteit Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft. Het onderzoek is uitgevoerd aan het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

Het afstudeeronderzoek is beleid door de afstudeercommissie bestaande uit:

prof. dr. ir. M.J.F. Stive
ir. G.J. de Boer
ir. J.G. de Ronde
ir. G. Nederbragt

Mijn dank gaat uit naar de afstudeercommissie voor een vruchtbare en voorspoedige samenwerking. Graag wil ik ook degenen naast de afstudeercommissie bedanken, die me inhoudelijk of sociaal hebben gesteund tijdens mijn afstudeerperiode, in het speciaal: Sandeh (RIKZ), Johan de Kok (RIKZ), Ruud Spanhoff (RIKZ), Anneke Slee en Esmee Bais.

Mattijs Johan Slee
Den Haag, 17 maart 2006

Management samenvatting

De vaargeul en haven van Rotterdam worden constant gebaggerd om een nautische diepte te handhaven. De baggerspecie van verdiepings- en onderhoudsbaggerwerkzaamheden is van 1964 tot 1996 op Loswal Noord gedumpt, een stortplaats ten noorden van de Maasgeul. Na 1996 werd de baggerspecie op Loswal Noordwest gestort en in 2000 is ook de Verdiepte Loswal in gebruik genomen.

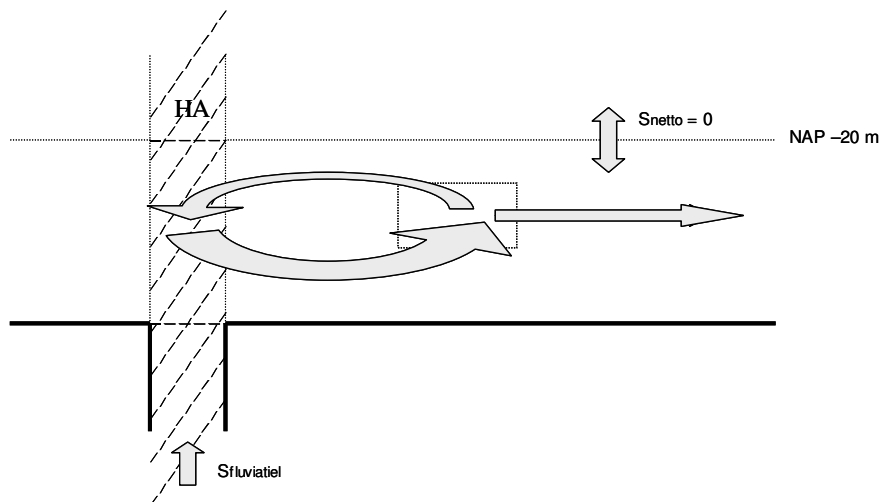


Figuur 0-1: locatie Loswal Noord, Loswal Noordwest en de Verdiepte Loswal voor de Zuid Hollandse kust

Loswal Noord ligt binnen het Nederlands kustfundament, dat zich uitstrekt van duinpartij tot -20 NAP m, waarbinnen de zandvoorraad op peil wordt gehouden om op middellange termijn de kustverdediging van zand te voorzien.

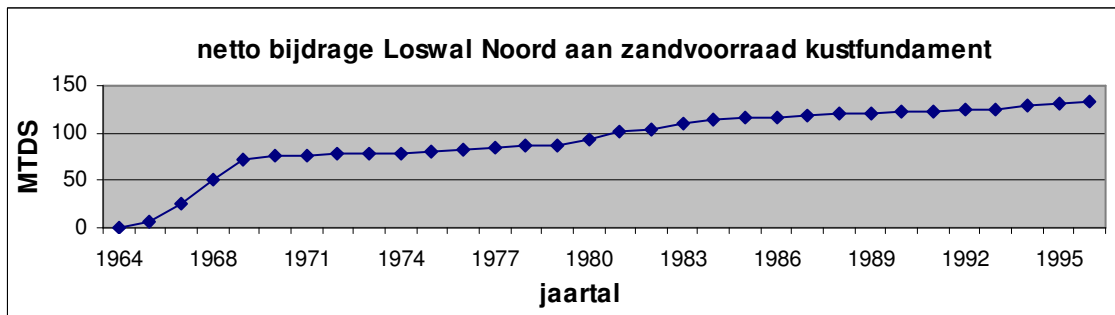
De doelstelling van dit onderzoek is het analyseren van de netto bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het Nederlands kustfundament.

De zandfractie van de stortmassa, de zandvoorraad en de zandemissie van Loswal Noord zijn van 1964 tot 1996 gevangen in een gesloten zandsysteem in het kustfundament, zie Figuur 0-2.



Figuur 0-2: schematische voorstelling gesloten zandsysteem Loswal Noord in het kustfundament van 1964 tot 1996 (natuurlijk langstransport is in de figuur niet opgenomen)

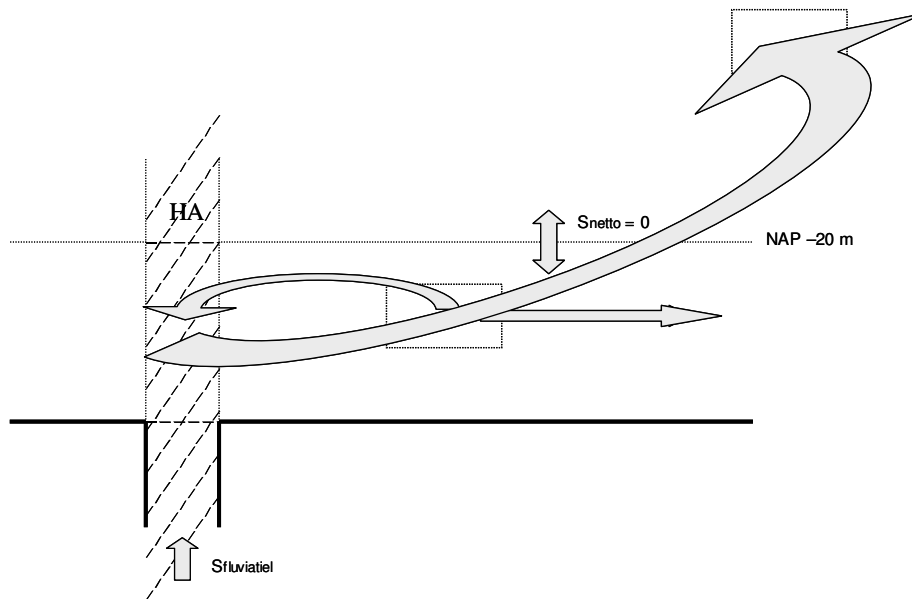
De netto bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het kustfundament wordt in het gesloten zandsysteem bepaald door zand van verdieplingsbaggerwerkzaamheden (gearceerde gebied in Figuur 0-2), van onderhoudsbaggerwerkzaamheden in zuigvak HA en zand van fluviatiele afvoer.



Grafiek 0-1: netto bijdrage Loswal Noord aan de zandvoorraad van het Nederlands kustfundament in Miljoen Ton Droge Stof (MTDS)

In 1996 is de bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het kustfundament 132,4 MTDS of 82,8 Mm³ zand in-situ, Grafiek 0-1.

Na 1996 wordt de baggerspecie van de vaargeul en haven van Rotterdam op Loswal Noordwest gestort, een stortplaats buiten het kustfundament, zie Figuur 0-1. De zandemissie van Loswal Noord in zuidelijke richting na 1996 verdwijnt dus uit het kustfundament, zie Figuur 0-3.



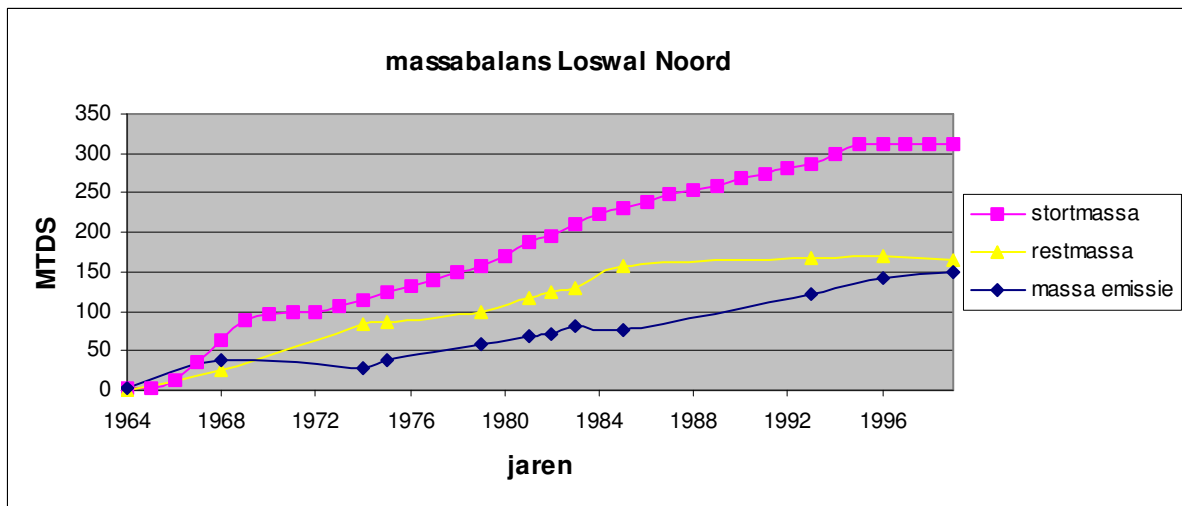
Figuur 0-3: schematische voorstelling open zandsysteem Loswal Noord in kustfundament na 1996 (natuurlijk langstransport is in de figuur niet opgenomen)

Om de bijdrage van Loswal Noord aan het kustfundament na 1996 te kunnen bepalen moet de relatieve verdeling van de zandemissie van Loswal Noord in noordelijke en zuidelijke richting langs de kust worden bepaald. Oftewel wat is het gedeelte van de zandvoorraad van Loswal Noord dat in 1996 ten behoeve van de zandvoorraad van het kustfundament over blijft?

De relatieve verdeling van de zandemissie van Loswal Noord in noordelijke en zuidelijke richting langs de kust is bepaald aan de hand van de asymmetrie van zandtransport door erosie van golven en stroming. In Van Rijn (1989) is zandtransport in suspensie en over de bodem door stroming als functie van constanten en de resultante bodemschuifspanning door golven en stroming

beschreven. De resultante van de bodemschuifspanning door golven en stroming zijn afzonderlijk bepaald en gecombineerd in een resultante bodemschuifspanning met formulering in Soulsby (1997). De relatieve verdeling van de zandemissie van Loswal Noord is 60 % in noordelijke en 40 % in zuidelijke richting langs de kust.

De zandemissie van Loswal Noord is van 1964 tot 1996 bepaald in een droge massabalans, zie Grafiek 0-2. In een droge massabalans is de stortmassa met de massaontwikkeling van Loswal Noord vergeleken en het verschil is toegeschreven aan massa-emissie. De zandfractie van de massa-emissie is herleid uit de samenstelling van stortmassa en restmassa van Loswal Noord.



Grafiek 0-2: massabalans Loswal Noord in Miljoen Ton Droge Stof (MTDS)

Gemiddeld over de periode 1964 tot 1996 bestaat de stortmassa uit 65 % zand en 35 % slib. De restmassa bestaat gemiddeld uit 82 % zand en 18 % slib.

In een 'steady state' periode van 1974 tot 1996 is een evenwicht opgetreden tussen de stortmassa en de massaontwikkeling van Loswal Noord. De massa-emissie in de 'steady state' periode is jaargemiddeld constant, gelijk aan 4,8 MTDS waarvan 2,5 MTDS slib en 2,3 MTDS zand. Van de zandemissie van Loswal Noord wordt 40 % richting het zuiden en 60 % richting het noorden getransporteerd. In de periode 1974 tot 1996 wordt dus jaargemiddeld 0,9 MTDS zand richting het zuiden getransporteerd en 1,4 MTDS zand gaat naar het noorden.

Na 1996 wordt er niet meer op Loswal Noord gestort en neemt de massa-emissie exponentieel af in de tijd. De samenstelling van de massa-emissie verandert na 1996 binnen enkele jaren naar een constante verhouding 82 % zand en 18 % slib. Over de snelheid waarmee de zandemissie zal afnemen kunnen geen eenduidige uitspraken worden gedaan, wel is aannemelijk dat het meer dan 100 jaar zal duren voordat Loswal Noord volledig is weggeërodeerd.

In 1996 is de zandvoorraad van Loswal Noord 140,3 MTDS, gelijk aan 82 % van de restmassa in, zie Grafiek 0-2. Na 1996 zal 60 % van de zandvoorraad van Loswal Noord aan het langtransport richting het noorden worden meegegeven en 40 % zal sedimenteren in de vaargeul en haven van Rotterdam. Indien Loswal Noordwest in gebruik blijft zal 40 % van de zandvoorraad van Loswal Noord in 1996 verloren gaan voor het kustfundament, gelijk aan 56,1 MTDS zand.

De netto bijdrage aan de zandvoorraad van het kustfundament in 1996 is 132,4 MTDS, zie Grafiek 0-1. Wanneer Loswal Noord volledig is weggeërodeerd is de netto bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het kustfundament $132,4 - 56,1 = 76,3$ MTDS of $47,7 \text{ Mm}^3$ zand in-situ.

Het storten van baggerspecie op Loswal Noordwest is er debet aan dat er jaargemiddeld een geschatte netto bijdrage van ongeveer 1,8 MTDS zand aan de zandvoorraad van het kustfundament wordt misgelopen. De misgelopen netto bijdrage wordt bepaald door zand van verdiepingsbaggerwerkzaamheden, onderhoudsbaggerwerkzaamheden uit zuigvak HA en fluviaatiele afvoer. Het storten van baggerspecie van onderhoudsbaggerwerkzaamheden (behalve zuigvak HA) op Loswal Noordwest veroorzaakt echter ook een jaargemiddeld verlies van ongeveer 4,2 MTDS zand.

Jaarlijks wordt 12 Mm³ zand in-situ in het kustfundament gesuppleerd om de zandvoorraad op peil te houden. Samengevat veroorzaakt het storten van baggerspecie uit de vaargeul en haven van Rotterdam op Loswal Noordwest een jaarlijkse suppletie-inspanning van 6,0 MTDS of 3,8 Mm³ zand in-situ, gelijk aan 31 % van het huidig jaarlijkse suppletievolume.

Het is aanbevolen een draagvlak voor bewustwording te creëren omtrent de netto bijdrage middels het storten van baggerspecie aan de zandvoorraad van het kustfundament. Met nader onderzoek zou het huidig stortbeleid moeten worden herzien om een optimaal stortbeleid te creëren voor de korte tot middellange termijn.

De resultaten van onderhavig onderzoek moeten door een zekere mate van onzekerheid met enige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden.

- In de onderhavige studie bestaat er een zekere mate van onzekerheid in de stortgegevens. Er wordt aanbevolen om intergraal de zand en slibfracties van onderhoud en verdiepingsbaggerwerkzaamheden te registreren, zodat de bijdrage aan de zandvoorraad van het kustfundament gemeten kan worden.

Het volgende vervolgonderzoek wordt aanbevolen:

- De netto bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het kustfundament wordt mede bepaald door de verspreiding van de zandemissie van Loswal Noord. In onderhavige studie is in een eerste orde benadering slechts de relatieve verdeling van de zandemissie van Loswal Noord in noordelijke en zuidelijke richting langs de kust bepaald. In een morfologisch model zou de verspreiding van de zandemissie van Loswal Noord gedetailleerder geanalyseerd moeten worden.
- De bijdrage van Loswal Noord aan de kustverdediging wordt bepaald door de verspreiding van de zandvoorraad van Loswal Noord binnen het kustfundament naar de kust toe, dit is echter in onderhavige studie niet onderzocht. Om de bijdrage van Loswal Noord aan kustverdediging te kunnen bepalen zou de verspreiding van de zandvoorraad van Loswal Noord binnen het kustfundament met een morfologisch model geanalyseerd moeten worden.

Inhoudsopgave

.....
VOORWOORD	3
MANAGEMENT SAMENVATTING	4
1. INLEIDING	9
1.1 DEFINITIE AFSTUDEEROPDRACHT	9
1.2 LOSWAL NOORD.....	10
1.3 KUSTFUNDAMENT	10
1.4 PROBLEEMANALYSE	12
1.5 DOELSTELLING.....	13
1.6 PLAN VAN AANPAK.....	13
1.7 AANNAMEN EN UITGANGSPUNTEN.....	14
2. MASSABALANS LOSWAL NOORD	16
2.1 STORTVOLUME LOSWAL NOORD	16
2.2 STORTMASSA LOSWAL NOORD	17
2.3 VOLUMEONTWIKKELING LOSWAL NOORD.....	22
2.4 MASSAONTWIKKELING LOSWAL NOORD	25
2.5 MASSA-EMISSIE LOSWAL NOORD.....	30
2.6 FOUTENANALYSE MASSABALANS LOSWAL NOORD	34
2.7 VERSPREIDING VAN DE ZANDEMISSIE VAN LOSWAL NOORD	37
3. ZANDTRANSPORT VAN LOSWAL NOORD	39
3.1 INLEIDING.....	39
3.2 BEGIN VAN ZANDTRANSPORT.....	39
3.3 HYDRODYNAMICA.....	41
3.4 ZANDTRANSPORT FORMULERING.....	50
4. EVALUATIE VAN LITERATUUR	58
4.1 DE KOK (2002)	58
4.2 VAN HEUVEL (1988)	58
4.3 EVALUATIE	59
5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	63
5.1 CONCLUSIES	63
5.2 AANBEVELINGEN	66
6. LITERATUURLIJST	68
7. LIJST VAN FIGUREN, GRAFIEKEN EN TABELLEN	72
BIJLAGE A GROTE MORFOLOGISCHE INVLOEDEN IN DE PERIODE 1966 TOT 1996	75
BIJLAGE B KAARTEN EN PLOTS	77
BIJLAGE C BESCHRIJVING DIEPTEPUNTGEGEVENS	93
BIJLAGE D INTERPOLATIE VAN DIEPTEPUNTGEGEVENS	94
BIJLAGE E NAUWKEURIGHEID VAN VOLUMEBEREKENING	95
BIJLAGE F OPBOUW MASSABALANS	98
BIJLAGE G KORRELGROOTTE VERDELING EN ONTWIKKELING TOPLAAG LOSWAL NOORD, NOORDWEST EN REFERENTIE LOCATIES	99

1. Inleiding

Het Nederlandse kustbeleid is erop gericht om kustveiligheid op korte, midden en lange termijn te waarborgen. Het kustbeleid op korte termijn houdt in dat de kustverdediging sterk en hoog genoeg moet zijn om het achterland tegen overstromen te beschermen. Het kustbeleid op midden en lange termijn is erop gericht de kustverdediging te onderhouden en voor te bereiden op toekomstige hydraulische randvoorwaarden.

De Nederlandse overheid onderhoudt sinds 2000 niet alleen de kustverdediging, maar ook de fundering van de kustverdediging, het kustfundament genoemd, om kustveiligheid op midden en lange termijn te kunnen waarborgen. Binnen het aangewezen kustfundament ligt Loswal Noord, een stortplaats voor baggerspecie uit de vaargeul en haven van Rotterdam. Op Loswal Noord is van 1964 tot 1996 baggerspecie gestort en dat heeft een sedimentberg achtergelaten.

Het kustfundament wordt jaarlijks onderhouden door de zandvoorraad van het kustfundament op peil te houden. De zandvoorraad van het kustfundament wordt beïnvloed door antropogene zandtransporten (bagger/storten en zandwinning) en natuurlijke zandtransporten (rivieren/estuaria en Waddenzee). Het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) heeft een zandbalans van het kustfundament opgesteld, waarin de invloed van de zandtransporten op de zandvoorraad is geanalyseerd. In deze zandbalans is de bijdrage van de sedimentberg Loswal Noord aan de zandvoorraad van het kustfundament niet goed begrepen.

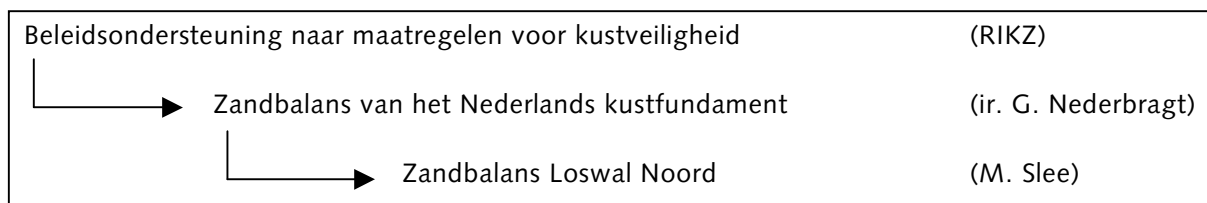
Leeswijzer

In de eerste paragraaf is de afstudeeropdracht gedefinieerd, waarna 'Loswal Noord' en het 'kustfundament' in paragraaf 1.2 en 1.3 worden beschreven. Paragraaf 1.4 geeft een probleemanalyse en in paragraaf 1.5 is de doelstelling van dit onderzoek gedefinieerd. Het plan van aanpak staat in paragraaf 1.6 en als laatste paragraaf van dit hoofdstuk worden de algemene aannamen en uitgangspunten beschreven.

1.1 Definitie afstudeeropdracht

De afstudeeropdracht is het reconstrueren van een zandbalans van Loswal Noord, waarin de netto bijdrage aan de zandvoorraad van het Nederlands kustfundament wordt bepaald.

De afstudeeropdracht wordt omvat in het volgende kader:



1.2 Loswal Noord

Loswal Noord is van 1964 tot 1996 de stortplaats voor baggerspecie uit de vaargeul en haven van Rotterdam. Loswal Noord ligt zo'n 3 km ten noorden van de Maasgeul, ongeveer 3 km uit de kust. In 1996 is Loswal Noord 'vol' bevonden en is uitgeweken naar Loswal Noordwest, zo'n 9 km noordelijk van Loswal Noord, en nog later naar de Verdiepte Loswal, zie Figuur 1-1.



Figuur 1-1: Loswal Noord, Verdiepte Loswal en Loswal Noordwest, bron: "MER (1995)"

De baggerspecie, die op Loswal Noord is gestort, is afkomstig van onderhouds- en verdiepingsbaggerwerkzaamheden uit de vaargeul en haven van Rotterdam en bestaat uit slib en zand.

1.3 Kustfundament

Definitie kustfundament¹: *"Het kustfundament omvat het gehele zandgebied, nat én droog, dat als geheel van belang is als drager van functies in het kustgebied".*

Het kustfundament als drager van de functie van 'het beschermen van het achterland tegen overstromen van het kustgebied' is in deze studie in relatie met Loswal Noord relevant.

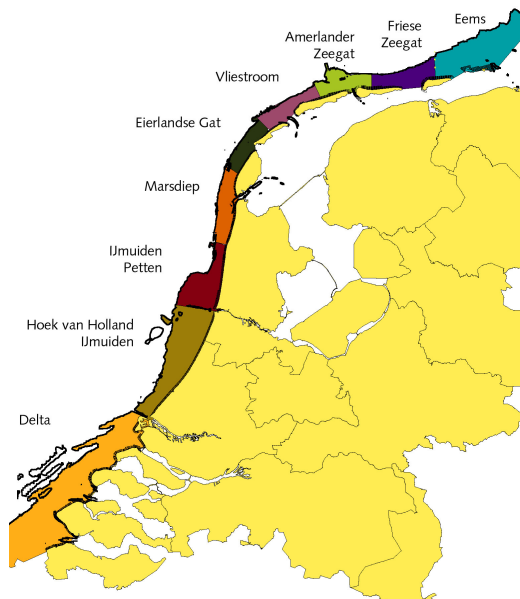
Begrenzing kustfundament²: *"Het kustfundament wordt zeewaarts begrensd door de doorgaande -20 m NAP (Normaal Amsterdams Peil). Landwaarts omvat het kustfundament alle duingebieden én alle daarop gelegen harde zeeweringen. Bij smalle duinen en dijken valt de grens landwaarts samen met de grens van de waterkering uitgebreid met de ruimtereservering voor tweehonderd jaar zeespiegelstijging en omvat daar waar de duinen breder zijn dan de waterkering het gehele duingebied".*

De doorgaande -20 m NAP lijn is gekozen als begrenzing van het kustfundament zeewaarts, aangezien er is aangenomen dat het netto zandtransport over deze denkbeeldige lijn verwaarloosbaar is. Een zelfde veronderstelling kan worden gemaakt voor de begrenzing van het kustfundament landwaarts.

¹ Citaat Nota Ruimte (2004)

² Citaat Nota Ruimte (2004)

Het kustfundament is gebaseerd op de veronderstelling dat sediment, binnen de begrenzing van het kustfundament, intern wordt herverdeeld. Om de kustverdediging op midden en lange termijn te ondersteunen moet daarom de zandvoorraad van het kustfundament op peil worden gehouden³.



Figuur 1-2: Nederlandse kustfundament, bron: "Nota Ruimte (2004)"

De zandvoorraad van het kustfundament wordt beïnvloed door de morfologie van de omliggende kustsystemen, rivieren, estuaria en door menselijke ingrepen. Zandtransporten binnen het kustfundament, e.g. tussen deelsystemen, hebben geen invloed op de totale zandvoorraad van het kustfundament. De onderstaande antropogene en natuurlijke transporten hebben wel invloed op de zandvoorraad van het kustfundament:

Natuurlijke transporten:

- netto zandtransporten van rivieren en estuaria
- netto zandtransporten langs de kust bij de grens met België en Duitsland

Antropogene transporten:

- baggeren in kustfundament en storten daarbuiten
- suppleren in kustfundament met zand dat buiten het kustfundament is gewonnen
- zandwinning voor de zandhandel binnen het kustfundament

Het Nederlandse kuststelsel heeft een chronisch verlies aan zand. Dit verlies wordt gecompenseerd door jaarlijks suppleties van het kustfundament met 12 Mm³ (miljoen kuub) zand van buiten het kustfundament.

Morfologisch gezien valt Loswal Noord binnen het kustfundament, waardoor het volume dat Loswal Noord inneemt bijdraagt aan de zandvoorraad van het Nederlands kustfundament. Een aanzienlijk deel van het volume van Loswal Noord is echter afkomstig uit het kustfundament, waardoor de netto bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het kustfundament onbekend is.

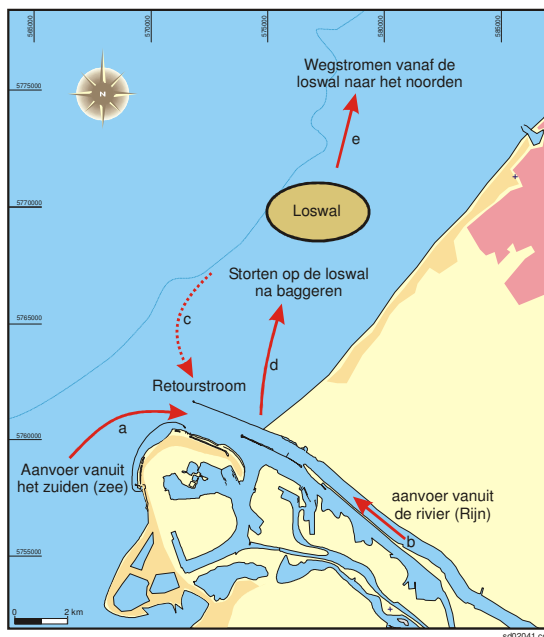
Er is in het verleden onderzoek verricht naar de sedimentbalans van Loswal Noord, o.a. Van Heuvel (1988), maar deze studies gaan niet in op een netto bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het Nederlands kustfundament.

³ Derde Kustnota (2000)

1.4 Probleemanalyse

De baggerspecie uit de vaargeul en haven van Rotterdam is afkomstig van onderhouds- en verdiepingsbaggerwerkzaamheden. Baggerspecie van verdiepingsbaggerwerkzaamheden is afkomstig van sediment dat lang geleden door de Rijndelta is afgezet. Baggerspecie van onderhoudsbaggerwerkzaamheden is afkomstig van sedimentatie van fluviaatle en maritieme sedimenttransporten.

Nadat de baggerspecie op Loswal Noord is gestort zal een deel terugstromen naar de Maasgeul, een deel stroomt weg richting het noorden en een deel zal achterblijven. De voornaamste sedimenttransporten zijn schematisch weergegeven in Figuur 1-3.



Figuur 1-3: relevante zandtransporten in relatie met Loswal Noord

De zandtransporten zijn van belang om de netto bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het kustfundament te kunnen analyseren. De voornaamste zandtransporten uit Figuur 1-3 worden hieronder algemeen beschreven:

- jaargemiddeld wordt er zand van zuid naar noord langs de kust getransporteerd, (Dronkers, 2005), daarvan sedimenteert het voornaamste deel in de Maasgeul en Maasmond
- via de Rijn komt jaargemiddeld fluviaatle sediment het havengebied binnen; de zandfractie van het fluviaatle sediment blijft in de verdiepte vaargeul en havengebieden achter
- een gedeelte van de zandfractie van de gestorte baggerspecie stroomt terug naar de vaargeul en haven van Rotterdam, retourstroom of retourtransport genoemd
- de vaargeul en haven van Rotterdam worden met baggerwerkzaamheden op diepte gehouden of worden verder verdiept; de daarbij vrijgekomen baggerspecie werd van 1964 tot 1996 op Loswal Noord gestort
- een gedeelte van de zandfractie van de gestorte baggerspecie stroomt weg richting het noorden, wegstroom genoemd

Uit een analyse van de bovenstaande zandtransporten en de zandvoorraad van Loswal Noord kan een zandbalans worden opgesteld. De zandbalans beschrijft de onderlinge verhoudingen van de zandtransporten en analyseert de netto bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het Nederlands kustfundament.

1.5 Doelstelling

De doelstelling van dit onderzoek is het analyseren van de netto bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het Nederlands kustfundament.

1.6 Plan van aanpak

Om de netto bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het kustfundament te kunnen analyseren, moet het volgende worden onderzocht:

- er moet onderzocht worden welk gedeelte van het zand dat op Loswal Noord is gestort niet afkomstig is uit het kustfundament, de rest is slechts interne herverdeling
- er moet onderzocht worden of en waarheen het zand na storten op Loswal Noord getransporteerd wordt

1.6.1. Werkwijze

Door het reconstructieve karakter van de afstudeeropdracht is gekozen om de netto bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het kustfundament te onderzoeken met beschikbare (meet)gegevens en literatuur en niet met morfologische modellen.

Massabalans Loswal Noord

Het stortvolume en de volumeontwikkeling van Loswal Noord kunnen niet met elkaar vergeleken worden door een verschil in de samenstelling (water, slib en zand). In een droge massabalans kan de stortmassa met de massaontwikkeling van Loswal Noord wel worden vergeleken en kan het verschil worden toegeschreven aan massa-emissie.

In een massabalans van Loswal Noord kan de zandvoorraad die netto bijdraagt aan de zandvoorraad van het kustfundament worden bepaald. In de massabalans van Loswal Noord kan ook de massa-emissie worden bepaald die, afhankelijk van verspreiden, wel of niet aan de zandvoorraad van het kustfundament bijdraagt.

- Er moet dus een droge massabalans worden opgesteld, waarin onderscheid tussen zand en slib wordt gemaakt, zodat een droge zandbalans kan worden opgesteld.

In een droge massabalans, waarin onderscheid wordt gemaakt tussen slib en zand, kan uit de samenstelling van de restmassa en de stortmassa de zandfractie in de massa-emissie worden bepaald.

Zandtransport van Loswal Noord

De verspreiding van de zandemissie van Loswal Noord is van belang ter bepaling van de netto bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het kustfundament. Zand dat wordt getransporteerd van Loswal Noord (erosie) en buiten het kustfundament wordt afgezet raakt verloren voor de zandvoorraad van het kustfundament.

- er moet geanalyseerd worden of er zandtransporten van Loswal Noord het kustfundament verlaten
- als er zandtransporten van Loswal Noord het kustfundament verlaten, moet de grootte en ontwikkeling in de tijd worden geanalyseerd

De netto bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het Nederlands kustfundament bestaat uit de zandvoorraad van Loswal Noord die niet afkomstig is van het kustfundament minus het recht evenredige gedeelte van de zandemissie dat niet in het kustfundament is afgezet.

1.7 Aannamen en uitgangspunten

Specifieke aannamen en uitgangspunten van meetgegevens of kennis op proceskennisniveau worden beschreven in de relevante paragrafen van dit verslag. Algemene aannamen en uitgangspunten voor de juiste interpretatie van de onderzoeksresultaten zijn in deze paragraaf beschreven en ter discussie gesteld.

1.7.1. Bijdrage van slib aan kustverdediging

Het kustfundament is beleidsmatig gedefinieerd als een volumevoorraad. Slib in het kustfundament bevindt zich meestal in de poriën van zand, waardoor de zandvoorraad het volume van het kustfundament bepaalt. Het kustfundament is een middel om middellange termijn kustverdediging te kunnen ondersteunen. Houdt dit in dat het slib van Loswal Noord niet bijdraagt aan kustverdediging?

Morfologisch gezien dienen de zandkorrels in het kustfundament als constructieve bouwstenen voor de opbouw en onderhoud van kustbescherming. Slib heeft andere fysische eigenschappen dan zand, waardoor slib niet als constructieve bouwsteen voor kustbescherming wordt gezien. Indien hoge slibconcentraties in het sediment aanwezig zijn kan het sediment zich cohesief gedragen en in sommige gevallen bijdragen aan kustverdediging. Dergelijke cohesieve lagen komen echter in het kustfundament niet significant voor, zie paragraaf 2.4. Kan daarom aangenomen worden dat slibemissies van Loswal Noord niet bijdragen aan kustverdediging?

De relatieve zeespiegelstijging zorgt ervoor dat sediment uit het kustfundament in de Waddenzee sedimenteert, (Postma, 1986). Er wordt geschat dat er in de Waddenzee jaarlijks 2 tot 4 Miljoen Ton Droge Stof (MTDS) slib sedimenteert. De sluizen van de afsluitdijk laten jaarlijks 0,5 MTDS slib door, zodat er netto 1,5 tot 3,5 MTDS slib door de zeegaten wordt ingelaten. Er wordt geschat dat er jaarlijks 10 tot 20 MTDS slib binnen een band van 70 km de Nederlandse kust passeert (De Kok, 2004; Thoolen *et al.*, 2001). Jaarlijks sedimenteert er dus 15 tot 17,5% van het slibtransport langs de Nederlandse kust in de Waddenzee. Het slibtransport langs de Nederlandse kust wordt o.a. gevoed door slibemissies van Loswal Noord. De Kok & Lourens & De Ruig (1992) berekenen zelfs dat 50% van de slibsedimentatie in de westelijke Waddenzee van Loswal Noord afkomstig is. De beschikbaarheid van slib voor sedimentatie in de Waddenzee matigt de zandvraag van de Waddenzee uit het kustfundament, maar is deze matiging wel significant?

Slib gaat tussen de poriën van zand zitten en draagt maar gedeeltelijk bij aan de volumevergroting van de Waddenzee. Het is de vraag of stortingen van baggerspecie op Loswal Noord zorgen voor een verhoging van het slibtransport naar de Waddenzee, waardoor relatief meer slib sedimenteert en de zandvraag uit het kustfundament in verhouding kleiner is. De sedimentatie in de Waddenzee en de wisselwerking met de zandvoorraden in het kustfundament valt echter buiten het bereik van onderhavige studie.

Er wordt aangenomen dat een eventuele verhoging van slibtransport voor de Nederlandse kust door het storten van baggerspecie op Loswal Noord de zandvraag van de Waddenzee niet significant vermindert.

1.7.2. Bijdrage van Loswal Noord aan middellange termijn kustverdediging

Mulder (2000) stelt dat binnen het kustfundament herverdeling van sediment plaatsvindt. De capaciteit van de hydrodynamische processen om sediment binnen het kustfundament her te verdelen zijn in de surfzone hoog, maar nemen af met de waterdiepte. In de definitie van het kustfundament is uitgegaan van verwaarloosbaar netto sedimenttransport over de -20 m NAP lijn.

Het op peil houden van de zandvoorraad van het kustfundament is een beheersmaatregel om de kustverdediging op middellange termijn (50 tot 200 jaar) te kunnen ondersteunen. De zandvoorraad van Loswal Noord staat in uitwisseling met het beschikbare zand in de surfzone, dat in directe uitwisseling met de kustverdediging staat. Het is echter niet duidelijk of de hydrodynamische processen voldoende capaciteit hebben om de 'onnatuurlijke' zandvoorraad van Loswal Noord 'op tijd' in de surfzone te krijgen.

2. Massabalans Loswal Noord

Het stortvolume en de volumeontwikkeling van Loswal Noord kunnen niet met elkaar vergeleken worden door een verschil in samenstelling van water, slib en zand. Indien het stortvolume en de volumeontwikkeling van Loswal Noord worden omgerekend naar Tonnen Droge Stof (TDS) kan in een massabalans het verschil worden toegeschreven aan massa-emissie. Het gedeelte van de massaontwikkeling van Loswal Noord dat kan worden toegeschreven aan zand dat niet afkomstig is van het kustfundament draagt netto bij aan de zandvoorraad van het kustfundament.

De massa-emissie kan door de samenstelling van stortmassa en restmassa van Loswal Noord worden onderverdeeld in slib en zand. In hoofdstuk 3 wordt de verspreiding van de zandemissie onderzocht om de bijdrage aan de zandvoorraad van het kustfundament te kunnen bepalen.

Leeswijzer

In de eerste paragraaf is het stortvolume op Loswal Noord geïnventariseerd, in paragraaf 2.2 wordt dit volume omgerekend naar Tonnen Droge Stof (TDS). Paragraaf 2.3 beschrijft de volumeontwikkeling van Loswal Noord aan de hand van lodingen, in paragraaf 2.4 wordt het volume van Loswal Noord omgerekend naar TDS slib en zand. In de paragraaf 2.5 wordt de massa-emissie berekend. De samenstelling van de massa-emissie wordt herleid uit de samenstelling van restmassa en stortmassa van Loswal Noord. In paragraaf 2.6 wordt de nauwkeurigheid van de massabalans onderzocht. De laatste paragraaf van dit hoofdstuk beschrijft de bijdrage van de zandemissie van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het Nederlands kustfundament.

2.1 Stortvolume Loswal Noord

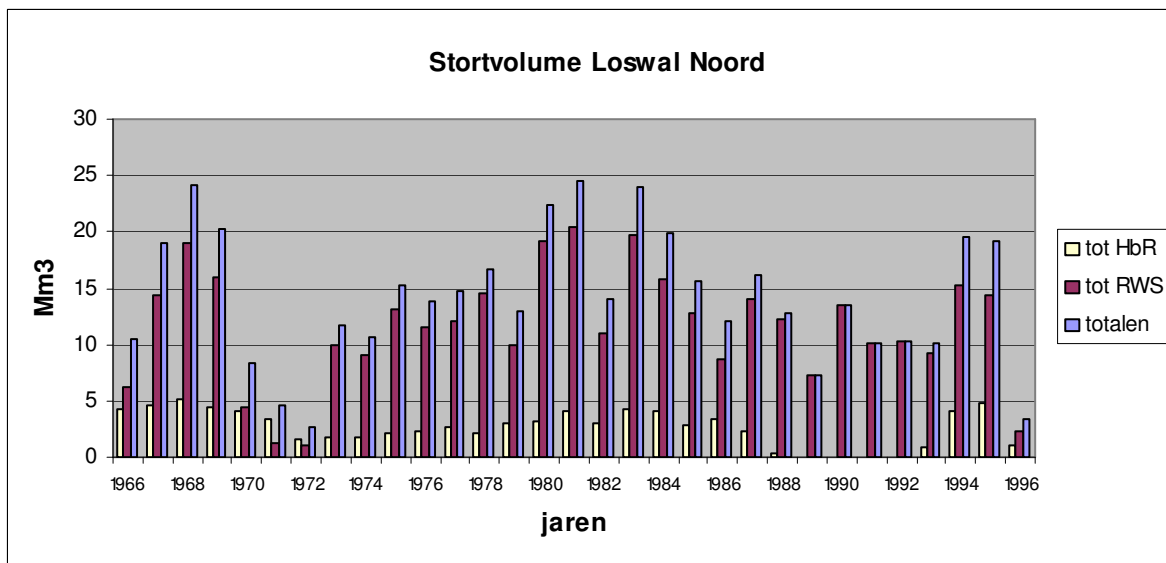
De zee en de rivieren laten sediment achter in de vaargeul en haven van Rotterdam. Onderhoudsbaggerwerkzaamheden baggeren dit sediment op om een bevaarbare diepte te behouden. De ontwikkeling van de haven van Rotterdam (meer en grotere schepen) heeft ertoe geleid dat verdiepingsbaggerwerkzaamheden nodig waren; vaargeulen zijn verbreed en verdiept, nieuwe havens zijn aangelegd.

Fysieke ingrepen hebben invloed op sedimentatie in vaargeul en haven van Rotterdam en bepalen mede het onderhoudsbaggervolume. De afsluiting van het Haringvliet, de aanleg van Maasvlakte I en de verbreding en verdieping van de Maasgeul hebben de dichtheidsgradiënt in de Maasmond veranderd, waardoor sedimentatiegedrag in de vaargeul en haven van Rotterdam is veranderd. Zie voor een volledig overzicht Bijlage A: Grote morfologische invloeden in de periode 1966 tot 1996.

Het beheer van de vaargeul valt onder de verantwoordelijkheid van Rijkswaterstaat (RWS) en dat van de havengebieden onder het Havenbedrijf Rotterdam (HbR)

2.1.1. Inventarisatie stortvolume Loswal Noord

Vóór 1961 is de baggerspecie uit de vaargeul en haven van Rotterdam op Loswal Zuid gedumpt, een stortplaats ten zuiden van de Maasgeul. Van 1961 tot 1964 is ongeveer 3,5 Miljoen m³ (Mm³) baggerspecie op de oude Loswal Noord gestort. In 1964 is Loswal Noord in gebruik genomen, een grote oppervlakte ten noorden van de oude Loswal Noord, aangezien de baggervolumes sterk toenamen. Loswal Noord bleef tot 1996 in gebruik, daarna is uitgeweken naar Loswal Noordwest en nog later naar de Verdiepte Loswal, zie Figuur 1-1.



Grafiek 2-1: jaargemiddeld stortvolume op Loswal Noord in Miljoen m³ gebaggerd door Havenbedrijf Rotterdam (HbR), Rijkswaterstaat (RWS) en totalen, bron: "RWS en HbR"

Het jaargemiddelde baggervolume fluctueert sterk. Dit heeft o.a. te maken met verdiepingsbaggerwerkzaamheden in de vaargeul en haven van Rotterdam. Afgezien van de beginjaren '70 is er jaargemiddeld ongeveer 15 Mm³ baggerspecie op Loswal Noord gestort, zie Grafiek 2-1.

Loswal Noord is opgedeeld in stortvakken (kwadranten van 500 x 500 m), die door de baggeraar vol werden gestort waarna werd uitgeweken naar aanliggende stortvakken. Gemiddeld werden de stortvakken van zuidwest naar noordoost volgestort, van A via B naar C, zie Bijlage B, Figuur 7-1. In 1973 zijn de deelvakken A1, B1 en C1 in gebruik genomen en in 1977 heeft RWS de trapeziumvormige uitbreiding zeewaarts aangewezen.

Discussie

De jaargemiddelde stortvolumes in Grafiek 2-1 berusten op geïnventariseerde data, waarvan de oorsprong niet altijd is te herleiden. In vergelijking met andere studies o.a. Van Heuvel (1988), komen de jaargemiddelde stortvolumes echter goed overeen.

Er wordt aangenomen dat de jaargemiddelde stortvolumes in Grafiek 2-1 representatief zijn voor het baggervolume dat werkelijk op Loswal Noord is gestort.

2.2 Stortmassa Loswal Noord

Vóór 1992 werd de hoeveelheid vaste stof in de beun (drijvende opslagbak voor baggerspecie) kwalitatief bepaald met de halve bol methode: aan een draad liet men een halve stalen bol met vaste diameter en gewicht (met de ronde kant onder) in de baggerspecie zakken. De natte dichtheid⁴ van het volume onder het niveau waarop de halve bol in de baggerspecie bleef steken werd gesteld op 1,2 ton/m³. Van het volume boven het niveau waarop de halve bol in de baggerspecie bleef steken werd een middenmonster genomen, waarvan via een centrifuge techniek het percentage vaste stof werd bepaald.

Na 1992 werd een nieuwe methode geïntroduceerd om de natte dichtheid van de baggerspecie in de beun te meten: de diepgang van het baggerschip werd vóór en ná het vullen van de beun met

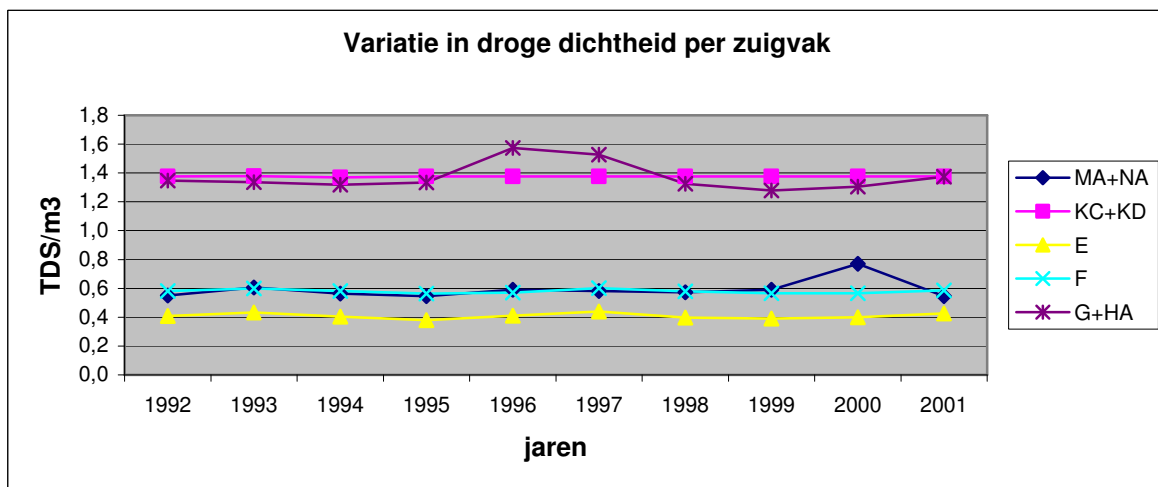
⁴ gewicht van een volume natte baggerspecie [ton/m³]

baggerspecie gemeten. De waterverplaatsing vóór en ná het vullen van de beun kon met behulp van computerprogramma's en de dimensie van de schipramp worden berekend. De massa van het beunvolume kon via een TDS/volume omrekenfactor per zuigvak worden omgerekend naar Tonnen Droge Stof (TDS).

Om een vergelijkbare dataset van stortgegevens in de periode van 1964 tot 1996 te genereren zijn de baggervolumes in de beun vóór 1992 ook met de TDS/volume omrekenfactor omgerekend naar Tonnen Droge Stof (TDS).

TDS/volume omrekenfactor

Van 1992 tot 2002 is door middel van metingen in de beun een jaargemiddelde TDS/volume factor bepaald per zuigvak, waarmee natte volumes omgerekend kunnen worden naar TDS.



Grafiek 2-2: variatie in baggerspeciedichtheid per zuigvak, bron: "RWS/Directie Noordzee", zie zuigvakindeling vaargeul en haven Rotterdam, Bijlage B, Figuur 7-2

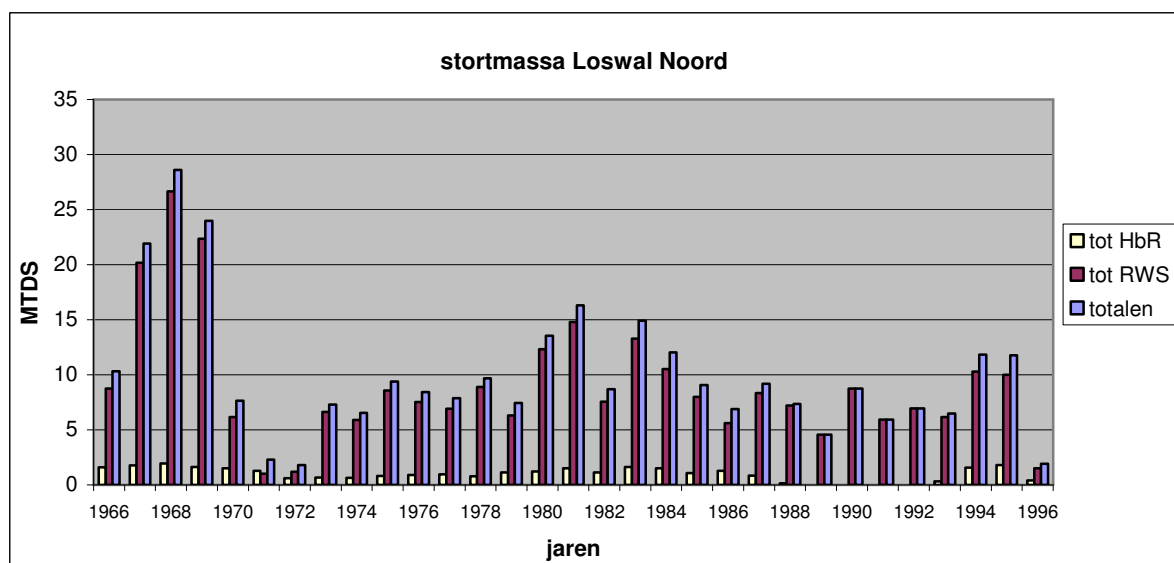
De TDS/volume omrekenfactor per zuigvak is jaargemiddeld redelijk constant gebleken. Na analyse van de mogelijke veranderingen in het sedimentatiegedrag vóór 1992 door fysieke ingrepen (zie Bijlage A) en na interviews met baggeraars is aangenomen dat de TDS/volume omrekenfactor ook representatief is voor de baggerspecie uit betreffende zuigvakken vóór 1992. De TDS/volume omrekenfactoren per zuigvak zijn in Tabel 2-1 gepresenteerd.

MA	NA	KC	KD	E	F	G	HA	Europoort	Botlek
0,602	0,602	1,374	1,374	0,404	0,579	1,412	1,412	0,375	0,375

Tabel 2-1: TDS/volume omrekenfactoren per zuigvak [TDS/m³], bron: "RWS/Directie Noordzee" en "Havenbedrijf Rotterdam", zie zuigvakindeling vaargeul en haven Rotterdam, Bijlage B, Figuur 7-2

Jaargemiddelde stortmassa Loswal Noord

In Grafiek 2-3 is het stortvolume met de TDS/volume factor omgerekend naar stortmassa.



Grafiek 2-3: jaargemiddelde stortmassa in Miljoen Tonnen Droge Stof (MTDS) van Havenbedrijf Rotterdam (HbR), Rijkswaterstaat (RWS) en totalen voor Loswal Noord, bron: "RWS en HbR"

Er valt op dat vóór 1970 relatief meer massa op Loswal Noord is gestort dan na 1974, wat niet opgemerkt kon worden uit Grafiek 2-1.

Discussie

De TDS/volume factor is over de periode 1992 tot 2002 constant gebleken, waardoor het aannemelijk is dat de natuurlijke variatie in de jaargemiddelde sedimentatie verwaarloosbaar is. Een variatie door niet natuurlijke morfologische veranderingen van de TDS/volume factor vóór 1992 is echter niet uitgesloten.

Vóór 1983 liet men dunne baggerspecie overboord lopen, zodat een zwaardere baggerspecie in de beun overbleef. Met de ingebruikname van de slufteer mocht de baggeraar geen dunne (vervuilde) baggerspecie uit de haven van Rotterdam meer overboord laten lopen, waardoor de baggerspecie na 1983 lichter moet zijn geweest. Het baggervolume uit de havengebieden is echter relatief klein, zodat deze verandering van baggermethode weinig invloed op het jaargemiddelde stortmassa heeft gehad.

De ontwikkeling van baggermaterieel (ontgassinginstallaties) heeft de tijd die nodig is om een volume baggerspecie in de beun te krijgen verkort, maar de dichtheid en samenstelling van de baggerspecie is hierdoor echter weinig veranderd.

2.2.1. Baggerspeciesamenstelling

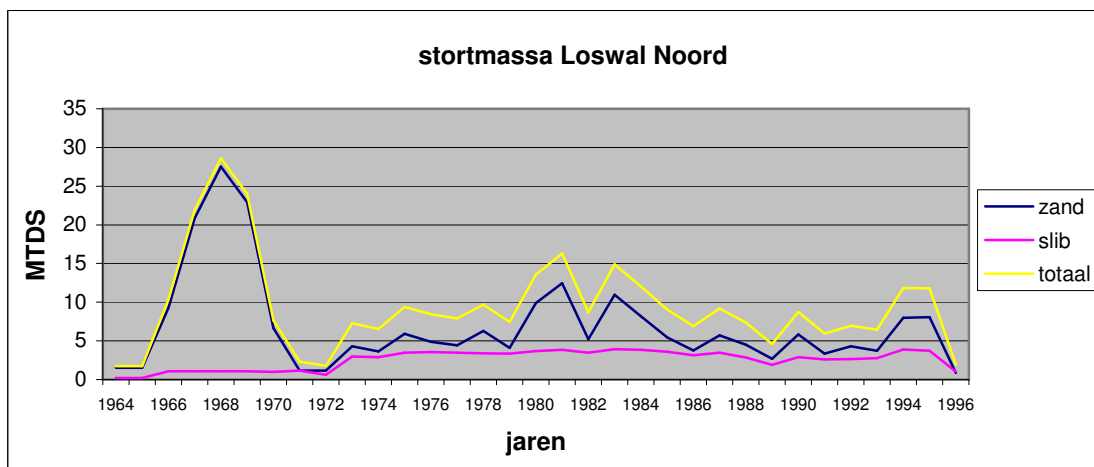
De droge stof in de beun bestaat voornamelijk uit mineralen, organisch materiaal en kalk van verschillende korreldiameters. Het anorganische materiaal met korreldiameter > 63µm is gedefinieerd als zand, het anorganische materiaal met korreldiameter < 63µm en het organische materiaal samen zijn gedefinieerd als slib.

Er wordt aangenomen dat de baggerspeciesamenstelling van verdiepingsbaggerwerkzaamheden voor 100% uit zand bestaat, zie Tabel 2-2. Per zuigvak zijn stortmassa grafieken gemaakt, zie bijgevoegde data CD/massabalans. Aan de hand van interviews met Waterstaten en beschikbare

historische gegevens zijn pieken van de baggermassa per zuigvak toegekend aan verdiepingsbaggerwerkzaamheden. De rest van de baggermassa is afkomstig van onderhoudswerkzaamheden met een typische zand/slibverhouding per zuigvak. De zand/slibverhouding is bepaald aan de hand van interviews (DNZ, HbR en RIKZ) en meetgegevens en zijn consistent met rapport Kwaliteit Onderhoudbaggerspecie (2004), RWS & HbR, zie Tabel 2-2. In Grafiek 2-4 de droge stortmassa relatief onderverdeeld in slib en zand.

MA		NA		KC		KD		E		F		G		HA		Europoort		Botlek	
zand	slib	zand	slib	zand	slib	zand	slib	zand	slib	zand	slib	zand	slib	zand	slib	zand	slib	zand	slib
0%	100%	0%	100%	70%	30%	80%	20%	10%	90%	60%	40%	90%	10%	100%	0%	7%	93%	30%	70%

Tabel 2-2: zand/slib verhouding van droge baggerspecie per zuigvak, bron: "RWS/Directie Noordzee" en "Havenbedrijf Rotterdam", zie zuigvakindeling vaargeul en haven Rotterdam, Bijlage B, Figuur 7-2



Grafiek 2-4: droge stortmassa Loswal Noord, onderverdeeld in zand en slib, bron: "RWS/Directie Noordzee" en "Havenbedrijf Rotterdam"

De duidelijke piek eindjaren '60 is toe te schrijven aan de verdiepingsbaggerwerkzaamheden in de Maasgeul en Maasmond. De fluctuatie in de zandmassa in 1981-1992 heeft waarschijnlijk te maken met een verdieping van het ankergebied (HA en verder zeewaarts); dit zand is in de zandhandel terechtgekomen en niet op Loswal Noord. De sterke afname van stortmassa in 1996 in Grafiek 2-4 wordt veroorzaakt doordat er in 1996 slechts een half jaar op Loswal Noord is gestort, waarna is uitgeweken naar Loswal Noordwest.

Discussie

De baggermassa die is toegeschreven aan verdiepingsbaggerwerkzaamheden is niet bepaald op grond van meetgegevens, maar op grond van interviews en analyses van beschikbare data. Er is een gevoeligheidsanalyse gemaakt voor de fout die kan ontstaan in de zand/slibverhouding door het toeschrijven van baggermassa aan verdiepingswerkzaamheden:

als wordt aangenomen dat de gehele jaargemiddelde stortmassa wordt toegeschreven aan onderhoudsbaggerwerkzaamheden (er zijn géén verdiepingen uitgevoerd, fout is maximaal), varieert de zand/slibverhouding gemiddeld 16 % met een standaarddeviatie van 12 %. Het is echter aannemelijk dat de werkelijke fout een ordegrrootte kleiner is dan de maximale fout, zodat de werkelijke fout in de zand/slibverhouding relatief klein is en verder verwaarloosd wordt.

De onzekerheden in de zand/slibverhouding per zuigvak zijn gerelateerd aan de variatie in de droge dichtheid per zuigvak (e.g. een dichte baggerspecie heeft een hoog percentage zand). In Grafiek 2-2 is de variatie van de droge dichtheid per zuigvak over de periode 1992 tot 2002

gegeven. Aangenomen dat de variatie in deze periode representatief is voor de periode 1966 tot 1996, dan wordt de variatie in droge dichtheid vooral bepaald door de vakken G en, in iets mindere mate, E. De standaarddeviatie van de droge dichtheid voor vak E is 4,6 % en voor vak G 7,1 %. De standaardfout die hieruit op kan treden is 2 % in de zand/slib verhouding van de totale stortmassa.

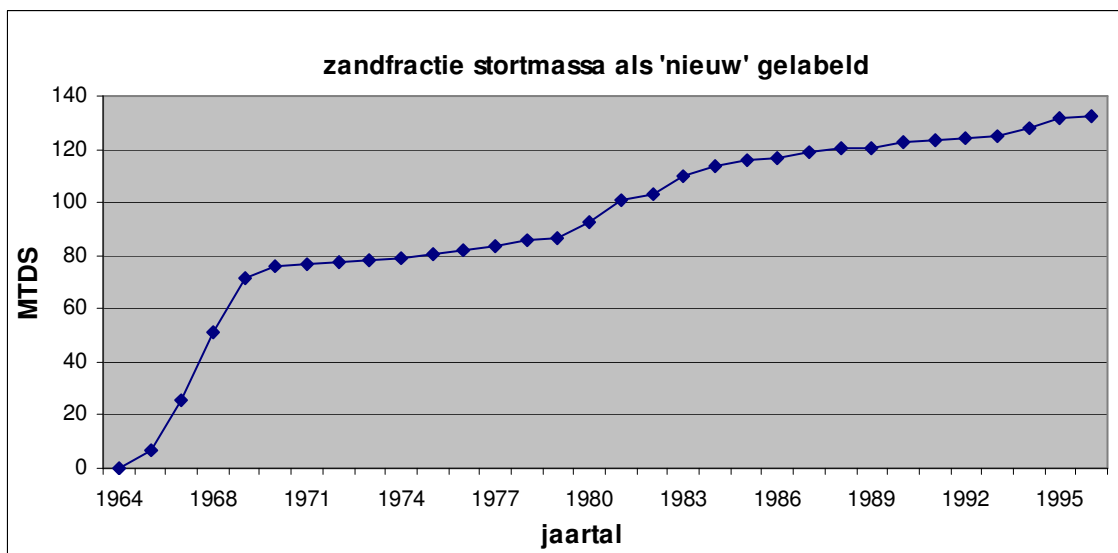
2.2.2. Zandfractie van de stortmassa die netto bij kan dragen aan de zandvoorraad van het kustfundament

De stortmassa van Loswal Noord wordt gebaggerd in de vaargeul en haven van Rotterdam. Een gedeelte van de baggerspecie is sediment uit het kustfundament of is sediment dat al eens eerder op Loswal Noord is gestort en moet worden gezien als een herverdeling van sediment binnen het kustfundament. Het sediment dat binnen het kustfundament wordt herverdeeld draagt niet netto bij aan de zandvoorraad van het kustfundament.

Om aan te kunnen geven welk gedeelte van de zandvoorraad van Loswal Noord netto bijdraagt aan de zandvoorraad van het kustfundament is de baggerspecie van de stortmassa als 'nieuw' of 'oud' gelabeld. Baggerspecie van verdiepingsbaggerwerkzaamheden en van fluviaatiele afvoer is 'nieuw' gelabeld de rest als 'oud'. Uitzondering is de baggerspecie van onderhoudsbaggerwerkzaamheden in zuigvak HA, zie Bijlage B Figuur 7-2. Er is aangenomen dat het sediment uit HA van buiten het kustfundament afkomstig is, aangezien er geen netto zandtransport bestaat over de -20 m NAP lijn.

In bovenstaande veronderstelling wordt aangenomen dat het bodemprofiel door verdiepingsbaggerwerkzaamheden permanent is en door onderhoudsbaggerwerkzaamheden gehandhaafd blijft.

De zandfractie van de stortmassa dat als 'nieuw' is gelabeld is weergegeven in Grafiek 2-5:



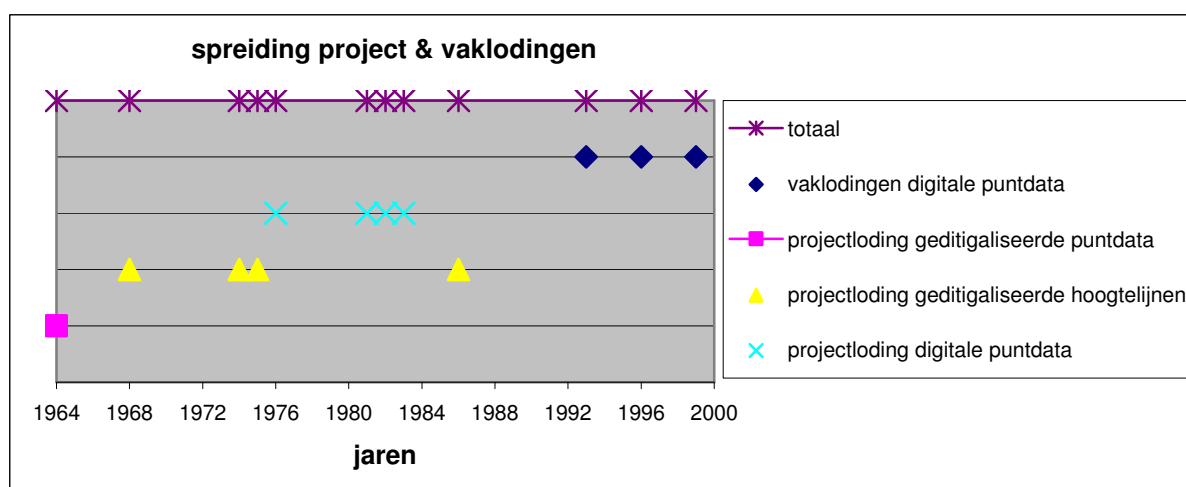
Grafiek 2-5: zandfractie van de stortmassa dat als 'nieuw' is gelabeld voor het kustfundament

2.3 Volumeontwikkeling Loswal Noord

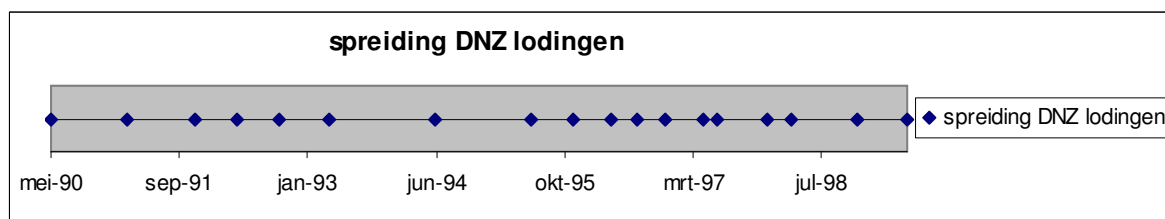
De volumeontwikkeling van Loswal Noord is geanalyseerd met het softwarepakket Geografisch Informatie Systeem (GIS), dat dieptegegevens van verschillende tijdstippen met elkaar kan vergelijken. De volgende datasets met dieptepuntgegevens van Loswal Noord in de periode 1964 tot 1996 zijn voor deze studie beschikbaar:

- Project & vaklodingen van 1964 tot 1999, in totaal 12 opnamen; deze dataset wordt gebruikt om de jaargemiddelde volumeontwikkeling van Loswal Noord te analyseren
- Directie Noordzee (DNZ) lodinggegevens van 1990 tot 1999, in totaal 18 opnamen; deze dataset wordt gebruikt ter verificatie van de project- en vaklodingen

De spreiding van opnamen uit de bovenstaande datasets zijn in Grafiek 2-6 en Grafiek 2-7 gepresenteerd:



Grafiek 2-6: spreiding project & vaklodingen



Grafiek 2-7: spreiding DNZ lodingen

In Bijlage C zijn de bovenstaande datasets uitgebreid beschreven. De dieptepuntgegevens zijn gebruikt om de volumeontwikkeling van Loswal Noord te analyseren.

2.3.1. Interpolatie van dieptepuntgegevens

De datasets van dieptepuntgegevens zijn geïnterpoleerd om diepte-informatie te generen met een volledige bodembedekking. In Bijlage D is de interpolatie van de project & vaklodingen en de DNZ lodingen beschreven.

2.3.2. Vakindeling voor bepaling volumeontwikkeling Loswal Noord

Project- en vaklodingen

Het gebied rond Loswal Noord is opgedeeld in vakken, zie Bijlage B, Figuur 7-3. De opnamen hebben maar een beperkte bedekking van de omgeving van Loswal Noord, zodat vakken verschillende referentiejaar hebben. De vakken zijn zo gekozen dat de beschikbare dieptegegevens met elkaar vergeleken kunnen worden. De vakken A, B, C, G, K, J, N, O, en P hebben de opname van 1964 als referentie, de vakken D, E, H en L hebben de opname van 1968 als referentie en de vakken F, I en M hebben de opname 1974 als referentie.

Het volume dat aan Loswal Noord wordt toegekend wordt getypeerd als het volume ten gevolge van het storten van baggerspecie. De som van de vakken die Loswal Noord typeren overschrijden de vastgestelde topografische grenzen van Loswal Noord ietwat. Voor de overschrijding is gekozen om eventuele afschuivingen van sediment mee te kunnen nemen. De vakken B, C, G, H, J, K en L zijn gebruikt om het volume van Loswal Noord te analyseren.

De volumeontwikkelingen van de vakken zijn onderling vergeleken, zie bijgevoegde data CD/massabalans. De volumeontwikkelingen per vak zijn verder niet in deze studie onderzocht, aangezien de onderlinge verschillen geen betekenis hebben voor de volumeontwikkeling van de gehele Loswal Noord.

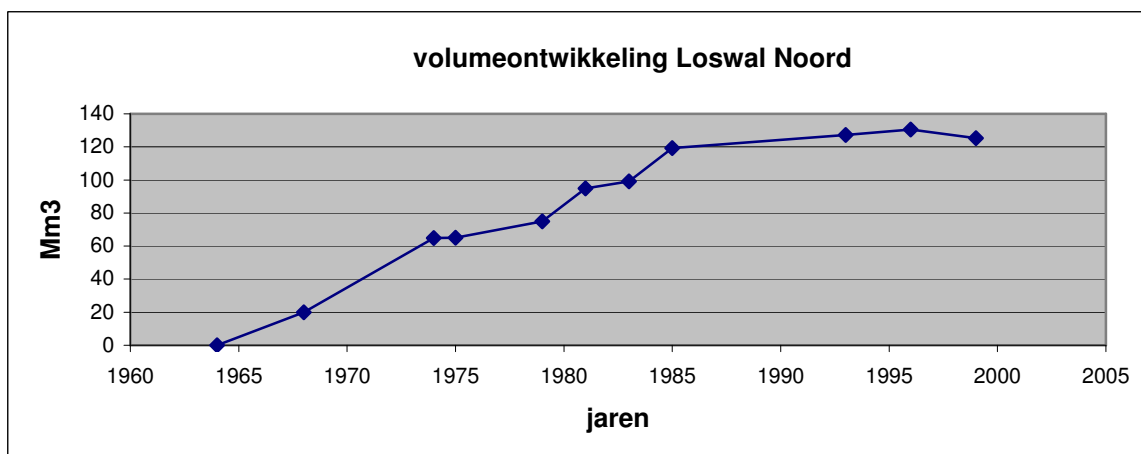
DNZ lodingen

De DNZ lodingen omsluiten Loswal Noord veel nauwer, zie Bijlage B, Figuur 7-4. Er is een vakindeling gemaakt om de volumeontwikkeling van verschillende stortlocaties op Loswal Noord te kunnen analyseren, zie verder bijgevoegde data CD/massabalans. Het volledige DNZ lodinggebied (alle vakken) is gebruikt ter bepaling van de volumeontwikkeling van Loswal Noord. Het DNZ lodinggebied komt echter niet overeen met het vak dat Loswal Noord in de project- en vaklodingen typeert. De volumeontwikkeling van Loswal Noord uit de DNZ lodingen kan dus slechts ter indicatie vergeleken worden met de volumeontwikkeling van Loswal Noord uit de project- en vaklodingen.

2.3.3. Berekening jaargemiddelde volumeontwikkeling Loswal Noord

De project- en vaklodingen beschrijven de volumeontwikkeling van Loswal Noord van 1964 tot 1999. De DNZ lodingen beschrijven slechts een gedeelte van deze periode (1990 tot 1999) en zullen verder worden gebruikt ter evaluatie van de project- en vaklodingen, zie paragraaf 2.5.2.

De geïnterpoleerde dieptepuntgegevens zijn in samenwerking met Grontmij in GIS voor de aangewezen vakken gekubeerd. Het watervolume boven een vak is in de tijd berekend en geplot in een hypsometrische curve, zie bijgevoegde data CD/massabalans. Ten opzichte van een bepaald referentiejaar zijn volumeverschillen te berekenen, zodat erosie en sedimentatie per vak geanalyseerd kunnen worden. De volumeontwikkeling van de vakken, die zijn toegewezen aan Loswal Noord, zijn bij elkaar opgeteld en gepresenteerd in Grafiek 2-8:



Grafiek 2-8: volumeontwikkeling Loswal Noord uit project- en vaklodingen

Het volume van Loswal Noord vóór 1964 is niet nul, aangezien de oude Loswal Noord gedeeltelijk binnen de begrenzing van Loswal Noord valt. De verstoring door een 'onnatuurlijk' volume onder Loswal Noord wordt verder in de studie verwaarloosd.

De gradiënt van de volumeontwikkeling neemt af in de tijd. Indien een constant stortvolume en samenstelling worden aangenomen en consolidatie processen worden verwaarloosd neemt de sedimentemissie toe in de tijd. Na 1996 wordt niet meer gestort op Loswal Noord en is een volumeafname duidelijk zichtbaar.

Nauwkeurigheid volumeberekening Loswal Noord

De nauwkeurigheid van de volumeberekening van Loswal Noord is uitgebreid geanalyseerd in Bijlage E, de conclusie is hieronder gegeven:

Vanaf de beginjaren 1990 worden de lodingcampagnes gereguleerd door Goede Meet Praktijk (GMP) protocollen. In deze protocollen wordt o.a. de richting van loden, het gebruik van verschillende boten en maximale operationele golfhoogte gereguleerd. De DNZ lodingen zijn gereguleerd onder deze GMP protocollen. De nauwkeurigheid van de projectlodingen is niet vast te stellen, aangezien de metagegevens van het basismateriaal niet voldoende beschikbaar zijn. De variatie in projectlodingen is geschat op basis van relevante studies en analyse van waarschijnlijke fouten.

Projectlodingen & vaklodingen (1964 tot 1999)

Het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) hanteert een gemiddelde standaarddeviatie van 0,20 m voor volumeberekeningen uit lodingen in de periode 1966 tot 1986, Louise (1986) & Terwindt (1968). De volumeontwikkeling van Loswal Noord door project- en vaklodingen is echter geanalyseerd door verschillende lodingen en bewerkingsmethodes, waardoor een grotere variatie in projectlodingen en vaklodingen van Loswal Noord mogelijk is. Er wordt aangenomen dat de standaarddeviatie van volumebepalingen uit project- en vaklodingen 0,25 m bedraagt.

Directie Noordzee lodinggegevens (1990 tot 1999)

In het kader van het Monitoring Alternatieve Loswal (MAL) programma is de volumeontwikkeling van de Verdiepte Loswal geanalyseerd van 1997 tot 2001. Duin (2001) heeft een standaarddeviatie bepaald door de variatie van lodingen van het referentievak in de tijd te analyseren. De variatie van het referentievak is gecorrigeerd voor natuurlijke variatie en voor variatie in de tijd is dit gecorrigeerd door verschillende intervallen van de dataset te analyseren. De berekende standaarddeviatie voor lodingen van Loswal Noordwest is 0,14 m.

De DNZ lodingen (1990 tot 1999) zijn gereguleerd door GMP protocollen, waardoor kan worden aangenomen dat de berekende standaarddeviatie voor lodingen van Loswal Noordwest (1997 tot 2001) representatief is voor de standaarddeviatie van Loswal Noord (1990 tot 1999).

2.4 Massaontwikkeling Loswal Noord

De volumeontwikkeling van Loswal Noord moet worden omgerekend naar Tonnen Droge Stof (TDS) en onderscheid moet gemaakt worden tussen zand en slib om in de massabalans met de stortmassa onderverdeeld in zand en slib vergeleken te kunnen worden.

De samenstelling van de stortlaag van Loswal Noord is onderzocht aan de hand van een inventarisatie en analyses van bestaande meetgegevens van Loswal Noord en regio. In samenwerking met TNO Bouw en Ondergrond is de droge dichtheid bepaald en is de droge massa onderverdeeld in slib en zand. De geïnterpreteerde meetgegevens bestaan uit steekboringen en boxcores, waarvan de resultaten zijn terug te vinden op de bijgevoegde data CD/TNO.

2.4.1. Droge dichtheid

Ten behoeve van deze studie heeft TNO Bouw en Ondergrond een inventarisatie gemaakt van alle steekboringen en boxcores van Loswal Noord en in de regio. De geïnterpreteerde dataset met metingen ter bepaling van de droge dichtheid bestaat uit 51 boringen van Loswal Noord (16 metingen), Loswal Noordwest (15 metingen), de Verdiepte Loswal (221 metingen) en natuurlijk sediment (18 metingen), zie Bijlage B, Figuur 7-5.

De dataset van metingen van de natte en droge dichtheid is onderverdeeld in drie subsets, waarvoor de droge dichtheid van Loswal Noord op verschillende wijze is bepaald:

- a) middeling van gemeten droge dichtheden van gestort sediment van Loswal Noord en omgeving
- b) middeling van gemeten en geschatte droge dichtheden van gestort sediment van Loswal Noord uit correlatie van waarden droge en natte dichtheid van Loswal Noord en omgeving
- c) middeling van gemeten en berekende droge dichtheden van gestort sediment van Loswal Noord uit correlatie van gammastraling uit monsters droge en natte dichtheid van de Verdiepte Loswal

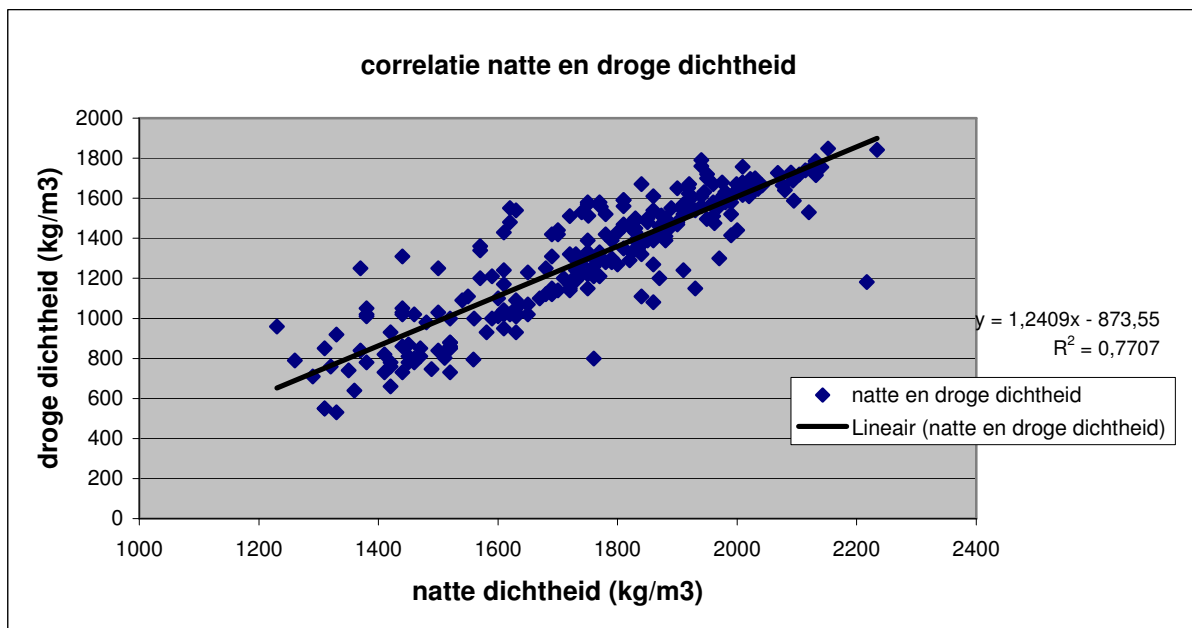
a) middeling van gemeten droge dichtheden van gestort sediment van Loswal Noord en omgeving

De droge dichtheid wordt gemeten door een steekring in een boorkern te steken, te drogen en te wegen. De gemeten droge dichtheden voor Loswal Noord en omgeving zijn geïnterpreteerd: Loswal Noord (2 boringen, 16 metingen), Loswal Noordwest (2 boringen, 15 metingen) en de Verdiepte Loswal (47 boringen, 221 metingen). De gemiddelde waarde van al deze metingen is $1,31 \pm 0,31$ TDS/m³. Het bijbehorende poriëngehalte, berekend met de aanname dat de soortelijke massa van het materiaal 2,65 TDS/m³ bedraagt, is $50,7 \pm 11,7$ %.

b) middeling van gemeten en geschatte droge dichtheden van gestort sediment van Loswal Noord uit correlatie van waarden droge en natte dichtheid van Loswal Noord en omgeving

In 1979 is een gemiddelde (6 boringen, 12 metingen) van de natte dichtheid van $1,60 \pm 0,44$ van Loswal Noord bepaald. Deze metingen zijn niet opgenomen in de dataset, omdat voor betreffende monsters de droge dichtheid niet is bepaald. Om de natte dichtheid om te kunnen rekenen naar een geschatte droge dichtheid is een correlatie tussen waarden droge en natte dichtheid bepaald uit de volledige dataset (51 boringen, 252 metingen). De waarden van droge en natte dichtheden zijn samen in Grafiek 2-9 geplot. Als wordt aangenomen dat de dichtheid van sedimentkorrel

constant is $2,65 \text{ TDS/m}^3$ is de theoretische correlatie niet lineair. De soortelijke dichtheid van een sedimentkorrel is echter voor de inhomogene Loswal Noord niet constant, zodat een werkbare lineaire correlatie is verondersteld.



Grafiek 2-9: correlatie tussen natte en droge dichtheid voor de complete dataset.

De berekende droge dichtheden van Loswal Noord (6 boringen, 12 metingen) zijn samen met de gemeten droge dichtheden van Loswal Noord (2 boringen, 16 metingen) gemiddeld tot een droge dichtheid van $1,40 \pm 0,40 \text{ TDS/m}^3$.

c) middeling van gemeten en berekende droge dichtheden van gestort sediment van Loswal Noord uit correlatie van gammastraling uit monsters droge en natte dichtheid van de Verdiepte Loswal

In Van der Klugt *et al.* (2004) is op twee manieren de droge en natte dichtheid bepaald van sediment uit 21 steekboringen en 8 boxcores in en rondom de Verdiepte Loswal, zie Figuur 1-1. De droge en natte dichtheid zijn geanalyseerd uit steekringen (39 monsters) van steekboringen en boxcores en de natte dichtheid tevens met een Multi-Sensor Core Logger.

De conventionele steekring methode bepaalt de dichtheid op basis van weging. De Core Logger methode bepaalt de dichtheid aan de hand van zogenaamde *gamma-ray attenuation*. Een radioactieve bron zendt gammastraling door het monster naar een detector. Het gemeten signaal wordt vergeleken met een ijkcurve om de bijbehorende dichtheid te bepalen.

De resultaten van de twee methoden komen redelijk goed overeen, maar worden in deze studie verder niet beschreven. Verschillen zijn toe te schrijven aan compactie van losgepakt slibrijk sediment bij het toepassen van de steekringmethode. Tevens is dichtgepakt, niet-cohesief zand ongeschikt voor toepassing van de steekringmethode.

De gemeten natte en droge dichtheid (steekring) gestort sediment van Loswal Noord en omgeving is samen met de omgerekende droge dichtheid (core logger) in Tabel 2-3 gepresenteerd.

parameter	eenheid	Loswal Noord en omgeving
natte dichtheid steekring	ton/m ³	1,75 ± 0,23
droge dichtheid steekring	ton/m ³	1,31 ± 0,31
natte dichtheid omgerekend naar core-logger waarde	ton/m ³	1,79 ± 0,49
droge dichtheid omgerekend naar core-logger waarde	ton/m ³	1,35 ± 0,49

Tabel 2-3: core logger en gemeten waarde droge en natte dichtheid van gestort sediment van Loswal Noord en omgeving

Het valt op dat de waarden die zijn bepaald met de Multi-Sensor Core Logger methode iets hoger zijn dan de waarden die met de steekring methode zijn gemeten. De beperkingen van de steekring methode maken een verhoogde waarde bij voornamelijk zandig sediment aannemelijk. De variatie in de droge dichtheid bepaald met de core-logger methode is echter zo groot dat een eenduidige keuze voor de meest representatieve droge dichtheid voor de gehele Loswal Noord niet direct is te geven.

Conclusie

In samenwerking met TNO Bouw en Ondergrond is de droge dichtheid op drie verschillende manieren bepaald. De resultaten van de drie verschillende methoden (TNO) worden hieronder met elkaar vergeleken.

- De droge dichtheid ($1,31 \pm 0,31$ TDS/m³) berekend uit de middeling van gemeten droge dichtheden van gestort sediment op Loswal Noord en omgeving heeft een relatief kleine standaardfout, maar is bepaald uit slechts 2 boringen van Loswal Noord.
- De droge dichtheid ($1,40 \pm 0,40$ TDS/m³) berekend aan de hand van geschatte en gemeten droge dichtheden van gestort sediment op Loswal Noord heeft een relatief middelmatige standaardfout, maar is louter bepaald uit meetgegevens van Loswal Noord.
- De droge dichtheid voor Loswal Noord ($1,35 \pm 0,49$ TDS/m³) bepaald uit de Multi-Sensor Core Logger methode heeft een relatief grote standaardfout, maar is louter bepaald uit meetgegevens van Loswal Noord.

Er wordt aangenomen dat de droge dichtheid van $1,31 \pm 0,31$ TDS/m³ door de relatief lage standaardfout het meest representatief is voor berekening van de massa van Loswal Noord.

2.4.2. Bodemsamenstelling

De samenstelling van de droge stof van Loswal Noord is van belang om de droge massa van Loswal Noord in de massabalans met de stortmassa onverdeeld in slib en zand te kunnen vergelijken. Ten behoeve van deze studie heeft TNO Bouw en Ondergrond een inventarisatie gemaakt van alle steekboringen en boxcores van Loswal Noord en in de regio. De dataset bestaat uit metingen ter bepaling van het slibgehalte, kalkgehalte, percentage organisch materiaal en het schelpengehalte.

Er zijn 43 steekboringen (203 metingen) met een optimale ruimtelijke spreiding geselecteerd voor de analyse van een representatief slibgehalte van gestort sediment op Loswal Noord, zie Bijlage B, Figuur 7-6. Het kalkpercentage <2000 µm is bepaald uit 17 steekboringen (96 metingen) en 5 boxcores (25 metingen), zie Bijlage B, Figuur 7-7. Het percentage organisch materiaal is bepaald uit 11 steekboringen en het schelpengehalte is geschat uit 27 steekboringen, 85 metingen, zie Bijlage B, Figuur 7-8.

Slibgehalte

Slib is gedefinieerd als sediment <63 µm. De totale lengte van de geselecteerde boorkernen van de geïnventariseerde dataset is 38,2 m. De totale lengte van de boorkernen, die wordt omschreven als klei (<<63 µm), is 3,1 m (gelijk aan 8,2 %) en wordt aan het slibgehalte toegekend. Voor de lengte

van de boorkernen die niet als klei staat beschreven is het slibpercentage bepaald uit korrelgrootte-analyses <63 µm. Het gewogen gemiddelde slibgehalte van de niet als klei beschreven boorkernlengte is 10,6 % met een (niet gewogen) standaarddeviatie van 7,8 %. Aangenomen dat de als klei beschreven boorkernlengte voor 100 % uit materiaal <63 µm bestaat kan een gewogen slibgehalte voor de gehele boorkernlengte worden berekend:

91,8 % boorkernlengte als niet klei beschreven waarvan 10,6 % slib + 8,2 % boorkernlengte als klei beschreven waarvan 100,0 % slib = $17,9 \pm 8,4$ %.

In het rapport "Slibonderzoek Loswal Noord" Van der Klugt (1991) zijn van 20 steekboringen de totale laagdiktes aan slib en zand gemeten (alleen de bovenste 2 m van de stortlaag); daaruit volgt een gemiddeld slibgehalte van $18,1 \pm 19,5$ %. Het valt op dat de dataset, die de gehele Loswal Noord bestrijkt, een grote ruimtelijk variabiliteit vertoont, zie Bijlage B, Figuur 7-14. De geobserveerde gemiddelde slibpercentages in Van der Klugt (1991) laten een grote ruimtelijke spreiding zien zonder logisch patroon.

De gemiddelde waarde van het slibgehalte van $17,9 \pm 8,4$ % is echter meer representatief, aangezien dit gehalte de gehele stortlaag beschrijft. Een sterke ruimtelijke variabiliteit moet echter wel in acht worden genomen.

Zandpercentage

In de korrelgrootte analyse is bepaald dat $17,9 \pm 8,4$ % <63 µm is, waardoor $82,1 \pm 8,4$ % >63 µm is. Het sediment >63 µm is als zand gedefinieerd. Indien wordt aangenomen dat de selectie steekboringen representatief is voor Loswal Noord en de gemiddelde droge dichtheid $1,31 \pm 0,31$ TDS/m³ is, dan bestaat $1,08 \pm 0,39$ TDS/m³ uit zand, inclusief kalk en organisch materiaal >63 µm. Een sterke ruimtelijke variabiliteit moet echter weer in acht worden genomen.

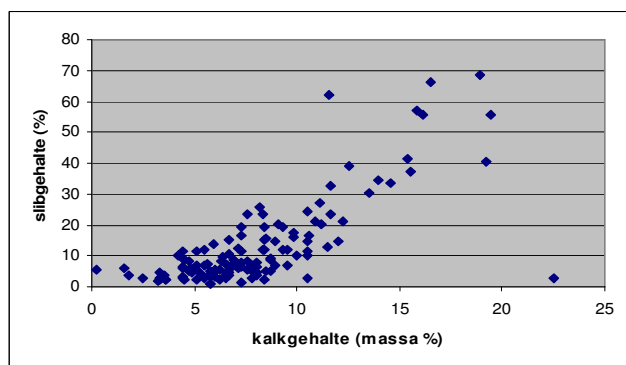
Percentage organisch materiaal en kalk

Uit de dataset van bestaande boorkernbeschrijvingen is het kalkgehalte (<2000 µm), het visueel geschatte schelpgehalte en het percentage organisch materiaal bepaald. De gemiddelde waarden en bijbehorende standaarddeviaties zijn hieronder in massapercentages weergegeven:

- het percentage organische materiaal is $1,5 \pm 1,3$ massa %
- het kalkgehalte <2000 µm is $7,3 \pm 3,1$ massa %
- het visueel geschatte schelpenpercentages is $1,6 \pm 4,6$ massa %

Het visueel beschreven schelpenpercentage is voor de helft toegekend aan het kalkgehalte, zodat het totale kalkgehalte $8,1 \pm 3,9$ % is.

De gemiddelde droge dichtheid van gestort sediment is $1,31 \pm 0,31$ TDS/m³. Het kalkgehalte is $8,1 \pm 3,9$ %, waardoor $0,11 \pm 0,05$ TDS/m³ kalk is. Het kalkgehalte <2000 µm is relatief hoog in sediment met een hoog slibgehalte, zie Grafiek 2-10. Het schelpengehalte laat een dergelijke relatie niet zien, waardoor wordt aangenomen dat het massapercentage kalk evenredig verdeeld is tussen slib en zand.



Grafiek 2-10: correlatie tussen slibgehalte en kalkgehalte in de fractie <2000 µm

Het massapercentage organisch materiaal wordt ongeacht de korrelgrootte volledig aan slib toegeschreven, aangezien het geen constructieve eigenschappen bezit voor kustverdediging.

Stabiliteit van de stortlaag

5 steekboringen en foto's van boorkernen van Loswal Noord in Van der Klugt (1991) zijn macroscopisch geanalyseerd en vertonen een consistent beeld van gelaagdheid in de boorkernen, zie bijgevoegde data CD. Het meeste slib zit in lagen, het slibgehalte in de poriën van zand beschreven lagen is slechts enkele procenten; bij hogere slibwaarden wordt in boorbeschrijvingen melding gemaakt van slib- of kleilaagjes.

De lagenopbouw in boorkernen (die tot vele jaren na de stort zijn gestoken) geeft aan dat slib, dat niet tijdens het storten wordt afgevoegd, in Loswal Noord wordt opgeslagen. De gelaagdheid zelf is waarschijnlijk ontstaan door begraving onder jongere stortlagen van andere samenstelling. De bovenste 0,30 tot 0,50 m van locaties, van locaties waar al enige tijd niet meer is gestort, vertoont een ongelaagde samenstelling van natuurlijk afgezet sediment. In deze laag wordt het sediment onder invloed van golven en stroming uitgewisseld met de omgeving en wordt daarom ook wel actieve laag genoemd. Het slib in de actieve laag wordt wel uitgespoeld. Drukverschillen door golven (percolatie) kunnen slibdeeltjes door de actieve laag naar boven halen en stroming voert de slibdeeltjes af.

Een actieve laag zal zich na de stort beginnen in te stellen, maar die laag kan zich niet ontwikkelen zolang er op die locatie wordt gestort. Indien er naar een ander stortvak wordt uitgeweken, kan de actieve laag zich beginnen te ontwikkelen. Een verhoogd slibpercentage door stortingen van baggerspecie nabij kan echter nog invloed hebben op de korrelgrootteverdeling van de actieve laag. In het kader van het programma Monitoring Alternatieve Loswal (MAL) is de korrelgrootteverdeling van de toplaag van Loswal Noord van 1996 tot 1999 gemeten, zie Bijlage G. Na de laatste storting in 1996 veranderde de korrelgrootteverdeling van de meetpunten (waar al enige tijd niet is gestort) in 3 jaar tot referentiewaarden. De actieve laag volgt de morfologie van het bodemprofiel. Er wordt aangenomen dat de ontwikkeling van de actieve laag de morfologie van het bodemprofiel van Loswal Noord kan bijhouden.

Conclusie

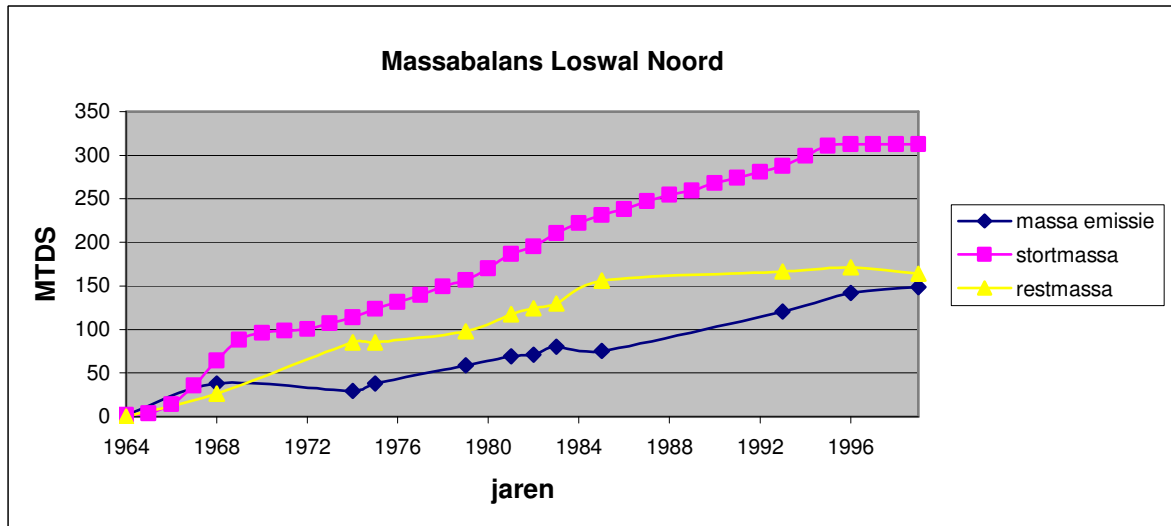
De gemiddelde droge massa van een m³ van Loswal Noord, uitgaande van de gemiddelde droge dichtheid is 1,31 ± 0,31 TDS/m³, bestaat uit:

- 1,08 ± 0,39 TDS/m³ zand of 82,1 ± 8,4 massa %
- 0,23 ± 0,11 TDS/m³ slib of 17,9 ± 8,4 massa %

De waarden vertonen een sterke ruimtelijke variabiliteit, waardoor de interpretatie van de waarden met enige voorzichtigheid ter hand genomen moet worden.

2.5 Massa-emissie Loswal Noord

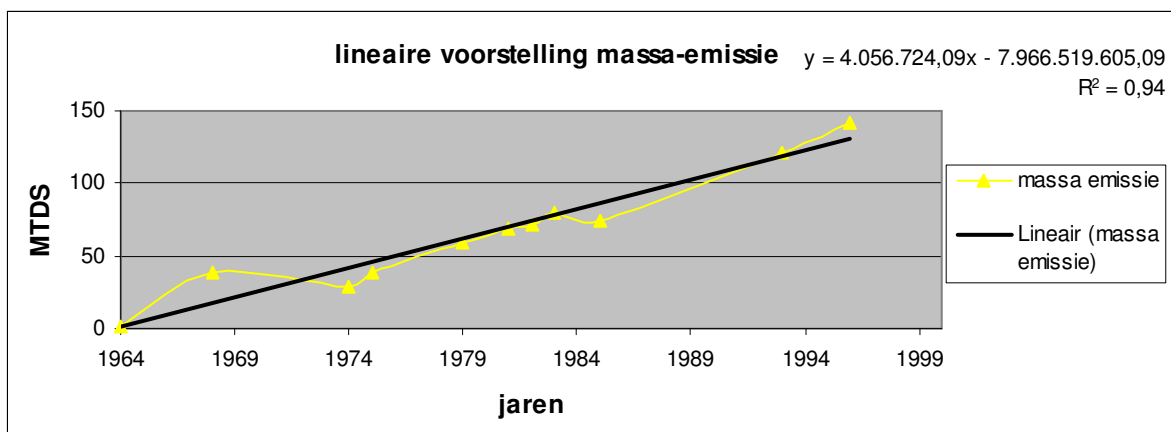
Een massabalans is opgesteld, waarin het verschil van de cumulatieve stortmassa en de massaontwikkeling van Loswal Noord is toegeschreven aan massa-emissie, zie ook Bijlage F Opbouw massabalans.



Grafiek 2-11: massabalans Loswal Noord van 1964 tot 1999

De massa-emissie is net na 1964 groter dan de stortmassa, wat in werkelijkheid niet mogelijk is. Dit is het gevolg van een beperkt aantal meetpunten met grote spreiding, dat weer het gevolg is van de beperkte beschikbaarheid van lodingen om de restmassa te bepalen.

Om een jaargemiddelde massa-emissie te kunnen bepalen is een trend aangenomen in de massa-emissie. Indien een lineaire trend over de periode 1964 tot 1996 is verondersteld kan de massa-emissie bepaald worden, zie Grafiek 2-12.



Grafiek 2-12: Lineaire voorstelling massa-emissie Loswal Noord 1964 tot 1996

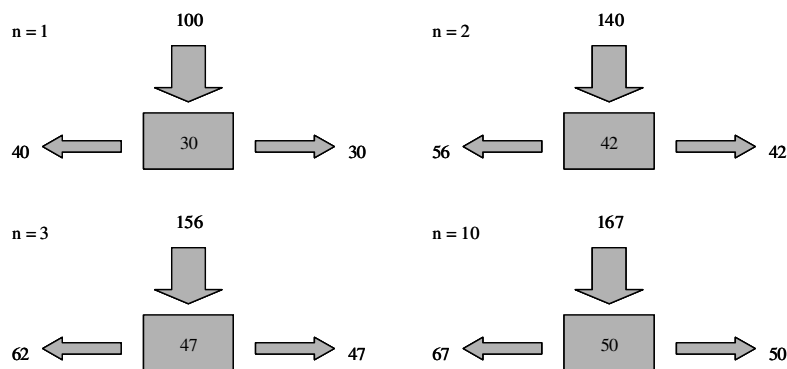
Net na 1964 onderschat de trend de massa-emissie, dit is aannemelijk aangezien de stortmassa in deze periode relatief hoog is. Uitgaande van de lineaire voorstelling van de massa-emissie in de periode 1964 tot 1996 is de jaargemiddelde massa-emissie van Loswal Noord 4,1 MTDS. Echter zoals in Grafiek 2-8 al is aangegeven is de massa-emissie niet lineair, maar zal toenemen in de tijd.

2.5.1. Instellen van een 'steady state' situatie

De stortvakken worden één voor één volgestort. Na verloop van tijd erodeert er weinig sediment meer uit de 'oudste' terwijl de 'nieuwste' vakken nog gevuld moeten worden. Indien de stortmassa in de tijd constant is zal er zich een evenwicht instellen tussen de stortmassa en de massaontwikkeling van Loswal Noord. Wanneer dit evenwicht is bereikt bestaat er een 'steady state', waarin de massa-emissie jaargemiddeld constant is.

Het instellen van de 'steady state' heeft tijd nodig. Niet alleen moet Loswal Noord een volume ontwikkelen dat 'voldoende' erodeert, ook moet er een evenwicht ingesteld worden tussen het bagger/stortvolume en het retourtransport. Dit laatste wordt geïllustreerd met een denkbeeldig rekenvoorbeeld:

In $n = 1$ (voorstelling van eerste storting op Loswal Noord) wordt 100 MTDS baggerspecie op Loswal Noord gestort, waarvan 30 MTDS naar het noorden verdwijnt, 40 MTDS terugstroomt naar de vaargeul en haven van Rotterdam (retourtransport) en 30 MTDS op Loswal Noord achterblijft. De 40 MTDS retourtransport sedimenteert in de vaargeul en haven van Rotterdam en moet opnieuw worden opgebaggerd. Deze extra baggerinspanning moet worden opgeteld bij de natuurlijke sedimentatie. In $n = 2$ is de stortmassa op Loswal Noord 140 MTDS en wordt evenredig als bij $n = 1$ verdeeld over de wegstroom, het retourtransport en de massa die op Loswal Noord achterblijft. In $n =$ oneindig zal de stortmassa in evenwicht zijn met het retourtransport.

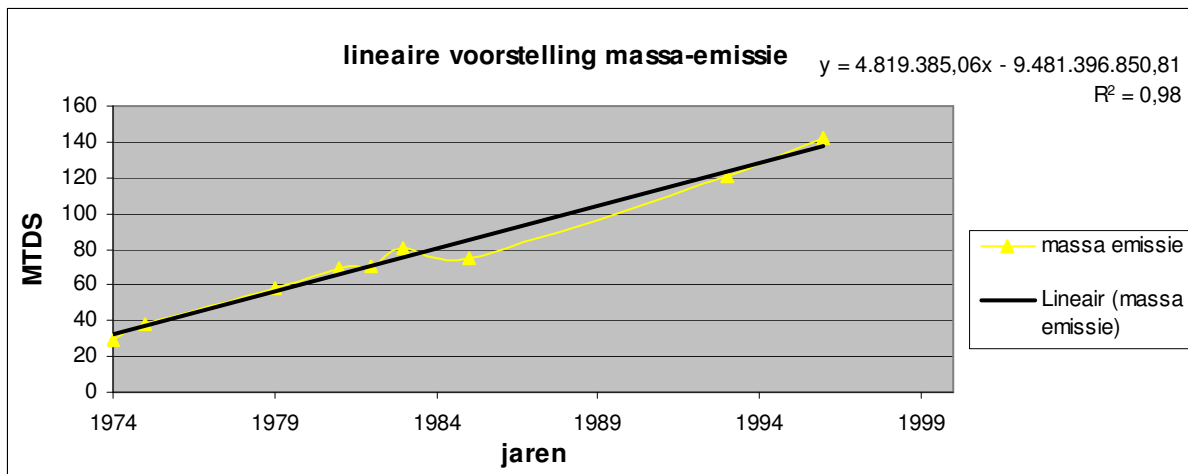


Figuur 2-1: rekenvoorbeeld voor het instellen van een evenwicht tussen de stortmassa en het retourtransport

Een evenwicht wordt echter nooit bereikt, omdat de stortmassa jaargemiddeld fluctueert. De fluctuatie van de stortmassa na 1974 is echter relatief klein, zie Grafiek 2-4, waardoor een 'steady state' na 1974 benaderd kan worden.

In Grafiek 2-11 lijkt het erop dat een 'steady state' zich na 1974 ook daadwerkelijk heeft ingesteld. Het volume van Loswal Noord in 1974 is 'voldoende' ontwikkeld voor erosie, wat deze veronderstelling aannemelijk maakt.

Indien een 'steady state' in de periode 1974 tot 1996 wordt aangenomen, kan een constante jaargemiddelde massa-emissie worden berekend.

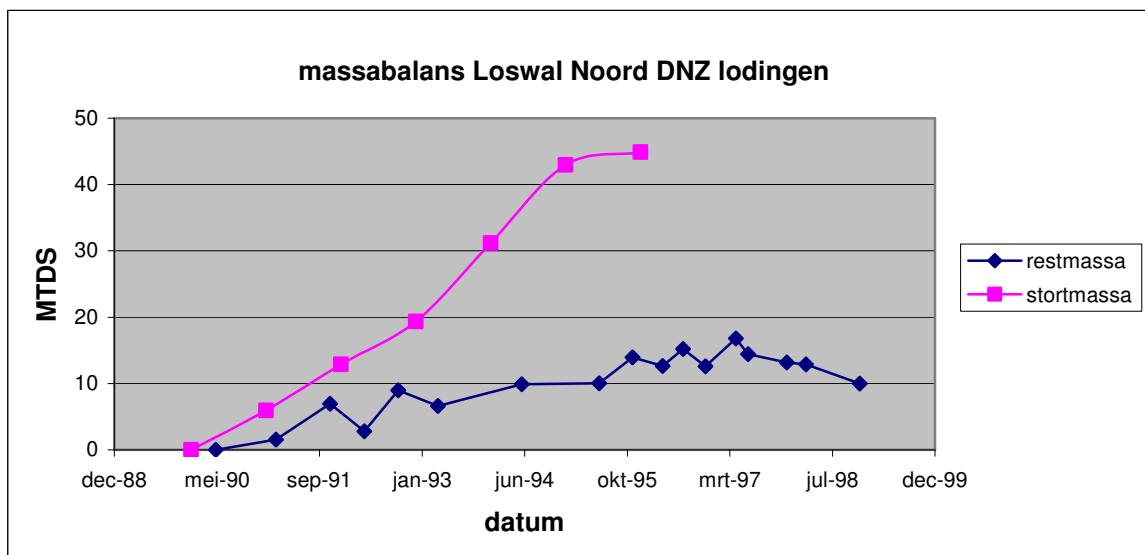


Grafiek 2-13: lineaire voorstelling massa-emissie 'steady state'

Uitgaande van de lineaire voorstelling van de massa-emissie in de periode 1974 tot 1996 is de jaargemiddelde massa-emissie van Loswal Noord 4,8 MTDS. De zand/slibverhouding van de massa-emissie is te bepalen door de samenstelling van de stortmassa te vergelijken met de samenstelling van de restmassa van Loswal Noord, zie paragraaf 2.5.3.

2.5.2. Evaluatie van massa-emissie met DNZ lodingen

De massa-emissie van Loswal Noord is ter evaluatie ook geanalyseerd met DNZ lodingen van de periode 1990 tot 1999. De volumeontwikkeling (geanalyseerd met de DNZ lodingen) is omgerekend naar TDS en samen met de cumulatieve stortmassa van 1990 tot 1999 gegeven in Grafiek 2-14:



Grafiek 2-14: massabalans met DNZ lodingen

De fluctuatie van de restmassa van 1990 tot 1999 is sterker dan is te zien in e.g. Grafiek 2-11. Dit is begrijpelijk aangezien de periode korter is en er meer opnamepunten beschikbaar zijn.

Uitgaande van een lineaire voorstelling van de massa-emissie in de periode 1990 tot 1999 is de jaargemiddelde massa-emissie van Loswal Noord berekend met de DNZ lodingen 5,9 MTDS. De jaargemiddelde massa-emissie (lineair verondersteld over dezelfde periode) met de project- en vakloding is 6,0 MTDS. Het verschil is zo gering dat het aannemelijk is dat beide lodingen een correcte veronderstelling van de volumeontwikkeling weergeven.

De massa-emissie uit de DNZ lodingen van 1996 tot 1999 is 5,2 MTDS, 34 % lager dan de massa-emissie berekend uit de project- en vaklodingen van 1996 tot 1999. Dit verschil is aanzienlijk en niet verklaarbaar, waardoor over de afnamesnelheid van de massa-emissie na 1996 geen eenduidige uitspraken kunnen worden gedaan.

2.5.3. Berekening van zand/slibverhouding jaargemiddelde massa-emissie

De droge massabalans is onderverdeeld in slib en zand. In een balansvergelijking is het mogelijk de samenstelling van de massa-emissie te herleiden uit de samenstelling van de stortmassa en de restmassa van Loswal Noord. De samenstelling van de stortmassa is voor verschillende perioden terug te vinden op de bijgevoegde data CD/TNO. De samenstelling van de restmassa is in de tijd constant en geanalyseerd in paragraaf 2.2.1.

De samenstelling van de jaargemiddelde massa-emissie is in Tabel 2-4 berekend voor de 'steady state' periode van 1974 tot 1996.

	zand		slib		totaal
stortmassa	6,0E+06	64%	3,3E+06	36%	9,3E+06
restmassa	3,6E+06	82%	7,9E+05	18%	4,4E+06
massa-emissie	2,3E+06	48%	2,5E+06	52%	4,8E+06

Tabel 2-4: berekening zand en slibemissie voor de periode 'steady state' 1974 tot 1996

De massa-emissie van Loswal Noord in de periode 1974 tot 1996 bestaat uit 48 % zand, gelijk aan 2,3 MTDS en 52 % slib gelijk aan 2,5 MTDS.

De samenstelling van de jaargemiddelde massa-emissie is in Tabel 2-5 berekend voor de periode van 1964 tot 1996. Er wordt in deze berekening uitgegaan van een constante massa-emissie in de tijd, wat in werkelijkheid niet het geval is.

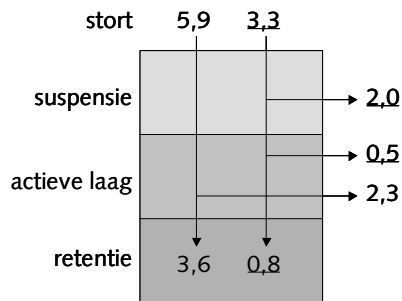
	zand		slib		totaal
stortmassa	7,1E+06	73%	2,6E+06	27%	9,7E+06
restmassa	4,6E+06	82%	1,0E+06	18%	5,7E+06
massa-emissie	2,5E+06	61%	1,6E+06	39%	4,1E+06

Tabel 2-5: berekening zand en slibemissie voor de periode 1964 tot 1996

Indien de massa-emissie van Loswal Noord over de periode 1964 tot 1996 constant wordt aangenomen, bestaat de jaargemiddelde massa-emissie uit 61 % zand, gelijk aan 2,5 MTDS en 39 % slib gelijk aan 1,6 MTDS.

2.5.4. Sedimentbalans 'steady state'

Een sedimentbalans kan worden opgesteld voor de 'steady state' periode van Loswal Noord van 1974 tot 1996.



Figuur 2-2: sedimentbalans 'steady state' periode van Loswal Noord van 1974 tot 1996, in Miljoen Ton Droge Stof (MTDS), slib is onderstreept

Van 1974 tot 1996 wordt 60 % van de slibfractie van de stortmassa niet in Loswal Noord opgeslagen en in suspensie afgevoerd. De volledige zandfractie sedimenteert op Loswal Noord. Erosie van de actieve laag genereert een massa-emissie met een samenstelling 18% slib en 82% zand.

Na 1996 is er geen massa-emissie van slib in suspensie meer door het storten van baggerspecie op Loswal Noord. De actieve laag zal zich over het totale oppervlak van Loswal Noord ontwikkelen. De actieve laag volgt de morfologie van het bodemprofiel waardoor de samenstelling van de jaargemiddelde massa-emissie na 1996 constant blijft, 18% slib en 82% zand. De zand en slibemissie net na 1996 kan worden gezien als de achtergrond emissie die ook aanwezig is tijdens de 'steady state' situatie.

Een sedimentbalans van het hele kuststelsel Zuid Holland is gegeven in Figuur 4-2.

2.6 Foutenanalyse massabalans Loswal Noord

De relatieve fout in de massabalans is te bepalen door een inventarisatie van foutbronnen en hun onderlinge verhoudingen:

- als onderliggende standaardfouten opgeteld of afgetrokken moeten worden, dan wordt de som van de kwadranten van de absolute (onderliggende) fouten genomen
- als onderliggende fouten vermenigvuldigd moeten worden, dan wordt de som van de kwadranten van de relatieve (onderliggende) fouten genomen

Eerst worden de absolute fouten van de stortmassa en restmassa van Loswal Noord bepaald om de absolute fout in de massa-emissie te kunnen bepalen. De relatieve fouten van de stortmassa, restmassa en massa-emissie worden daarna bepaald.

2.6.1. Absolute fout stortmassa

De absolute fout van de stortmassa is:

$$\sqrt{(\text{relatieve_fout_}V_{\text{zuigvak}})^2 + (\text{relatieve_fout_droge_dichtheid_zuigvak})^2}$$

$$* (V_{\text{zuigvak}} * \text{droge_dichtheid_zuigvak})$$

Er wordt aangenomen dat de relatieve fout in baggervolume per zuigvak door het grote aantal vaarbewegingen en volumebepalingen kan worden verwaarloosd, waardoor de absolute fout in de stortmassa gelijk is aan:

$$(relatieve_fout_droge_dichtheid_zuigvak) * (V_{zuigvak} * droge_dichtheid_zuigvak)$$

De relatieve fout in de droge dichtheid van een zuigvak kan door gebrek aan meetgegevens niet worden bepaald voor de periode 1964 tot 1996, aangezien er vóór 1992 geen TDS/volume omreken factor is bepaald. Uit een inventarisatie van dichtheidsgegevens in de beun na 1992 is een standaarddeviatie van de TDS/volume omrekenfactor per zuigvak geanalyseerd, zie paragraaf 2.2.1.

De variatie in de droge dichtheid per zuigvak is weergegeven in Grafiek 2-2. De standaarddeviatie is berekend, zie bijgevoegde data CD/massabalans en weergegeven in Tabel 2-6.

	NA&MA	KC&KD	E	G&HA
standaarddeviatie	6,30E-02	2,00E-03	1,80E-02	9,30E-02

Tabel 2-6: standaarddeviatie van de droge dichtheid per zuigvak bepaald uit de variatie in droge dichtheid in de periode 1992 tot 2001

De relatieve fout in de stortmassa door baggerspecie uit zuigvakken NA en MA kan worden verwaarloosd door het geringe baggervolume. De relatieve fout in de stortmassa door baggerspecie uit de zuigvakken KC en KD is verwaarloosbaar door de kleine standaarddeviatie. De relatieve fout in de stortmassa wordt bepaald door de baggermassa en standaarddeviatie van de droge dichtheid in zuigvakken E, G en HA.

De standaarddeviatie van de droge dichtheid in verdiepingsbaggerwerkzaamheden (100 % zand) is een ordegrrootte kleiner dan de variatie in droge dichtheid uit onderhoudsbaggerwerkzaamheden. De absolute fout in de stortmassa wordt dus bepaald uit het onderhoudsbaggervolume en de standaarddeviatie van de droge dichtheid in de zuigvakken E, F en HA.

2.6.2. Absolute fout restmassa

De absolute fout van de restmassa wordt bepaald door de relatieve fout in volumebepaling, de relatieve fout in de droge dichtheid van de stortlaag en de massaontwikkeling van Loswal Noord. Een complicatie bij de berekening is dat één van de foutbronnen, de loding, is uitgedrukt als een absolute maat. De absolute fout van de stortmassa is:

$$\sqrt{(relatieve_fout_loding)^2 + (relatieve_fout_droge_dichtheid)^2} * (massa_ontwikkeling_Loswal_Noord)$$

Voor de bepaling van het volume van Loswal Noord is een gebied genomen dat typerend is voor de sedimentatie van baggerspecie en het zetten van het sediment. Materiaal dat dit gebied verlaat is gekarakteriseerd als emissie. In deze karakterisering bestaat geen fout, waardoor de fout in het volume alleen door de lodingfout wordt bepaald.

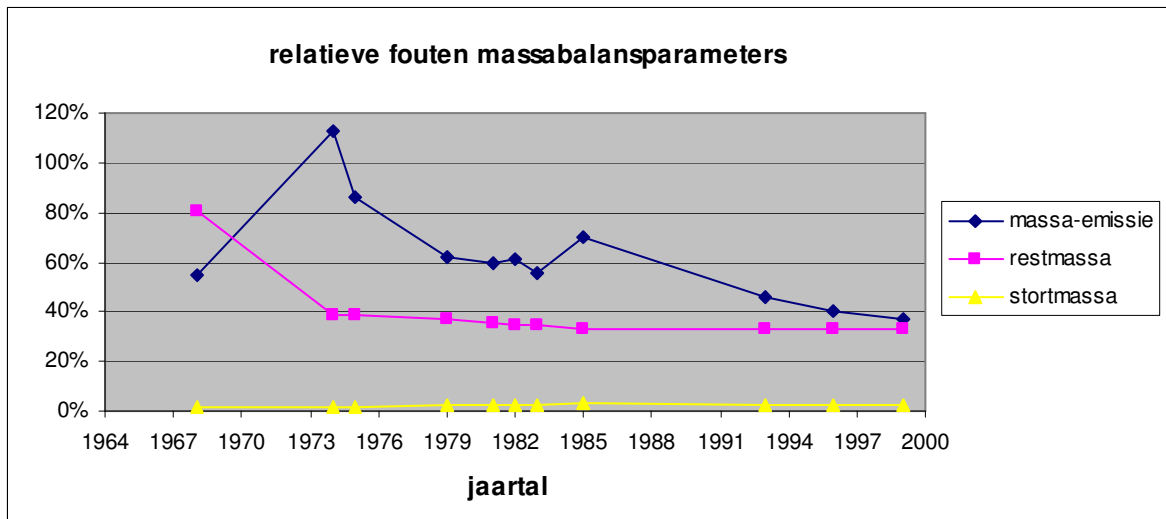
2.6.3. Absolute fout massa-emissie

De absolute fout in de massa-emissie wordt bepaald door de fouten in de stortmassa en de restmassa van Loswal Noord en is bepaald volgens:

$$absolute_fout_M_{emissie} = \sqrt{(absolute_fout_M_{stort})^2 + (absolute_fout_M_{rest})^2}$$

2.6.4. Relatieve fouten massabalansparameters

De relatieve fouten van de massabalansparameters zijn bepaald door de absolute fouten te delen door de waarde van de parameter waarin de fout is gemaakt:



Grafiek 2-15: relatieve fout massa-emissie Loswal Noord

De relatieve fout in de stortmassa is constant in de tijd, maar klein. De relatieve fout in de restmassa neemt in de tijd af, aangezien de absolute fout in de loding in de tijd niet groter wordt, maar het volume van Loswal Noord wel in de tijd toeneemt. De relatieve fout in de massa-emissie is afhankelijk van de fouten in de stortmassa en de restmassa en neemt af in de tijd.

Na 1996 blijft de fout in de stortmassa gelijk. De absolute fout in restmassa blijft gelijk, maar de relatieve fout zal kleiner worden door het afnemende volume van Loswal Noord in de tijd. De absolute fout in de massa-emissie kan in de tijd iets afnemen door verbeterde lodingstechnie. De relatieve fout in de massa-emissie zal afnemen aangezien de cumulatieve massa-emissie blijft toenemen en de absolute fout niet groter wordt.

De fout in de restmassa en massa-emissie van Loswal Noord wordt voornamelijk bepaald door de fout in de droge dichtheid. In de beginperiode van 1964 tot 1996 wordt de fout echter ook bepaald door de absolute fout in de loding.

2.6.5. Discussie

De restmassa en dus ook de massa-emissie is berekend door een harde omlijning van Loswal Noord aan te nemen. De keuze van deze omlijning is gebaseerd op morfologische argumenten, maar bezit nog een redelijke mate van subjectiviteit. De waarde van de restmassa en massa-emissie moet in de context van de karakterisering 'wat behoort nog tot Loswal Noord en wat niet meer' worden geïnterpreteerd.

De fout in de zand/slibverhouding wordt bepaald door de relatieve fout in slibgehalte van Loswal Noord en is slechts 0,084. Het is echter waarschijnlijk dat de jaargemiddelde fluctuatie van de zand/slibverhouding van de massa-emissie groter is, gezien de sterke ruimtelijke variatie in het slibgehalte.

De foutenanalyse van de massabalans van Loswal Noord is gebaseerd op foutenbronnen uit de beschikbare data. Het is echter waarschijnlijk dat er meer onzekerheden bestaan, die niet uit de beschikbare data zijn te herleiden. E.g. er bestaat een vermoeden dat in de jaren 1960 tot 1970 als illegale kostenbesparing een gedeelte van de beuninhoud onderweg naar Loswal Noord is

gedumpt. In de jaren 1980 is dit gedeelte vermoedelijk kleiner en na de jaren 1990 is het niet waarschijnlijk meer dat er illegale stortingen zijn uitgevoerd. Dit soort onzekerheden zijn niet gearciveerd en dus ook niet te verwerken in een foutenanalyse. Wel geven ze aan dat de onzekerheidsbandbreedte van de massabalansparameters met enige voorzichtigheid geïnterpreteerd moet worden.

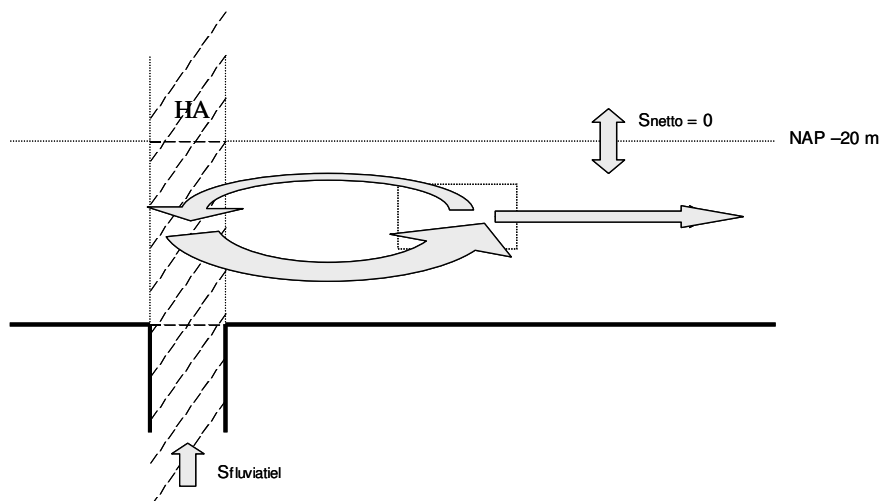
2.7 Verspreiding van de zandemissie van Loswal Noord

De verspreiding van de zandfractie van de massa-emissie is van belang voor de bepaling van de netto bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het Nederlands kustfundament. De zandemissie van Loswal Noord is geschematiseerd in een zuidelijke en een noordelijke richting langs de kust:

- de zandemissie van Loswal Noord in noordelijke richting langs de kust wordt jaargemiddeld aan het netto zandtransport richting het noorden meegegeven
- de zandemissie van Loswal Noord in zuidelijke richting langs de kust wordt getransporteerd door de ebstroom, die in één getijdenbeweging zand van Loswal Noord tot aan de Maasgeul of Maasmond kan brengen

Er wordt aangenomen dat de zandemissie van Loswal Noord in zuidelijke richting volledig sedimenteert in de Maasgeul en Maasmond, aangezien de stroomsnelheid en de invloed van golven en stroming in de Maasgeul en Maasmond kleiner zijn.

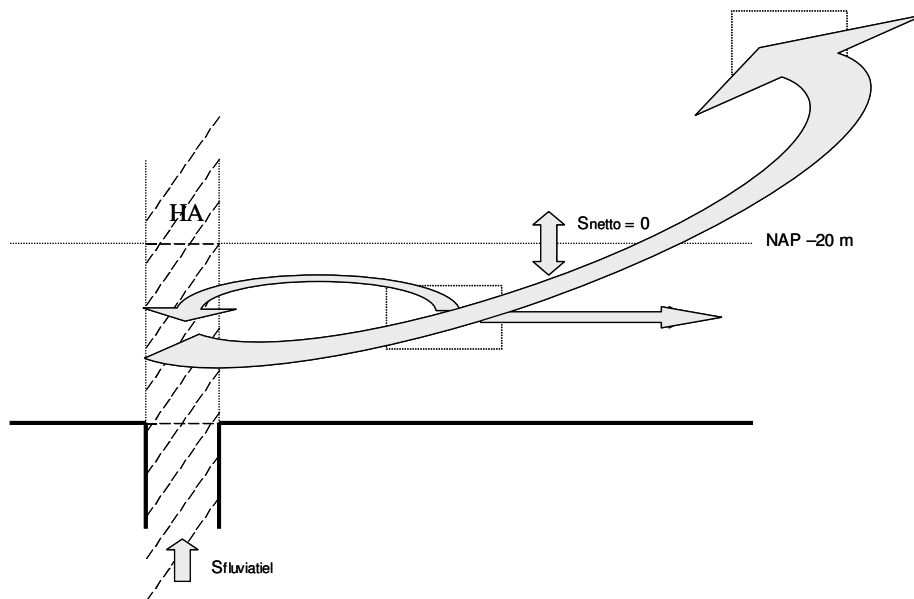
De zandemissie van Loswal Noord in noordelijke richting langs de kust draagt bij aan de zandvoorraad van het kustfundament. De zandemissie van Loswal Noord in zuidelijke richting sedimenteert in de Maasgeul en Maasmond, wordt weer opgebaggerd en van 1964 tot 1996 op Loswal Noord gestort en wordt daarom ook wel retourtransport genoemd. De zandemissie in zuidelijke richting wordt als het ware van 1964 tot 1996 gevangen in een bagger/stort cyclus, waardoor het niet voor het kustfundament verloren gaat, zie Figuur 2-3:



Figuur 2-3: schematische voorstelling gesloten zandsysteem Loswal Noord in kustfundament van 1964 tot 1996

Het opnieuw storten van retourtransport levert een schijnbare bijdrage aan de zandvoorraad van het kustfundament. Het sediment van het retourtransport is echter gelabeld als 'oud', zie paragraaf 2.7, en kan niet netto bijdragen aan de zandvoorraad van het kustfundament, waardoor deze fout niet gemaakt wordt.

Na 1996 wordt de baggerspecie van de vaargeul en haven van Rotterdam op Loswal Noordwest gestort, een stortplaats buiten het kustfundament, zie Figuur 1-1. De zandemissie van Loswal Noord in zuidelijke richting na 1996 draagt dus niet bij aan de zandvoorraad van het kustfundament, zie Figuur 2-4.



Figuur 2-4: schematische voorstelling het open zandsysteem Loswal Noord in kustfundament na 1996

Om de netto bijdrage van Loswal Noord aan het kustfundament na 1996 te kunnen bepalen wordt de verspreiding van de zandemissie van Loswal Noord in zuidelijke en noordelijke richting langs de kust hoofdstuk 3 onderzocht.

3. Zandtransport van Loswal Noord

In hoofdstuk 2 is de zandvoorraad en zandemissie van Loswal Noord van 1964 tot 1996 berekend, zodat de netto bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het Nederlands kustfundament voor die periode kon worden bepaald.

De afname van de netto bijdrage van Loswal Noord na 1996 aan de zandvoorraad van het kustfundament is afhankelijk van de verspreiding van de zandemissie van Loswal Noord. De zandemissie van Loswal Noord in noordelijke richting blijft binnen het kustfundament en gaat niet voor de zandvoorraad van het kustfundament verloren. De zandemissie van Loswal Noord in zuidelijke richting sedimenteert in de Maasgeul en Maasmond, wordt opgebaggerd en na 1996 op Loswal Noordwest gestort en verlaat zo het kustfundament.

In dit hoofdstuk wordt de verspreiding van de zandemissie van Loswal Noord onderzocht aan de hand van analyses van meetgegevens en literatuur. In paragraaf 3.2 wordt na een korte inleiding het begin van zandtransport beschreven. Paragraaf 3.3 beschrijft de hydrodynamische condities ter plaatse van Loswal Noord, die zandtransport mogelijk maken. In de laatste paragraaf wordt het zandtransport van Loswal Noord geformuleerd. De zandtransportformulering wordt gebruikt om de verdeling van de zandemissie van Loswal Noord te kunnen bepalen.

3.1 Inleiding

Natuurlijk zandtransport in de kustzone wordt voornamelijk bepaald door golven en stroming. Golven in de meeste gevallen zand in suspensie, waarna stroming het sediment transporteert.

Zandtransport is typisch te onderscheiden in bodemtransport en suspensietransport. Zand in bodemtransport wordt 'rollend' of 'springend' getransporteerd en is bijna voortdurend in contact met de bodem. Zand in suspensietransport staat alleen onder invloed van frictie met het omringende water en wordt meegenomen met de stroming. Of zand in bodemtransport of in suspensietransport gaat hangt voornamelijk af van de intensiteit van de waterbeweging, maar voordat zand getransporteerd kan worden moet het eerst in beweging worden gebracht.

3.2 Begin van zandtransport

Zandkorrels kunnen in beweging worden gebracht als de waterbeweging sterk genoeg is om de korrels los te maken uit het sediment. De waterbeweging net boven een sedimentlaag kan door verschillende processen als golven, getij of wind worden gegenereerd.

Sedimentkorrels kunnen worden losgemaakt uit de sedimentlaag als de schuifspanning op een korrel of bodemschuifspanning de opneembare schuifspanning of kritische schuifspanning overschrijdt. De waarde van de kritische schuifspanning verschilt per zandbodem en is afhankelijk van de relatieve dichtheid, korrelgrootteverdeling, viscositeit, cohesie, mineralogisch opbouw en van de aanwezigheid van organisch materiaal. Er wordt aangenomen dat de bepalende kritieke schuifspanning voor zandtransport van Loswal Noord de kritieke schuifspanning is van het sediment dat typerend hoort bij het grootste oppervlak * tijd van de toplaag van Loswal Noord.

3.2.1. Actieve laag

Enkele maanden na de laatste stort is het sediment van de toplaag geconsolideerd en is de maximale kritieke schuifspanning bereikt. Het sediment in de toplaag staat in uitwisseling met het sediment in de omgeving, waardoor een actieve laag ontstaat (zie ontwikkeling korrelgrootteverdeling van toplaag Loswal Noord in Bijlage G).

De actieve laag volgt de morfologie van het bodemprofiel, waardoor het sediment van de actieve laag in oppervlak en tijd bepalend is voor de kritieke schuifspanning voor de zandemissie van Loswal Noord, zie paragraaf 2.4.2/stabiliteit van de stortlaag.

Het sediment in de actieve laag is granulair, waardoor de kritieke schuifspanning kan worden bepaald door het evenwicht van krachten en momenten van en om een sedimentkorrel. De stortlaag onder de actieve laag is gelaagd. Het klei- en slibgehalte in de zandlagen is <5%, waardoor wordt aangenomen dat de ontwikkeling van de actieve laag geen invloed ondervindt van cohesiekrachten.

3.2.2. Kritische schuifspanning

Een sedimentkorrel (granulair) kan in beweging worden gebracht door de korrel op te tillen of om te rollen. De krachten die bepalend zijn om een korrel in beweging te brengen zijn sleepkrachten, liftkrachten en de gravitatiekracht. Sleepkrachten ontstaan door frictie van water met het oppervlak van de korrel. Liftkrachten ontstaan door lage drukgebiedjes boven de korrel door convergentie van stroomlijnen.

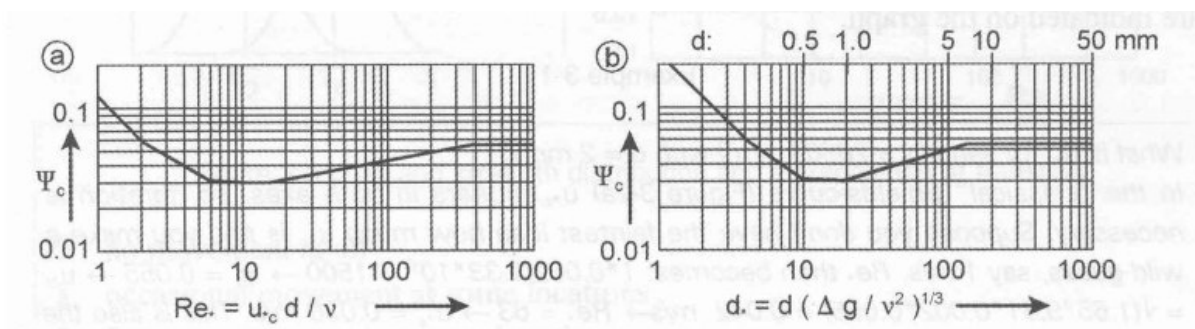
Schilders (1936) heeft voor granulair materiaal een relatie gevonden tussen de kritische schuifspanning (τ_c) en een dimensieloze schuifspanning (ψ_c):

$$\psi_c = \tau_c / (\rho_s - \rho)gD = u_{*c}^2 / \Delta g D = f(\text{Re}_*) = f(u_{*c} D / \nu)$$

$$u_{*c} = \sqrt{\tau_c / \rho} = u \sqrt{g / C}$$

waarin,

- ρ = dichtheid water
- ρ_s = dichtheid sediment
- τ_c = kritische schuifspanning
- g = gravitatie versnelling
- D = korreldiameter
- Re = Reynoldsgetal
- u_* = kritische grenslaag stroomsnelheid
- ν = kinematische viscositeit

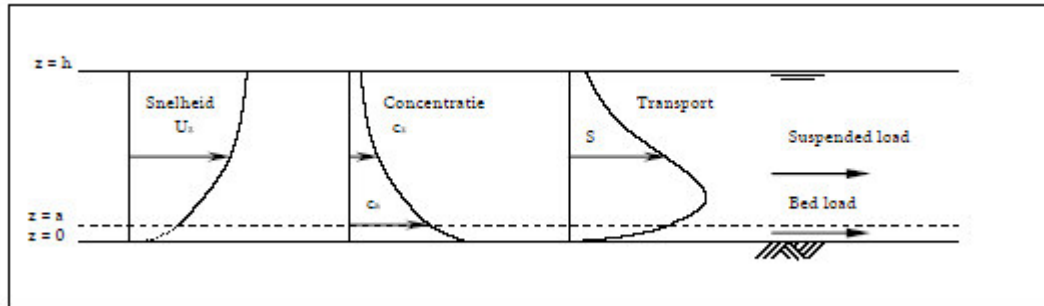


Figuur 3-1: kritische schuifspanning voor granulair sediment volgens Shields

De mediane korrelgrootte d_{50} van sediment uit de actieve laag ligt tussen de 300 en 500 μm , zie Bijlage G, Figuur 7-17, Figuur 7-18, Figuur 7-19 en Figuur 7-25. De kritische schuifspanning van het sediment uit de actieve laag van Loswal Noord volgens Shields is 0,17 resp. 0,24 N/m^2 .

3.2.3. Zandtransport

Waterbeweging net boven de toplaag van Loswal Noord kan de kritieke schuifspanning van het sediment overschrijden, waardoor een sedimentkorrel wordt opgewoeld en deze verder in suspensie of over de bodem kan worden getransporteerd.



Figuur 3-2: principeschets sedimenttransport curve door stroomsnelheid en concentratie in een stationaire omgeving

De stroomsnelheid neemt logaritmech af met waterdiepte door frictie met de bodem. De concentratie gesuspendeerd sediment neemt toe met de waterdiepte. Het sedimenttransport krijgt in een natuurlijke stationaire situatie een curve als weergegeven in Figuur 3-2. De waterbeweging ter plaatse van Loswal Noord is echter niet stationair, maar turbulent, waardoor variaties in de snelheidsgradiënt voorkomen en sediment sterker dan door stationaire waterstromen over de waterkolom kan worden verdeeld. Het sedimenttransport van Loswal Noord varieert dus in grootte en richting over de verticaal.

De concentratie opgewoeld sediment wordt bepaald door de mate van overschrijden van de kritieke schuifspanning. De intensiteit van de waterbeweging (mate van overschrijden van de kritieke schuifspanning, als $\tau_b > \tau_c$) en de duur in een bepaalde richting bepalen het sedimenttransport. Sterke waterbeweging met hoge sedimentconcentraties treden typisch op tijdens storm, maar gezien de beperkte stormperiode hoeft het sedimenttransport tijdens storm niet bepalend te zijn voor de jaargemiddelde zandemissie van Loswal Noord.

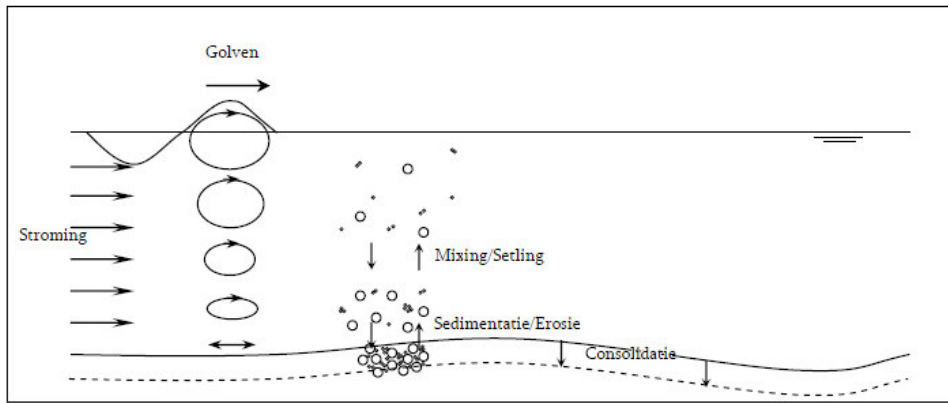
De verspreiding van de zandemissie van Loswal Noord kan worden bepaald uit de jaargemiddelde overschrijdingskans van de kritische schuifspanning in een bepaalde richting en de intensiteit van het overschrijden daarvan.

3.3 Hydrodynamica

De meest bepalende processen die waterbewegingen aan de toplaag van Loswal Noord kunnen veroorzaken zijn golven, getijdenstromen, dichtheidsstromen en windgedreven stromen. Golven woelen het sediment op; stroming als getijdenstromen, dichtheidstromen en windgedreven stromen transporteren het opgewoelde sediment.

3.3.1. Golven

Golven zorgen voor een oscillerende waterbeweging, die in sterkte afneemt met de waterdiepte. De oscillerende waterbeweging door golven kan in relatief ondiep water de bodem raken, waardoor het sediment van de bodem een heen- en weergaande stroming ondervindt.



Figuur 3-3: principeschets opwoelen van sediment door bodemstroming van oscillerende golfbeweging

De waterbeweging door golven aan de bodem is afhankelijk van de golfhoogte (H_s), de golfperiode (T) en de waterdiepte (h). De grenswaarde van de invloed van waterbeweging door golven kan worden benaderd door:

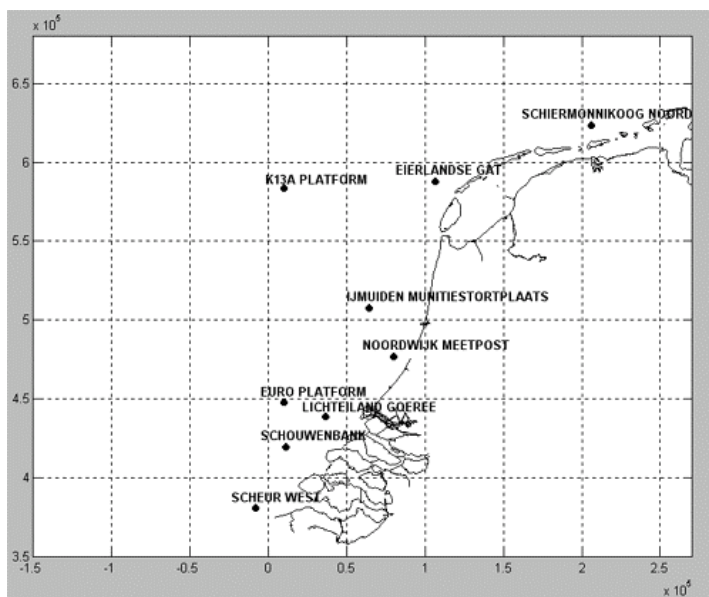
$$h < 0.1gT^2 \text{ óf } h < 10H_s$$

De waterdiepte (h) boven de toplaag van Loswal Noord is variabel in de tijd, aangezien het volume van Loswal Noord zich heeft ontwikkeld. Loswal Noord is in stortvakken ingedeeld, die één voor één zijn gevuld tot -10 m NAP. In de 'steady state' periode ligt de toplaag van Loswal Noord jaargemiddeld op een constante hoogte van -13 m NAP, zie syllabus morfologische plaatjes Loswal Noord, hoogtekaarten.

De toplaag van Loswal Noord met waterdiepte (h) -10 en 15 m NAP kan een oscillerende golfstroming ondervinden van een golfhoogte van $1,0$ resp. $1,5$ m.

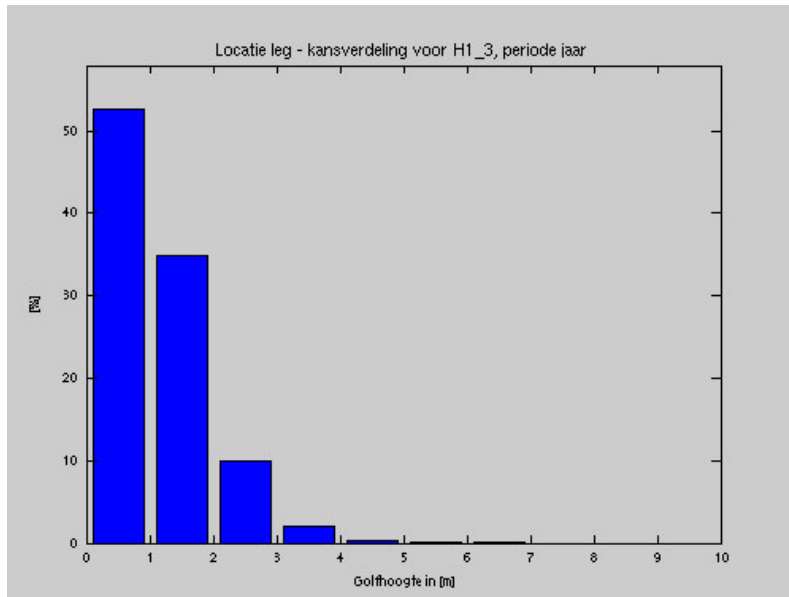
Golfdata Loswal Noord

De golfhoogte, golfperiode en de kans van voorkomen worden voor Loswal Noord geanalyseerd uit een dataset van 1979 tot 2002 van Lichtheideiland Goeree.



Figuur 3-4: locatie meetstations, bron: RIKZ

De significante golfhoogte (H_s), de gemiddelde waarden van het hoogste 1/3 deel van de golven in het golfveld, is uitgezet tegen de kans van voorkomen.



Figuur 3-5: golfhoogte overschrijdingskans lichteiland Goeree, bron: RIKZ

De golf die wordt gemeten bij Lichteiland Goeree bestaat uit superpositie van verschillende golven, welke met een Foeriertransformatie worden omgezet naar een groot aantal sinusvormige golfbewegingen met verschillende frequentie en amplitude. De energie van een golf bestaat uit de amplitude (gelijk aan de halve golfhoogte) in het kwadraat en de golfperiode die omgekeerd gelijk is aan de frequentie. De verzameling energiewaarden per frequentie vormt het energiedichtheidspectrum of golfspectrum.

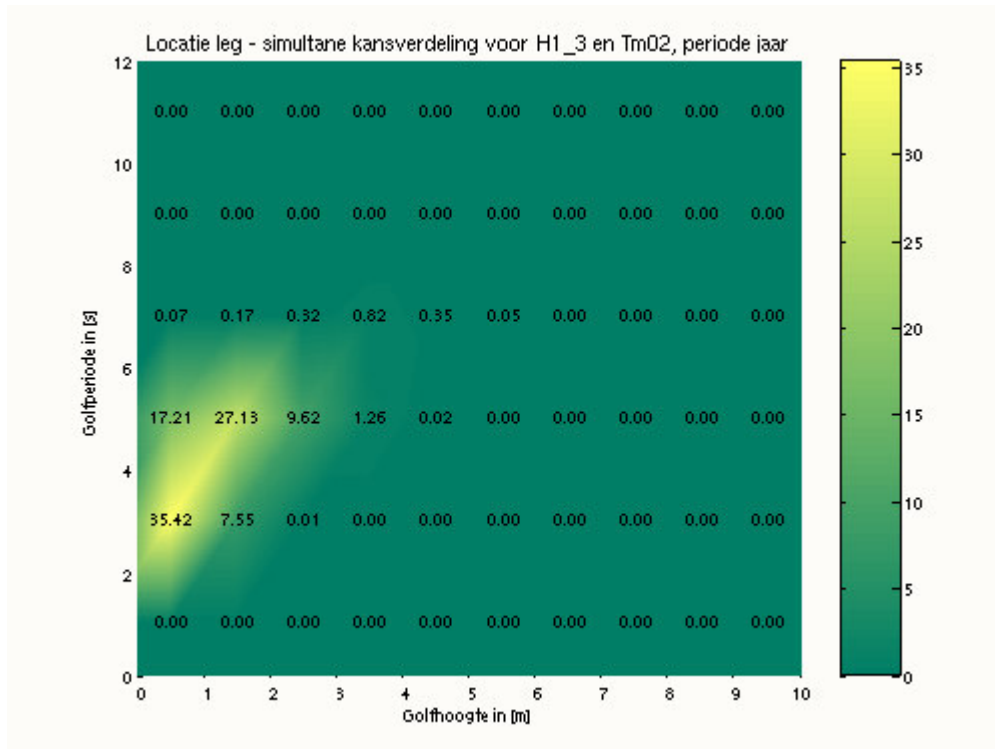
Het golfspectrum geeft een juiste beschrijving van het golfveld, maar is complex. De golfperiode voor delen van het golfspectrum is te geven door het golfveld te karakteriseren als:

$$m_n = \sum (s(f) f^n \Delta f)$$

waarin,

- $s(f)$ = energiedichtheid als functie van de frequentie f
- n = orde van het moment
- Δf = breedte van de frequentieband

De golfperiode $T_{m02} = \sqrt{m_0/m_2}$ (is ongeveer equivalent aan de gemiddelde golfperiode in het tijddomein) is uitgezet tegen de significante golfhoogte en de kans van overschrijden.



Figuur 3-6: simultane kansverdeling Hs Tm02, bron: RIKZ

De piekperiode (T_p) is de golfperiode die hoort bij de energiepiek in het golfspectrum. Een correlatie wordt aangenomen tussen de significante golfhoogte en de piekperiode in de geelgekleurde spreiding. De correlatie is analytisch gezien niet lineair, maar wordt voor de eenvoud representatief beschouwd.

Bodemschuifspanning door golven Loswal Noord

De bodemschuifspanning door golfstromen voor een ruwe bodem in een turbulente omgeving is complex. Jonsson (1966) heeft voor deze condities experimenten uitgevoerd om de bodemschuifspanning door golven te bepalen. Jonsson (1966) geeft een empirische relatie voor de bodemschuifspanning in relatie tot de stroomsnelheid amplitude (\hat{u}_w) vlak bij de bodem met een golf-frictiefactor (f_w):

$$\tau_w = 0,5\rho f_w (\hat{u}_w)^2 \sin^2(\omega t)$$

De maximale bodemschuifspanning is dan:

$$\hat{\tau}_w = 0,5\rho f_w (\hat{u}_w)^2$$

waarin,

- ρ = dichtheid water
- τ_w = bodemschuifspanning door golven
- f_w = golf-frictiefactor
- \hat{u}_w = stroomsnelheid amplitude

De stroomsnelheid aan de bodem is nul, maar neemt omgekeerd toe met de waterdiepte. De golfstroming aan het sedimentoppervlak bouwt een grenslaag (δ_w) op. De grenslaag kan zich niet volledig ontwikkelen door de korte golfperiode. De snelheid amplitude (\hat{u}_w) beschrijft de stroomsnelheid net boven de grenslaag:

$$\hat{u}_w = \pi H_{rms} / T_p \sinh(kh)$$

De golf-frictiefactor hangt af van het Reynoldsgetal en van de relatieve ruwheid (a_0/r)

$$a_0 = \hat{u}_w T_p / 2\pi$$

Er is een bodemruwheid (r) aangenomen van 0,05 m voor een geribbelde bodem in een turbulente omgeving.

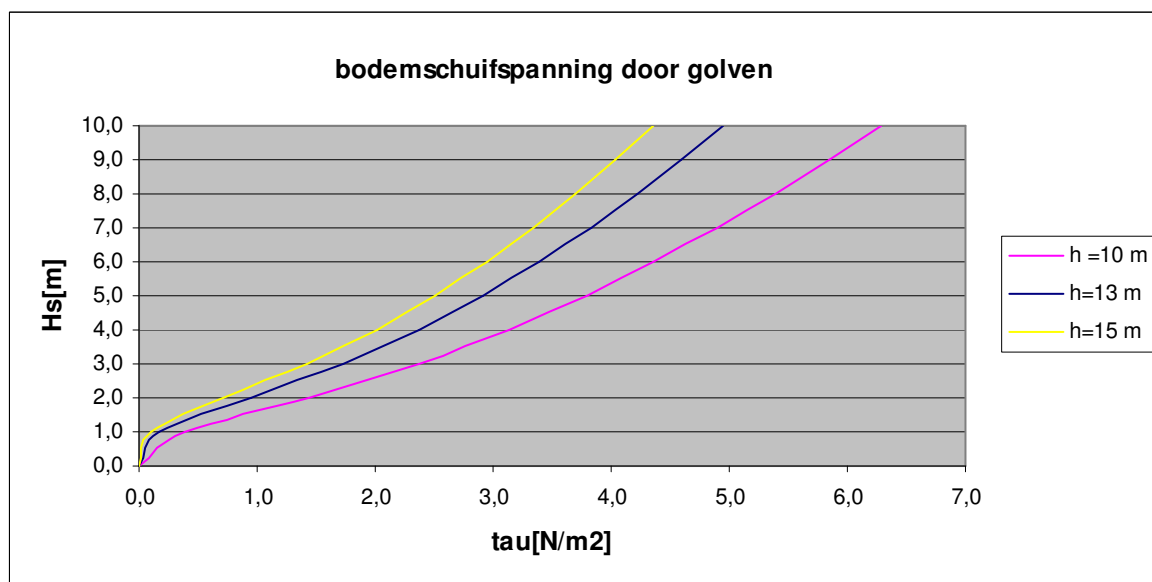
De empirische beschrijving voor de golf-frictiefactor (f_w) in een turbulente omgeving (Re is hoog) van Jonsson (1966) is herschreven door Swart (1976) als:

$$f_w = \exp[-5,977 + 5,213(a_0 / r)^{-0,194}] \quad \text{als } a_0 / r > 1,59$$

$$f_w = 0,30 \quad \text{als } a_0 / r < 1,59$$

Er bestaat enige discussie over de bovenlimiet van $f_w = 0,30$ in bovenstaande beschrijving. Sleath (1984) stelt zelfs dat de golf-frictiefactor proportioneel blijft aan de ratio (a_0/r). Een relatieve ruwheid (a_0/r) < 1,59 komt voor Loswal Noord echter niet voor.

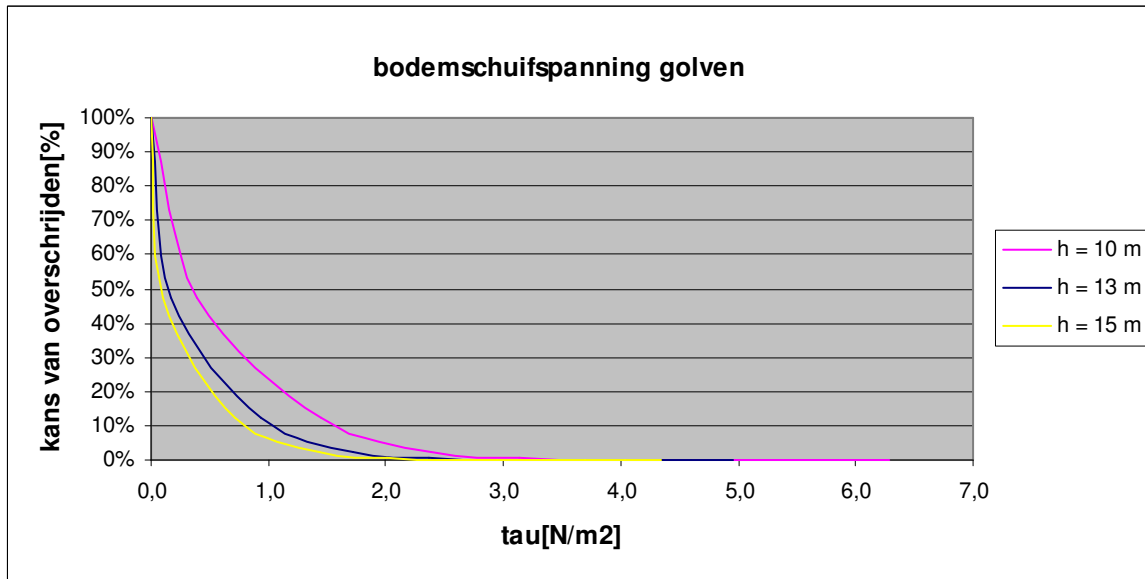
De correlatie uit Figuur 3-6 tussen H_s en T_p is aangenomen, waardoor de bodemschuifspanning door golven kan worden uitgezet tegen de significante golfhoogte H_s .



Grafiek 3-1: bodemschuifspanning door golven

De kritieke schuifspanning van het sediment uit de actieve toplaag van Loswal Noord kan door golfstroming van golven met een significante golfhoogte $H_s > 1,0$ m worden overschreden, uitgaande van een gemiddelde waterdiepte -13 m NAP en d_{50} $300 \mu\text{m}$.

Aangezien de kans van voorkomen van een significante golfhoogte H_s bekend is kan de kans van voorkomen van bodemschuifspanning door golven worden gegeven.



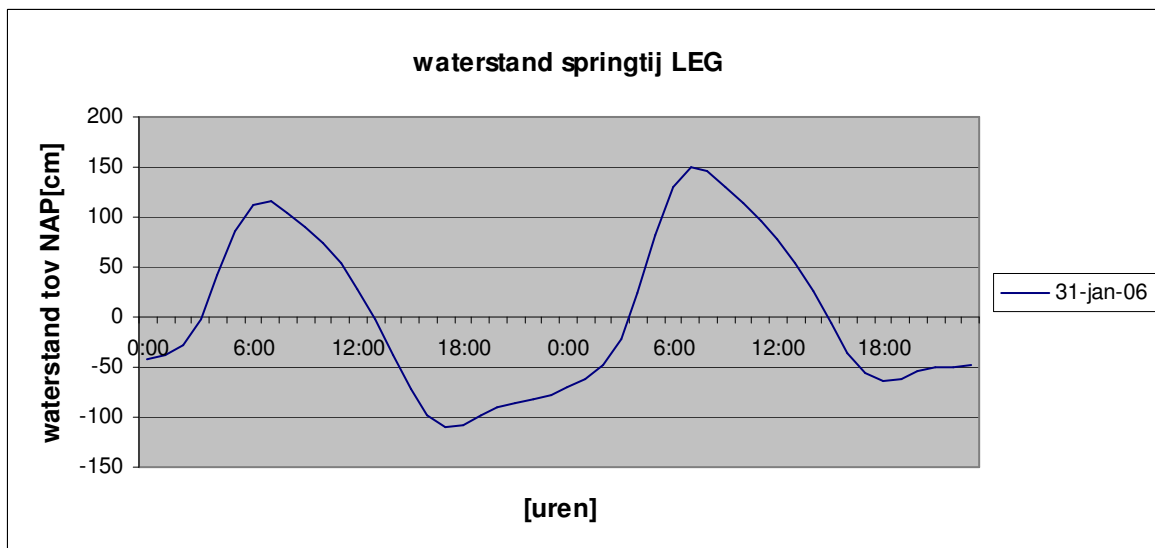
Grafiek 3-2: bodemschuifspanning en de kans van voorkomen

De kritieke schuifspanning van het sediment uit de actieve toplaag van Loswal Noord kan door golfstroming 47 % van de tijd worden overschreden, uitgaande van een gemiddelde waterdiepte -13 m NAP en d_{50} 300 μm .

Golfstroming is een oscillerende stroming, het sediment dat wordt opgewoeld kan alleen door golfasymmetrie getransporteerd worden. De stationaire stroom door getijden, dichtheidsverschillen en wind is in de meeste gevallen sterker dan de stationaire stroom door golfasymmetrie en is bepalend voor transport van sediment in suspensie.

3.3.2. Getijdenstromen

Getijdenstromen zijn stationaire stromen, maar variëren over de getijdenperiode in richting en snelheid volgens een sinusachtige kromme. Ter plaatste van Loswal Noord is de vloedstroom noordelijk en de ebstroom zuidelijk langs de kust gericht. De amplitude van de getijdenkromme varieert voornamelijk met de onderlinge stand van zon en maan en is maximaal tijdens springtij en minimaal tijdens doortij. De getijdenkromme is asymmetrisch en de waterverplaatsing van de vloedstroom en de ebstroom zijn gelijk, waardoor een asymmetrie in stroomsnelheid ontstaat.

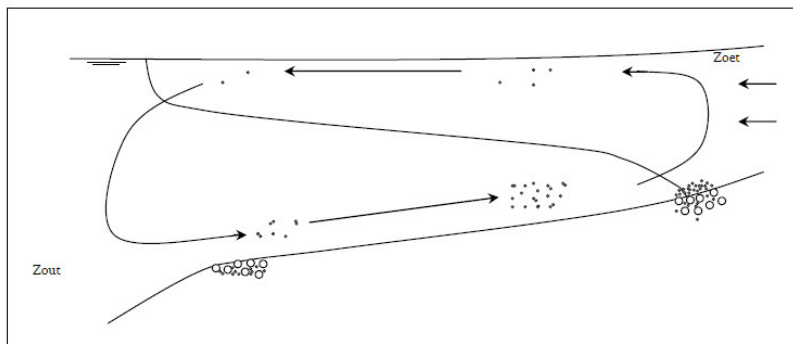


Grafiek 3-3: gemodelleerde waterstand Lichteiland Goeree op 31 januari 2006 springtij, bron: "www.getij.nl, RIKZ"

De gradiënt aan de waterstandkromme is de stroomsnelheid. De ebstroom is minder sterk dan de vloedstroom, maar duurt wat langer. De bodemschuifspanning is afhankelijk van het kwadraat van de stroomsnelheid, waardoor de kritische bodemschuifspanning door de vloedstroom jaargemiddeld sterker zal worden overschreden dan door de ebstroom.

3.3.3. Dichtheidsstromen

Dichtheidsstromen ontstaan door een verschil in dichtheid tussen twee vloeibare volumes. Het volume met hogere dichtheid stroomt naar het laagste punt (water in een glas olie). In een stationaire situatie zal zich een evenwicht instellen tussen de zoetwateruitstroom en het dichtheidsgradiënt, zie Figuur 3-7.



Figuur 3-7: principe schets estuarine-circulatie

De uitmonding van een rivier in zee, zoals bij de Maasmond, is een voorbeeld van een stationaire situatie met een zekere mate van seizoenvariabiliteit. Jaargemiddeld stroomt er uit de Maasmond $2.300 \text{ m}^3/\text{s}$ zoetwater de Noordzee in. Het zoete water veroorzaakt een dichtheidsgradiënt door een verschil in zoutgehalte. Het lichtere zoete water stroomt over het zwaardere zoute water heen en vormt een zogenaamde wig. Het dichtheidsgradiënt of zoutgradiënt veroorzaakt een circulatie van water in het verticale vlak en wordt ook wel estuarine-circulatie genoemd.

Estuarine-circulatie door de zoetwaterafvoer uit de Maasmond reikt ongeveer 15 tot 35 km uit de kust, afhankelijk van het afvoerdebiet, en buigt af richting noordoosten onder invloed van de Corioliskracht. Aan de bodem is de dichtheidsstroom richting de Maasmond gericht en aan het wateroppervlak van de Maasmond vandaan. Sediment in suspensie in de bovenste lagen van de

waterkolom zal ten gevolge van esturine-circulatie van de Maasmond af worden getransporteerd en opgewoeld sediment net boven de bodem juist naar richting de Maasmond toe. De stroomsnelheid, die wordt veroorzaakt door esturine-circulatie, neemt af met de afstand tot de Maasmond. In Bijlage B, Figuur 7-16 is de bodemreststroming voor de Zuid Hollandse kust weergegeven. In Bijlage B, Figuur 7-15 is de reststroming 7 m boven de bodem voor de Zuid Hollandse kust weergegeven. In deze figuren is de esturine-circulatie te herkennen.

Het zuidelijke gedeelte van Loswal Noord, het gedeelte dichtst bij de Maasmond, heeft een bodem reststroming van 0,10 tot 0,20 m/s of meer, (Spanhoff & Van Heuvel & De Kok, 1990). Noordelijker is de dichtheidsstroom minder sterk en volgt de bodemreststroming steeds meer de stroming langs de kust naar het noorden.

De bodemstroomsnelheid door dichtheidsstroming kan in sommige gevallen de kritische bodemschuifspanning net overschrijden. Dichtheidsstroming alleen is echter niet bepalend voor de jaargemiddelde zandemissie van Loswal Noord. Wel kan de dichtheidsstroming de getijdenstroom meehelpen en opgewoeld sediment transporteren.

3.3.4. Windgedreven stromen

De frictie van een luchtstroom met het oppervlak van het zeewater zorgt dat er stroming ontstaat. De stroming die wind veroorzaakt heeft aan het oppervlak een richting gelijk aan de windrichting, die afneemt met de diepte en zelfs tegengesteld aan de windrichting kan worden.

Storm met aanlandige wind duwt het wateroppervlak richting de kust, waardoor een verhoging van de waterstand ontstaat. Afhankelijk van de hoek van inval ontstaat er een stroming in de bovenste laag van de waterkolom naar de kust toe, in de onderste laag van de waterkolom een stroming van de kust af en een stroming langs de kust. De stroming langs de kust werkt de getijdenstroom tegen of mee en draagt als zodanig bij aan de bodemschuifspanning en dus aan mogelijk sedimenttransport. De stroming naar de kust toe in de bovenste laag van de waterkolom kan sediment in suspensie naar de kust toe transporteren, de stroming van de kust af in de onderste laag van de waterkolom kan sediment, voornamelijk in bodemtransport, van de kust af transporteren.

Storm met een aflandige wind veroorzaakt stroming omgekeerd aan een storm met aanlandige wind, alleen de verlaging van de waterstand is echter minder dan tijdens aanlandige wind, die de watermassa tegen een kust opdrijft. Storm met een aflandige wind genereert een kleine golfhoogte in de kustzone, door de beperkte strijklengte, waardoor betrekkelijk weinig sediment door golfstroming in suspensie geraakt. Het sedimenttransport door een aflandige wind is relatief laag en heeft voornamelijk een component naar de kust toe en een component langs de kust.

De neer die ontstaat bij een aanlandige wind is het enige mechanisme, dat sediment zeewaarts zou kunnen transporteren en zo een verliespost van de zandvoorraad van het Nederlands kustfundament zou kunnen zijn. De mate van sedimenttransport in de neer wordt bepaald door de hoek van inval tussen de windrichting en de kustlijn, de duur van de storm, de aanwezigheid van golven, temperatuur, luchtdruk e.d. Er wordt echter in de definitie van het kustfundament aangenomen dat het netto sedimenttransport over de -20 m NAP lijn verwaarloosbaar is. Daaruit volgt dat het sedimenttransport van een neer bij aanlandige wind geen significante invloed heeft op de zandvoorraad van het Nederlands kustfundament. In de analyse van sedimenttransport van Loswal Noord heeft windstroming dus alleen invloed op stroming langs de kust. Windstroming versterkt of verzwakt de getijdenstroom.

3.3.5. Jaargemiddelde stationaire bodemstromen Loswal Noord

Getijdenstroming, dichtheidsstroming en windgedreven stroming vormen boven Loswal Noord een complex 3D tijdafhankelijk stroomprofiel. De erosie van Loswal Noord is voornamelijk afhankelijk van de stroomsnelheid, -richting en -duur aan de toplaag van het sediment. Voor een eerste orde-grootte benadering is aangenomen dat de richting, intensiteit en duur van de stroming net boven de toplaag van Loswal Noord bepalend is voor de verdeling van de jaargemiddelde zandemissie.

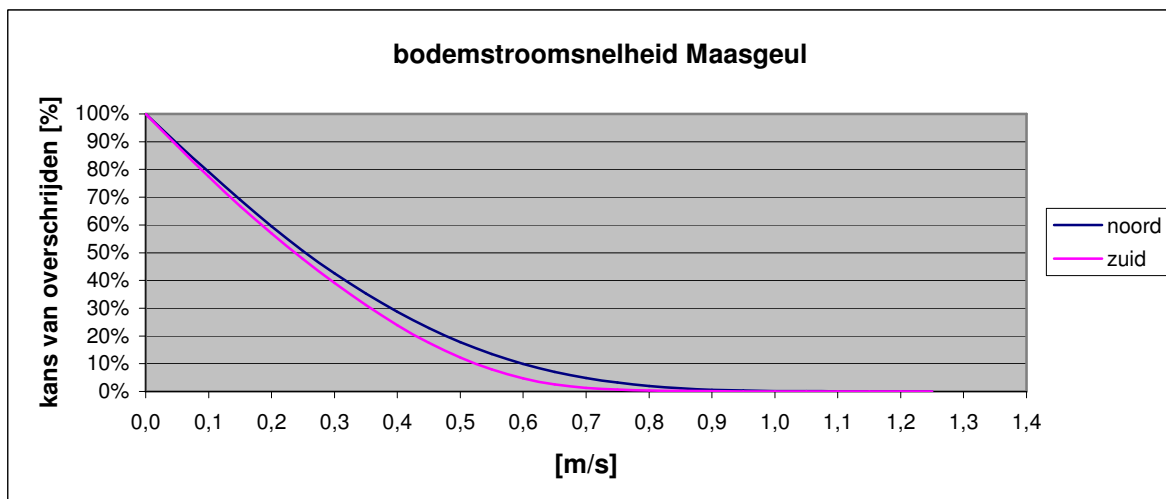
De stroomsnelheid net boven de toplaag van Loswal Noord is niet bekend. Er wordt aangenomen dat de waarde en richting van de stroomsnelheid tot een halve meter boven de bodem van een stroommeetpaal in de Maasmond representatief zijn voor de bodemstroming van Loswal Noord.

Stroommeetpaal Maasmond

De stroomsnelheid en richting van -15,0 m tot -14,5 m NAP zijn in de Maasgeul door de stroommeetpaal om de 10 minuten gemeten van 1 juli 2001 tot en met 31 december 2005.

De kans van voorkomen van een stroomsnelheid is berekend met drempelwaarden van 0,05 m/s. Het stromingsspectrum is vereenvoudigd tot de stroming met een component langs de kust in noordelijke richting ($>135^\circ <315^\circ$) en de stroming met een component langs de kust in zuidelijke richting ($<135^\circ >315^\circ$). Er zijn dus twee datasets, waarin de kans van voorkomen van een bepaalde stroomsnelheid met drempelwaarde 0,05 m/s staat beschreven. De dataset met stroommetingen met richting $>135^\circ <315^\circ$ bepaalt de zandemissie in noordelijke richting langs de kust. De dataset met stroommetingen met richting $<135^\circ >315^\circ$ bepaalt de zandemissie in zuidelijke richting langs de kust. De stroommetingen zijn voor een eerste orde-grootte benadering niet ontbonden in vectoren loodrecht op en langs de kust.

De kans van voorkomen van een bodemstroomsnelheid met een noordelijke en zuidelijke richting langs de kust kan worden gegeven.



Grafiek 3-4: bodemstroomsnelheid van de vloed- en ebstroom in de Maasgeul

Uit Grafiek 3-4 blijkt dat een hoge bodemstroomsnelheid in noordelijke richting langs de kust vaker voorkomt dan in zuidelijke richting langs de kust. Deze asymmetrie is herkenbaar uit de analyse van de asymmetrie van de getijdenstroom, zie Grafiek 3-3.

De bodemschuifspanning is te berekenen uit de bodemstroomsnelheid (voor $h = 0,50$ m) met een aangenomen bodemruwheid ($r=0,05$ m; ribbels en turbulente omgeving), uitgaande van niet-

cohesieve krachten. Een eenvoudige benadering van de bodemschuifspanning kan worden gegeven met de logaritmische snelheidsverdeling van Prandtl –Von Karman:

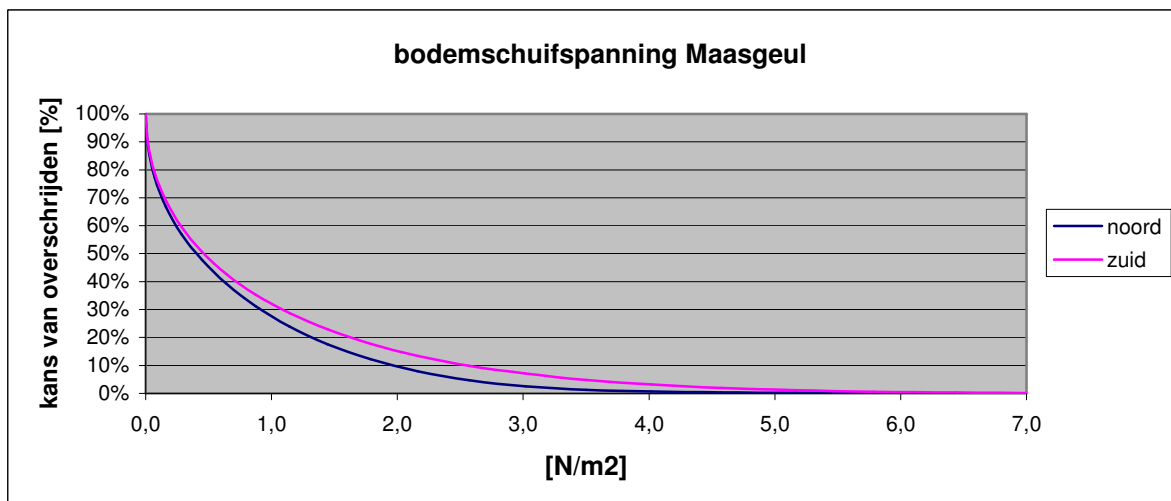
$$\tau_c = (\rho g u^2) / C^2$$

$$C = 18 \log(12h / r)$$

waarin,

ρ = dichtheid water
 τ_c = bodemschuifspanning door stroming
 g = gravitatie versnelling
 u = bodemstroomsnelheid
 C = Chezy coëfficiënt

De overschrijdingskans van de bodemschuifspanning is uit Grafiek 3-4 en bovenstaande formulering berekend en gegeven in Grafiek 3-5:

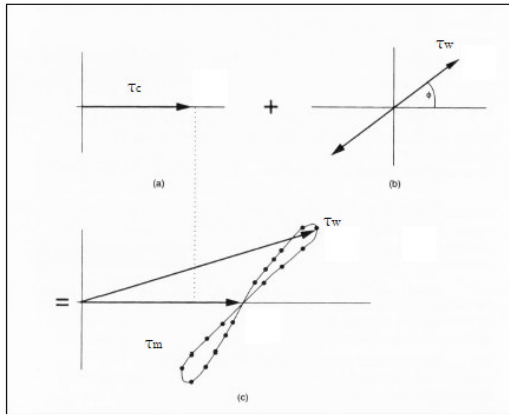


Grafiek 3-5: bodemschuifspanning en kans van overschrijden

De kritische bodemschuifspanning voor korrelgrootte d_{50} 300 μm en d_{50} 500 μm is resp. 0,17 N/m² en 0,24 N/m². Een bodemstroomsnelheid vanaf 0,15 m/s kan een bodemschuifspanning genereren, die de kritische bodemschuifspanning van sediment met d_{50} 300 μm kan overschrijden. Een bodemstroomsnelheid >0,15 m/s komt in noordelijke richting langs de kust 69 % van de tijd en in zuidelijke richting 67 % van de tijd voor.

3.4 Zandtransport formulering

Het zandtransport van Loswal Noord wordt bepaald door de combinatie van golven en stroming. Soulsby (1997) heeft aan de hand van Arnskov e.a. (1993) en Sleath (1990) een resultante van de bodemschuifspanning door golven en stroming beschreven. De resultante van de bodemschuifspanning (τ_m) bestaat uit een stationaire component (τ_c) veroorzaakt door stroming en een oscillerende component (τ_w) veroorzaakt door golven.



Figuur 3-8: vectoriele voorstelling gecombineerde bodemschuifspanning door golven en stroming

De resulterende bodemschuifspanning is door Soulsby (1997) als functie van de bodemschuifspanning door golven en stroming geformuleerd als:

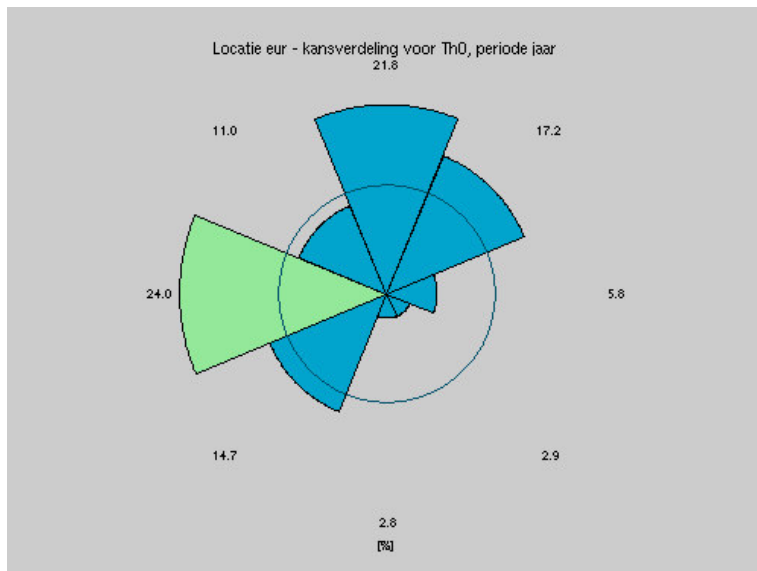
$$\tau_m = \tau_c \left[1 + 9 \left(\frac{\tau_w}{\tau_c + \tau_w} \right)^9 \right]$$

De hoek van inval van de golf ten opzichte van de stationaire stroom bepaalt de maximale resulterende bodemschuifspanning (τ_{max}), die in Soulsby (1997) is geformuleerd als:

$$\tau_{max} = \sqrt{(\tau_m + \tau_w \cos \phi)^2 + (\tau_w \sin \phi)^2}$$

3.4.1. Maximale bodemschuifspanning door hoek van inval

De stroomrichting van de stationaire stroom wordt constant langs de kust genomen $\approx 45^\circ$, de golfrichting is bepaald door het golfspectrum in segmenten in te delen.



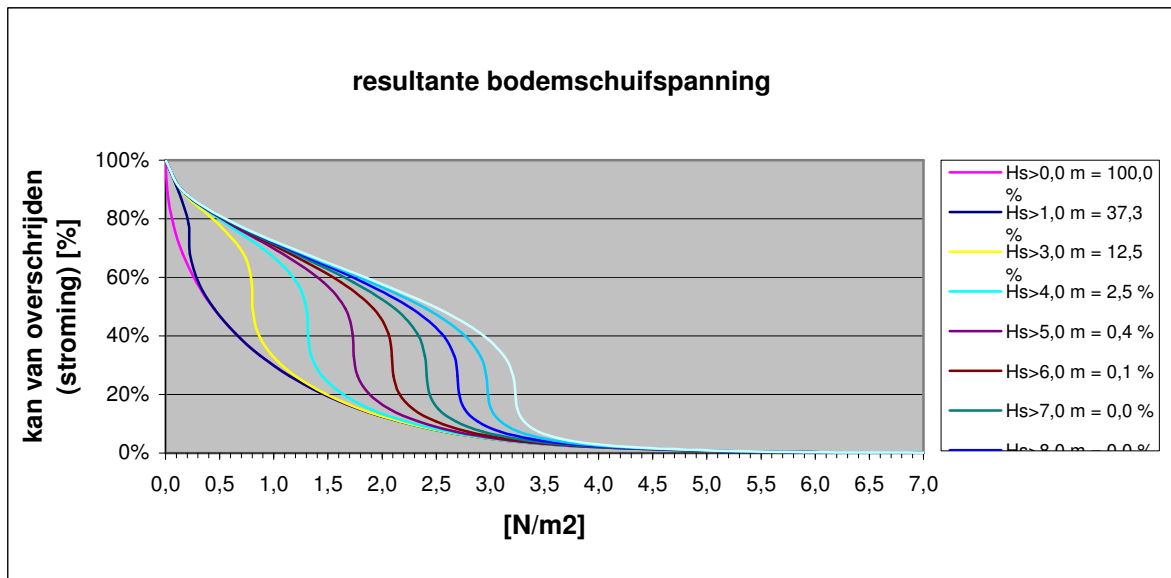
Figuur 3-9: kansverdeling voor Th0

Het product van de cosinus van de hoek van inval en de kans van voorkomen bepaalt de bijdrage van golven aan het netto sedimenttransport langs de kust. Het product is echter voor de langstroom in zuidelijke richting gelijk aan de langstroom in noordelijke richting. Hieruit kan geconcludeerd worden dat golven geen invloed hebben op de relatieve verdeling van de zandemissie van Loswal Noord in noordelijke en zuidelijke richting langs de kust.

3.4.2. Berekening resulterende bodemschuifspanning

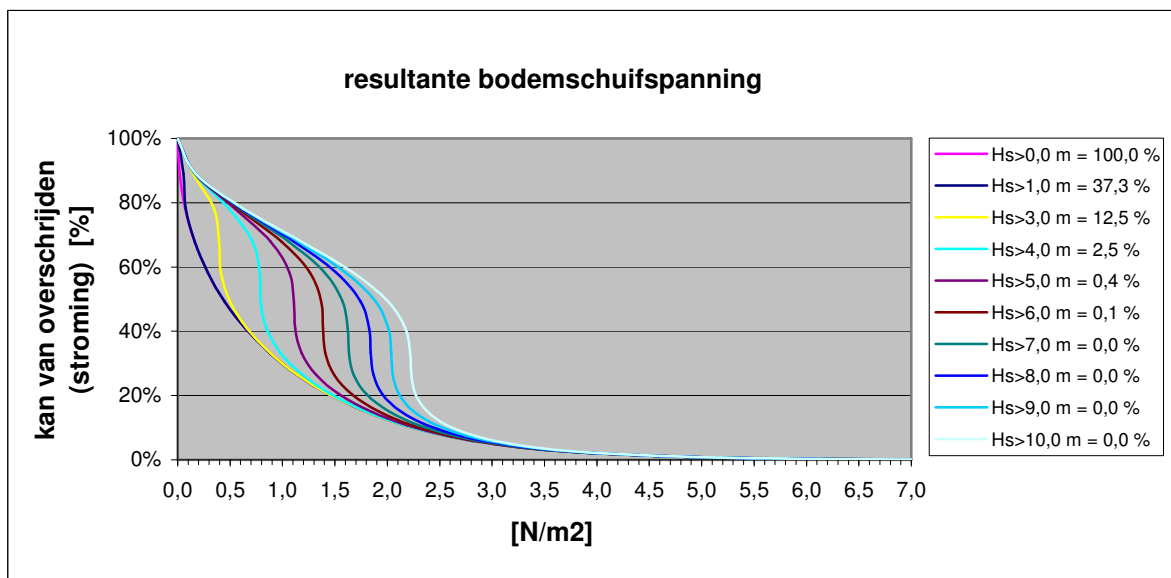
In Grafiek 3-6 en Grafiek 3-7 is τ_m berekend met de formulering in Soulsby (1997) uitgezet tegen de kans van overschrijden van verschillende significante golfhoogtes, τ_w is bepaald in paragraaf 3.3.1 en τ_c is bepaald in paragraaf 3.3.5. De bodemschuifspanning door golven is afhankelijk van de waterdiepte. Als grenswaarden voor de gemiddelde waterdiepte is -10 m en -15 m NAP gekozen, zie syllabus morfologische kaarten, Loswal Noord/hogtekaarten.

In Grafiek 3-6 is een gemiddelde diepte -10 m NAP aangehouden:



Grafiek 3-6: resultante bodemschuifspanning berekend met Soulsby (1997) voor verschillende significante golfhoogten, met gemiddelde waterdiepte -10 m NAP

In Grafiek 3-7 is een gemiddelde diepte -15 m NAP aangehouden:



Grafiek 3-7: resultante bodemschuifspanning berekend met Soulsby (1997) voor verschillende significante golfhoogten, met gemiddelde waterdiepte -15 m NAP

De mate van erosie van Loswal Noord wordt bepaald door intensiteit en kans van voorkomen van de resultante van de bodemschuifspanning door combinatie van golven en stroming.

Er bestaan verschillende beschrijvingen voor de erosietransport door combinatie van golven en stroming. De beschrijvingen zijn veelal gebaseerd op empirische benaderingen en kunnen in verschillende condities sterk van elkaar verschillen. De sedimenttransport formulering van in Van Rijn (1989) luidt:

$$q_b(t) = 0,5\rho_s d_{50} D_*^{-0,3} \left[(\tau_b(t) / \rho)^{0,5} ((\max(0, \tau_b(t) - \tau_{krit}) / \tau_{krit})) \right]$$

waarin,

$\tau_b(t)$ is de instantane bodemschuifspanning door combinatie van golven en stroming
 D_* is een dimensieloze korrelgrootte

Het suspensietransport door stroming is volgens Van Rijn (1989):

$$c_a = 0,015\rho_s (d_{50} / a)(T^{1,5} / D_*^{-0,3})$$

$$T = (\tau' - \tau_{krit}) / \tau_{krit}$$

$$a = \min[\max\{k_c, k_w\}, 0,2h]$$

waarin,

τ' is de tijdgemiddelde effectieve bodemschuifspanning
 k_c is de stroming en k_w de golfgerelateerde effectieve ruwheidshoogte

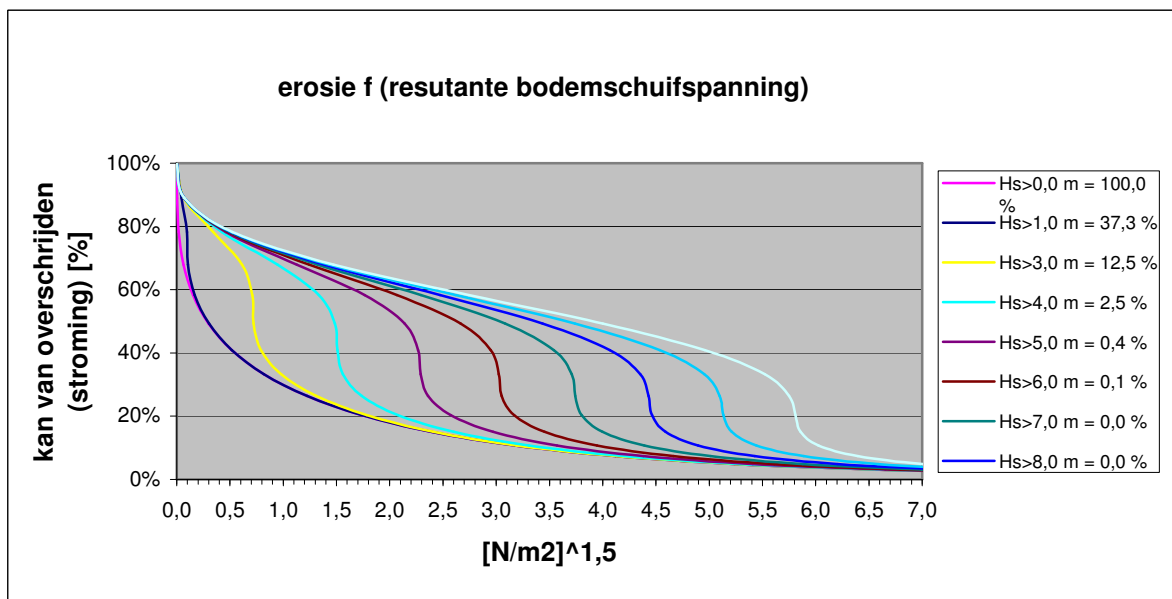
In Van Rijn (1989) is ook een formulering voor suspensietransport door golven gegeven. Gezien de relatief kleine capaciteit van golven om sediment te transporteren wordt deze bijdrage verwaarloosd.

In dit hoofdstuk wordt de relatieve verspreiding van de zandemissie van Loswal Noord in noordelijke en zuidelijke richting onderzocht, waardoor alleen de onderlinge verhouding van variabelen in de erosietransportformulering relevant is. Het sedimenttransport (S) in Van Rijn (1989) via de bodem en in suspensie is beschreven afhankelijk van constanten en een variabele bodemschuifspanning door golven en stroming:

$$S = f(\tau_m)^{1,5}$$

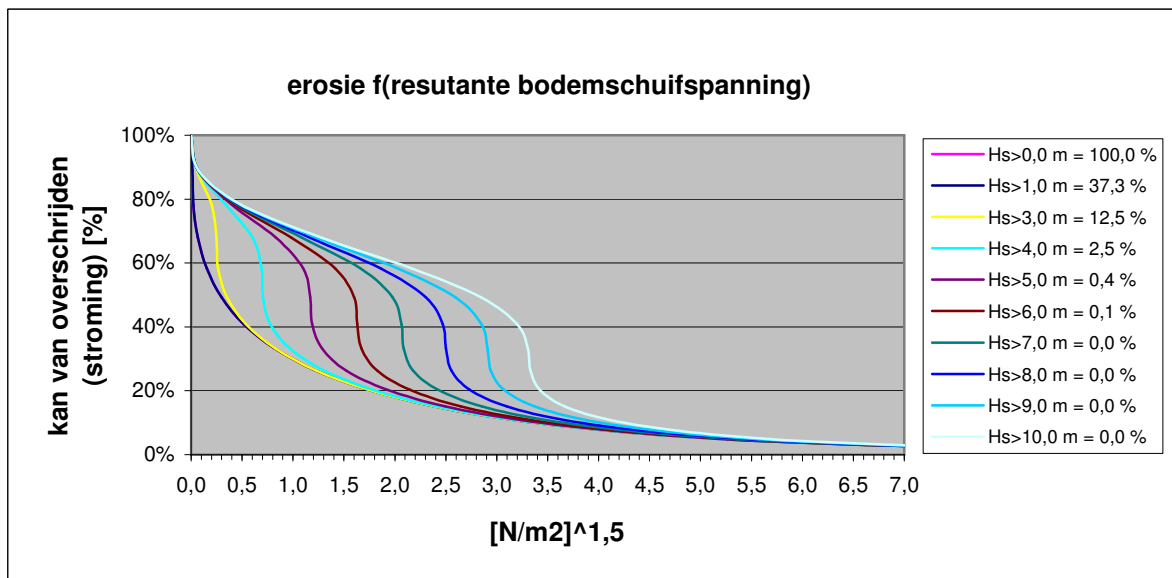
De resulterende bodemschuifspanning (τ_m) uit Grafiek 3-6 en Grafiek 3-7 zijn omgerekend naar een equivalent sedimenttransport (S) in Grafiek 3-8 en Grafiek 3-9:

In Grafiek 3-8 is een gemiddelde diepte –15 m NAP aangehouden:



Grafiek 3-8: equivalent sedimenttransport volgens Van Rijn (1989) door resulterende bodemschuifspanning volgens Soulsby (1997) voor verschillende significante golfhoogten, met gemiddelde waterdiepte –15 m NAP

In Grafiek 3-9 is een gemiddelde diepte –15 m NAP aangehouden:



Grafiek 3-9: equivalent sedimenttransport volgens Van Rijn (1989) door resulterende bodemschuifspanning volgens Soulsby (1997) voor verschillende significante golfhoogten, met gemiddelde waterdiepte –10 m NAP

Uit de resulterende bodemschuifspanning door golven en stroming berekend met Soulsby (1997) blijkt dat >80 % van de tijd de kritieke schuifspanning van de toplaag ($d_{50} > 300\mu\text{m}$) van Loswal Noord wordt overschreden. De stroming is jaargemiddeld bepalend voor de zandemissie van Loswal Noord.

Discussie

De bodemschuifspanning door golven is afhankelijk van de waterdiepte. De maximale waterstand en de maximale stroomsnelheid in het getij lopen uit fase. Getijdengemiddeld is de waterstand in een ebstroom lager dan in een vloedstroom, waardoor de bodemschuifspanning door golven in een ebstroom sterker is. De invloed hiervan op de relatieve verdeling van de zandemissie van Loswal Noord wordt ter discussie gesteld.

In een eerste ordegrrootte benadering kan de invloed van de waterdiepte op het jaargemiddelde sedimenttransport worden bepaald uit de intergraal onder Grafiek 3-8 en Grafiek 3-9. De volgende relatieve verdeling van sedimenttransport en golfcondities is zo berekend:

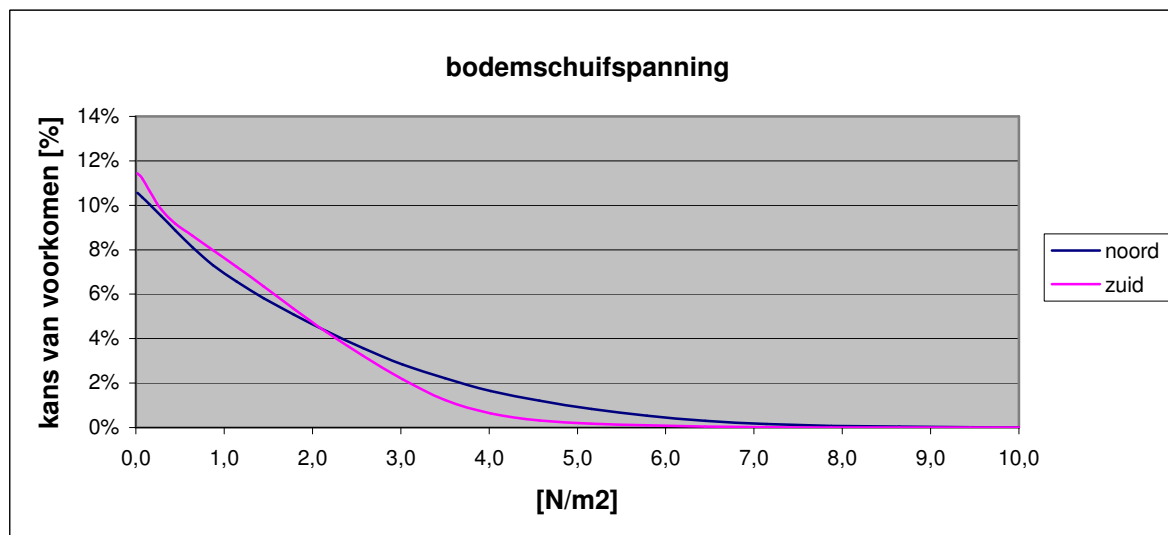
Significante golfhoogte Hs	kans van voorkomen %	Relatieve verdeling	
		Sedimenttransport -10 m NAP	Sedimenttransport -15 m NAP
Hs>0,0 m	100,0%	60,3%	58,0%
Hs>1,0 m	47,0%	28,6%	28,5%
Hs>2,0 m	12,0%	8,4%	10,2%
Hs>3,0 m	2,0%	2,1%	2,7%
Hs>4,0 m	0,4%	0,4%	0,6%

Tabel 3-1: verdeling van zandtransport van Loswal Noord bij NAP -10 en -15 m

Uit de bovenstaande analyse kan worden afgeleid dat de waterstandvariatie in de getijdenkromme een verwaarloosbare invloed heeft op de relatieve verdeling van de zandemissie van Loswal Noord.

3.4.3. Zandtransport richting

De relatieve verdeling van de zandemissie van Loswal Noord in noordelijke en zuidelijke richting langs de kust is afhankelijk van de asymmetrie van de resulterende bodemschuifspanning. In paragraaf 3.4.1 is aangenomen dat de invloed van golven op de relatieve verdeling van de zandemissie van Loswal Noord is te verwaarlozen. De asymmetrie van de bodemschuifspanning door stationaire stromen kan worden geanalyseerd door de kans van voorkomen van een bodemschuifspanning boven een bepaalde drempelwaarde in noordelijke en zuidelijke richting langs de kust onderling te vergelijken:

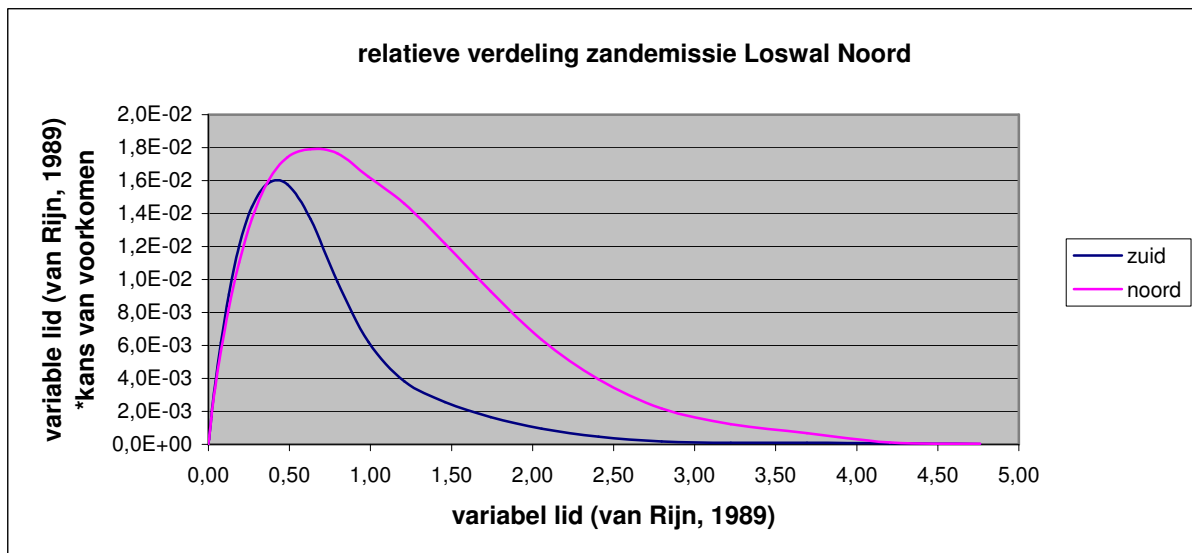


Grafiek 3-10: bodemschuifspanning door stationaire stromen en kans van voorkomen

Het variabele lid, tussen vierkante haken, van de sedimenttransportformulering uit Van Rijn (1989) voor bodemtransport is berekend met de bodemschuifspanning uit Grafiek 3-10.

$$q_b(t) = 0,5\rho_s d_{50} D_*^{-0,3} \left[(\tau_b(t) / \rho)^{0,5} \left(\frac{\max(0, \tau_b(t) - \tau_{krit})}{\tau_{krit}} \right) \right]$$

In Grafiek 3-11 is de kans van voorkomen van het variabel lid uit Van Rijn (1989) uitgezet tegen de waarde van het variabele lid uit Van Rijn (1989). Grafiek 3-11 is representatief voor $H_s < 4,0$ m, wat is 99,6 % van de tijd het geval is.

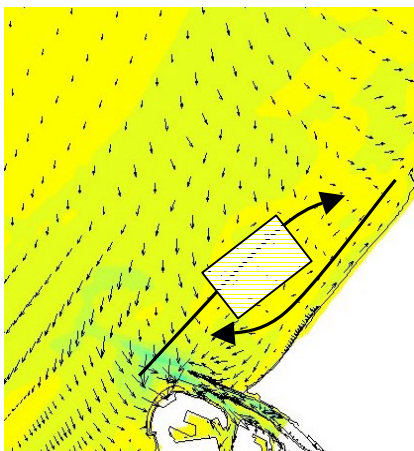


Grafiek 3-11: jaargemiddelde erosie van Loswal Noord ten gevolge van stationaire stromen

De relatieve verhouding van de intergraal onder lijnen in Grafiek 3-11 is representatief voor de relatieve verdeling van de zandemissie van Loswal Noord. Er kan geconcludeerd worden dat 40 % van de zandemissie van Loswal Noord zuidelijk en 60 % noordelijk langs de kust getransporteerd wordt.

Discussie

De bodemsnelheid op een punt in de Maasgeul is gebruikt om de relatieve verdeling van de zandemissie van Loswal Noord te bepalen. Loswal Noord heeft echter een groot oppervlak, waarboven de stroming varieert door o.a. invloed van de Noorderdam.



Figuur 3-10: schematische pijlen voor vloed- en ebstroming op een achtergrond van bodemreststroming

De asymmetrie in vloed- en ebstroming veroorzaakt een variatie van de relatieve verdeling van de zandemissie loodrecht op de kust. Van het noordwesten van Loswal Noord erodeert verhoudingsgewijs meer zand richting het noorden langs de kust, van het zuidoosten van Loswal Noord erodeert verhoudingsgewijs meer zand richting het zuiden langs de kust.

Indien $H_s > 4,0$ m wordt de relatieve verdeling van de zandemissie van Loswal Noord in noordelijke en zuidelijke richting langs de kust beïnvloed. Als $H_s > 4,0$ m dan zal er relatief iets (enkele procenten) meer zandtransport in zuidelijke richting plaatsvinden. Deze situatie komt echter slechts in $< 0,4$ % van de tijd voor, waardoor een relatieve verdeling van 60 % naar het noorden en 40 % naar het zuiden constant wordt aangehouden.

4. Evaluatie van literatuur

De netto bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het Nederlands kustfundament is als zodanig niet eerder onderzocht. Wel zijn er studies verschenen die de sedimentbalans of het retourtransport van Loswal Noord voor een bepaalde periode beschrijven. De meest recente publicatie is het MER evaluatierapport (2002). In het MER evaluatierapport (2002) wordt verwezen naar o.a. De Kok (2002) en Van Heuvel (1988)

4.1 De Kok (2002)

De Kok (2002) heeft het retourpercentage van de slibfractie van een baggerspeciestorting van Loswal Noord berekend voor verschillende hydrodynamische condities. De Kok (2002) heeft een constante baggerspeciesamenstelling aangenomen van 56 % slib en 43 % zand in een 'steady state' situatie voor Loswal Noord ná 1996. De Kok (2002) berekent een retourpercentage van 63 % voor de slibfractie van de baggerspecie in suspensie (is slibfractie baggerspecie minus retentie) voor een jaargemiddelde hydrodynamische conditie.

In het model van De Kok (2002) wordt in referentie naar Van Heuvel (1988) 20 % van de zandfractie van de baggerspecie in retourtransport als bovengrens genomen om aanbevelingen te doen ten aanzien van het stortbeleid.

4.2 Van Heuvel (1988)

Van Heuvel (1988) is niet gepubliceerd, ondanks dat er veel naar verwezen wordt, maar is slechts een (RIKZ interne) notitie. In Van Heuvel (1988) is een sedimentbalans van Loswal Noord opgesteld uit stortgegevens en uit de volumeontwikkeling en samenstelling van de stortlaag.

- de baggervolumes in Van Heuvel (1988) komen in de overlappende periode goed overeen met de baggervolumes gepresenteerd in onderhavige studie
- de volumeontwikkeling van Loswal Noord in Van Heuvel (1988) komt voor de overlappende periode goed overeen met onderhavige studie

In Van Heuvel (1988) wordt het stortvolume niet onderverdeeld in zand en slib. Wel zijn er typerende dichtheden voor beunladingen met zand en slib bepaald. De methode om de stortmassa te bepalen in Van Heuvel (1988) is niet expliciet te vergelijken met deze studie, aangezien in deze studie de baggerspeciesamenstelling per zuigvak is bepaald. In zijn algemeenheid kan wel worden gesteld dat:

- De samenstelling van het stortvolume in Van Heuvel (1988) in vergelijking met deze studie voor een typerende beunlading zand iets minder 'dicht' is. De dichtheid van een typerende beunlading slib komt goed overeen.

De verschillen zijn waarschijnlijk het gevolg van de beschikbaarheid van een uitgebreidere dataset in onderhavige studie (o.a. TDS metingen ná 1992) en de ontwikkeling van de baggertechniek.

In Van Heuvel (1988) wordt het volume van Loswal Noord verdeeld in 50 % zand, 7,5 % slib en 42,5 % water; deze studie gaat uit van 40,3 % zand, 8,6 % slib en 51,0 % water (TNO).

- De samenstelling van het volume van Loswal Noord in Van Heuvel (1988) is 'dichter' in vergelijking met onderhavige studie

De verschillen zijn waarschijnlijk het gevolg van de beschikbaarheid van een uitgebreidere dataset in onderhavige studie, steekboringen en boxcores ná 1988.

Van Heuvel (1988) schrijft de volumeontwikkeling van Loswal Noord toe aan een volume zand en een volume slib met een dichtheid gelijk aan de typeerde dichtheid voor zand en slib in de beun. De som van het berekende 'beunvolume' wordt vergeleken met het werkelijke beunvolume en het verschil wordt toegeschreven aan sedimentemissie. In Van Heuvel (1988) wordt aangenomen dat alleen slib het modelgebied kan verlaten. De slibemissie is berekend uit het volumeverschil met de typerende dichtheid van de beunlading slib, gelijk aan 17 % slib en 83 % water.

Van Heuvel (1988) becijfert dat 20 % van het gestorte sedimentvolume buiten de vastgestelde grenzen van Loswal Noord is teruggevonden.

Discussie

In Van Heuvel (1988) is een volumebalans opgesteld met typerende dichtheden. Er is aangenomen dat alleen slib het modelgebied kan verlaten, zodat de samenstelling van het stortvolume teruggerekend kon worden om een massabalans kloppend te maken.

In onderhavige studie is een droge massabalans opgesteld, waarin massavoorraden en transporten voor slib en zand afzonderlijk zijn vergeleken. Het modelgebied in deze studie is niet direct te vergelijken met het modelgebied in Van Heuvel (1988). Uit de resultaten van onderhavige studie is het wel aannemelijk dat de massa-emissie niet alleen uit slib kan bestaan.

Van Heuvel (1988) is niet bruikbaar voor de analyse van de netto bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het Nederlands kustfundament.

4.3 Evaluatie

Uit de analyse van het MER evaluatierapport (2002) en onderliggende studies lijkt het erop dat het bronmateriaal (van Heuvel (1988)) voor de zandfractie van het retourtransport van Loswal Noord verschillend is geïnterpreteerd. De interpretaties hebben een schijnbare consensus gecreëerd dat de zandfractie van het retourtransport van Loswal Noord 20 % van de zandfractie van de baggerspecie stort is. Van Heuvel (1988) berekent echter dat 20 % van het sedimentvolume zich buiten de vastgestelde grenzen van Loswal Noord bevindt.

In onderhavige studie kan in tegenstelling tot Van Heuvel (1988) de zandfractie van het retourtransport wel bepaald worden. Gemiddeld over de periode 1964 tot 1996 is de zandfractie van het retourtransport van Loswal Noord 14 % van de jaargemiddelde zandfractie van de stortmassa.

De zandfractie van het retourtransport van Loswal Noord is lager dan het percentage dat is aangenomen in het MER evaluatierapport (2002). Deze conclusie beïnvloedt de studies en rapporten, waarin het retourtransport een bepalende evaluatieparameter is, e.g.:

- 'MER verplaatst of verdiept?' (RIKZ-HbR/1995)
- 'MER evaluatierapport van Noord tot Noordwest' (RIKZ/2002.047)
- 'Getijafhankelijk storten van baggerspecie' (RIKZ/2002.027)

De resultaten van onderhavig onderzoek worden voor de meest recente publicatie (MER evaluatierapport van Noord tot Noordwest (2002)) aangepast.

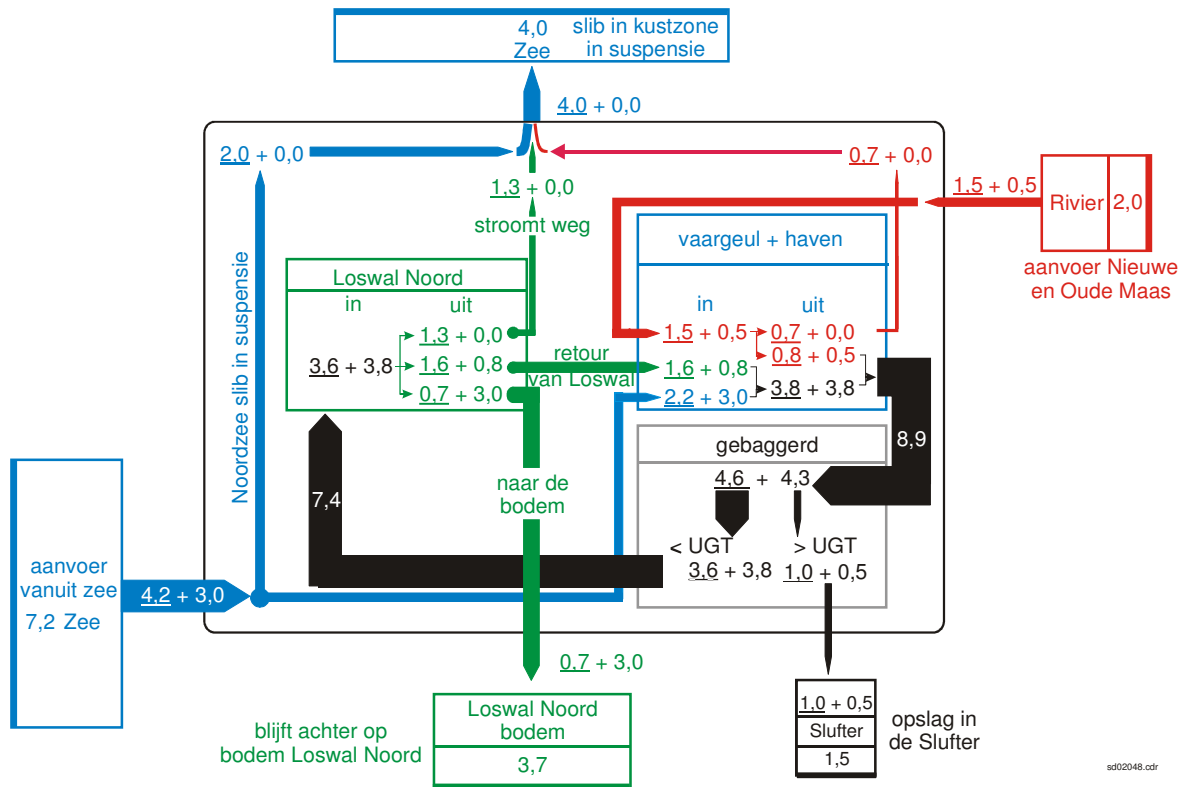
4.3.1. Sedimentbalans Loswal Noord

In het MER evaluatierapport van Noord tot Noordwest (2002) is, in referentie naar De Ruig & Leenares (1994), een sedimentbalans gepresenteerd voor het kuststelsel Zuid Holland, waarin Loswal Noord is opgenomen. De sedimentbalans in De Ruig & Leenares (1994) is gepresenteerd in Figuur 4-1. De aanpassing op de sedimentbalans in De Ruig & Leenares (1994) met de resultaten van onderhavige studie is gepresenteerd in Figuur 4-2. De figuren zijn op de volgende pagina onder elkaar afgebeeld om een gemakkelijke onderlinge vergelijking mogelijk te maken.

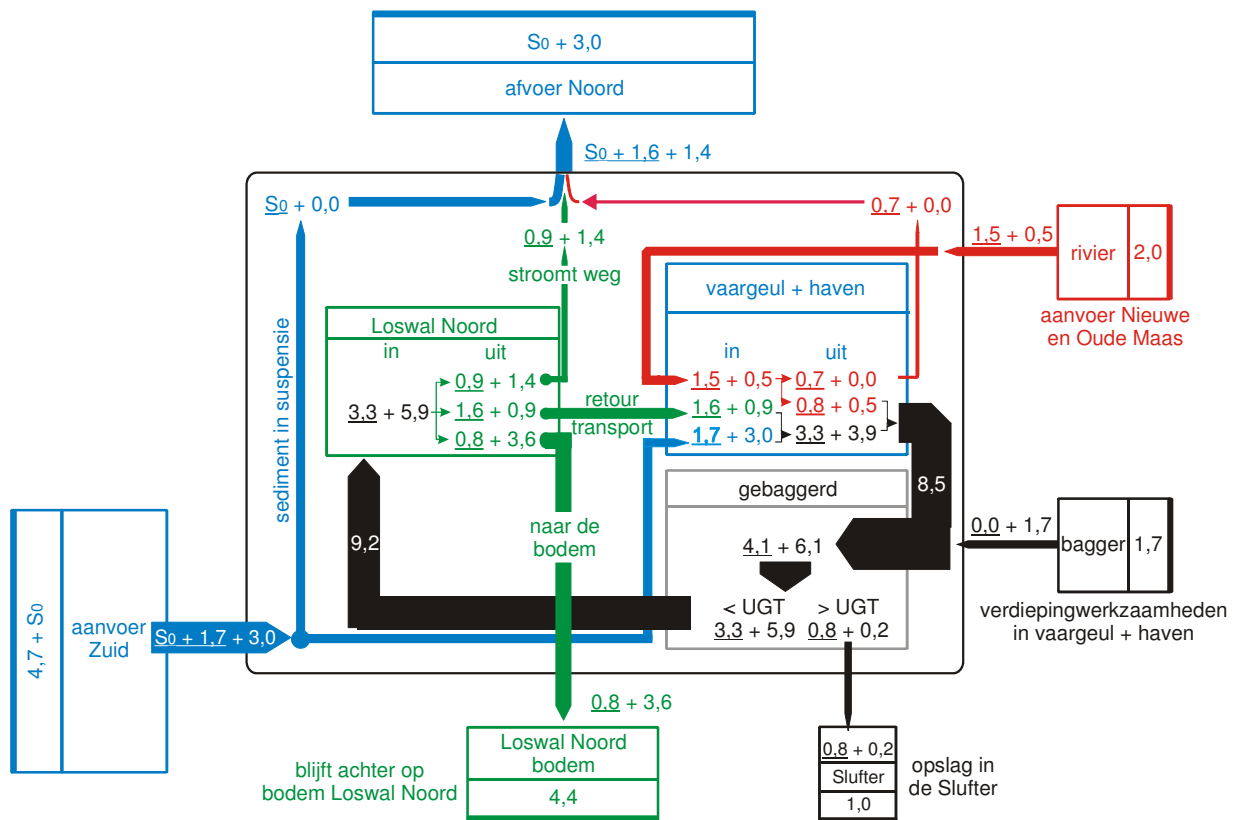
In beide figuren is er onderscheid gemaakt tussen slib (onderstreept) en zand. De waarden zijn jaargemiddeld bepaald en gegeven in Miljoen Ton Droge Stof (MTDS). De rode stroom is het fluviaatle sedimenttransport, de blauwe stroom het maritieme sedimenttransport, de groene stroom is het sedimenttransport van Loswal Noord en de zwarte stroom is het sedimenttransport in de beun.

Een sedimentbalans kan een voorstelling geven van een momentopname. De stortmassa, massa-emissie en natuurlijke sedimenttransporten fluctueren echter per jaar, waardoor een sedimentbalans jaargemiddeld kan verschillen. Naast de jaargemiddelde fluctuaties neemt de massa-emissie toe in de tijd tot (afhankelijk van de fluctuatie in de stortmassa) een 'steady state' is bereikt. Een 'steady state' heeft zich op Loswal Noord ingesteld van 1974 tot 1996 door een redelijk constante stortmassa, massaontwikkeling en dus massa-emissie.

De sedimentbalans in De Ruig & Leenares (1994) is opgesteld voor de beschikbare gegevens in de beginjaren '90. De sedimentbalans in De Ruig & Leenares (1994) is aangepast met de resultaten van onderhavige studie voor de 'steady state' periode van 1974 tot 1996 en sluitend gemaakt met de maritieme sedimentaanvoer uit het zuiden.



Figuur 4-1: sedimentbalans kuststelsel Zuid Holland voor de beschikbare gegevens in de beginjaren '90, bron: "De Ruig & Leenares (1994)"



Figuur 4-2: aangepaste sedimentbalans kuststelsel Zuid Holland gemiddeld voor de 'steady state' periode van 1974 tot 1996

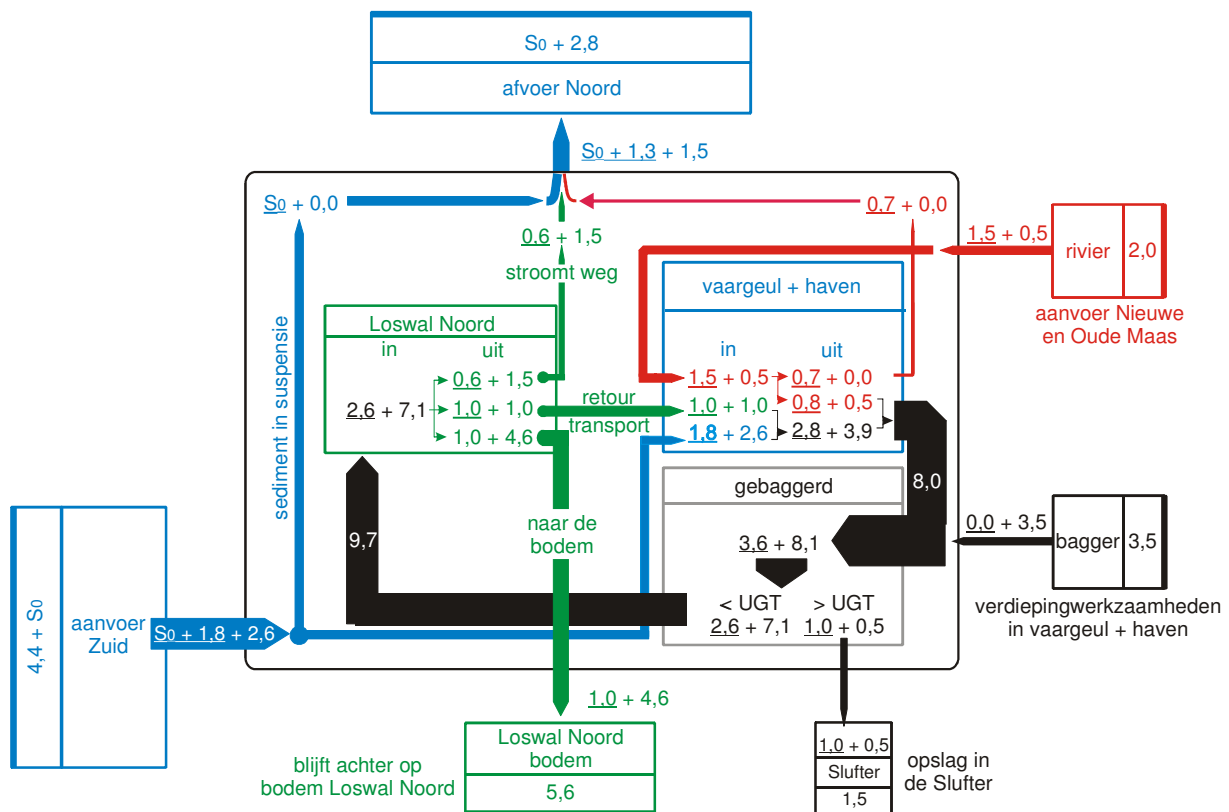
De Uniforme Gehalte Toets (UGT) heeft beginjaren 1980 onderscheid gemaakt in baggerspecie met een vervuilingsgraad klasse I, II, III en IV. Alleen niet vervuilde baggerspecie (klasse 0) en klasse I mochten na de invoering van de UGT nog op Loswal Noord worden gestort, klasse II en klasse III moest worden geborgen in *de Slufter*, een bergingsdepot aan de Maasvlakte I. Baggerspecie met een vervuilingklasse IV moest worden geborgen in *de Papegaaienbek*, een baggerspeciedepot in de haven van Rotterdam. In de figuren wordt het materiaal dat op Loswal Noord wordt geborgen met <UGT aangegeven, het materiaal dat wordt geborgen in de Slufter en Papegaaienbek met >UGT. De Slufter is in 1986 in gebruik genomen en kan dus een kleine verstoring in de sedimentbalans veroorzaken.

Discussie

Het valt op dat de sedimentbalans in De Ruig & Leenares (1994) geen zandemissie van Loswal Noord richting het noorden laat zien en er geen sedimentaanvoer in het balansgebied bestaat van verdiepingsbaggerwerk. De som van zandemissie van Loswal Noord richting het noorden en de hogere waarden van zand 'naar de bodem' van Loswal Noord komen met sedimentaanvoer van verdiepingsbaggerwerkzaamheden ongeveer overeen.

De sedimentbalans in De Ruig & Leenares (1994) is niet volledig. De aangepaste sedimentbalans in De Ruig & Leenares (1994) met de resultaten van onderhavige studie is wel volledig en de waarden van sluitparameters zijn aannemelijk.

Ter evaluatie van de volledige operationele periode van Loswal Noord is ook een sedimentbalans opgesteld voor de periode 1964 tot 1996:



Figuur 4-3: aangepaste sedimentbalans kuststelsel Zuid Holland gemiddeld over de operationele periode van Loswal Noord (1964 tot 1996)

5. Conclusies en aanbevelingen

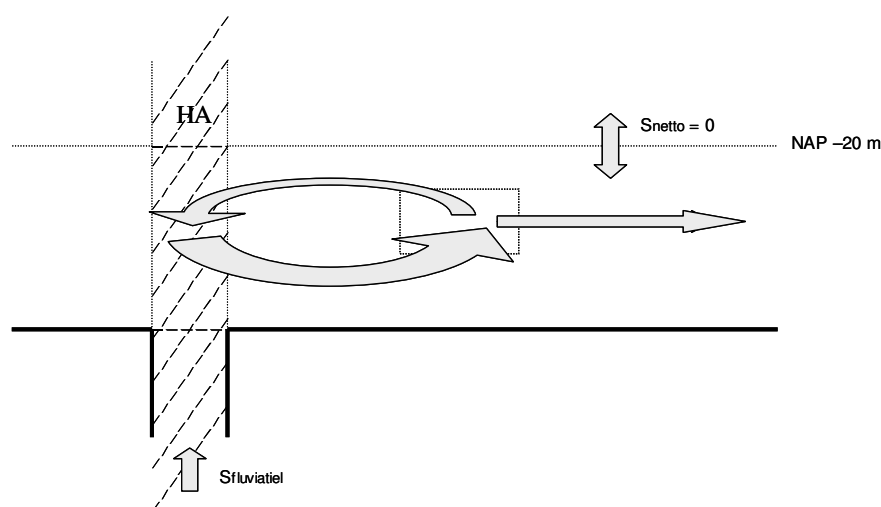
5.1 Conclusies

Doelstelling

De doelstelling van onderhavig onderzoek is het analyseren van de netto bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het Nederlands kustfundament.

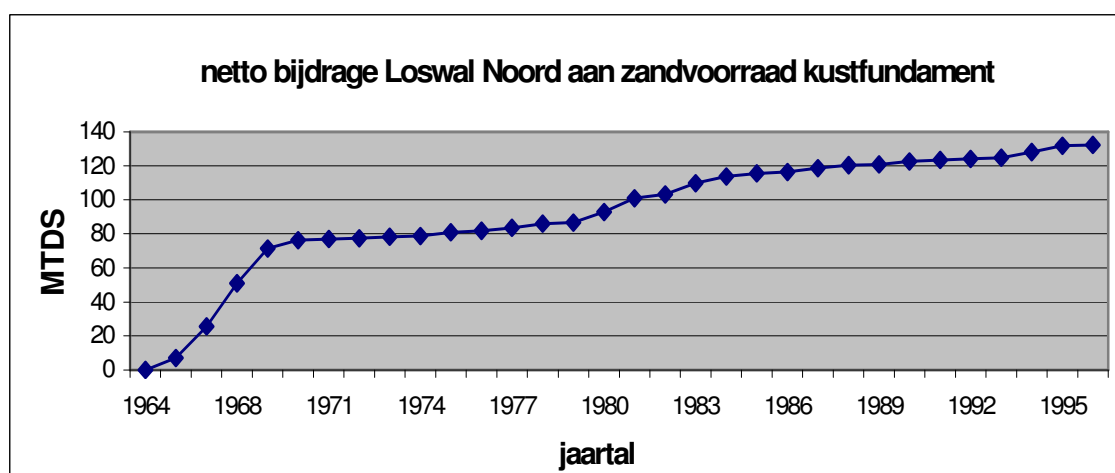
Conclusie

De zandfractie van de stortmassa is van 1964 tot 1996 in het kustfundament gevangen, aangezien Loswal Noord in een gesloten zandsysteem binnen het kustfundament ligt, zie Figuur 5-1.



Figuur 5-1: schematische voorstelling gesloten zandsysteem Loswal Noord in het kustfundament van 1964 tot 1996

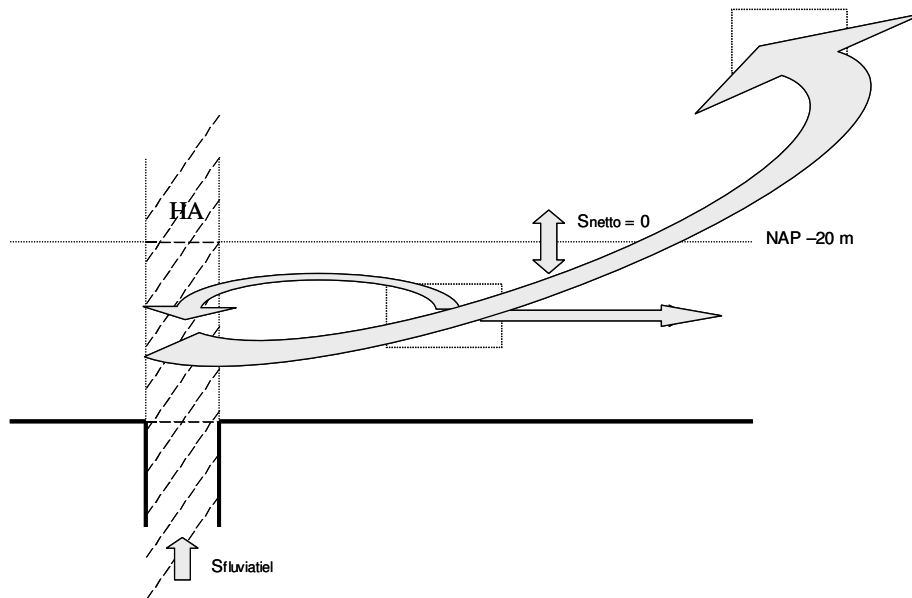
Zand van verdiepbaggerwerkzaamheden, van onderhoudsbaggerwerkzaamheden uit zuigvak HA en van fluviaatiele afvoer draagt, door het gesloten zandsysteem van 1964 tot 1996, netto bij aan de zandvoorraad van het kustfundament en is cumulatief gepresenteerd in Grafiek 5-1.



Grafiek 5-1: netto bijdrage Loswal Noord aan de zandvoorraad van het Nederlands kustfundament van 1964 tot 1996 in Miljoen Ton Droge Stof (MTDS)

In 1996 is de netto bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het kustfundament 132,4 MTDS of 82,8 Mm³ zand in-situ, zie Grafiek 5-1.

Na 1996 wordt de baggerspecie van de vaargeul en haven van Rotterdam op Loswal Noordwest gestort, een stortplaats buiten het kustfundament, zie Figuur 1-1. De zandemissie van Loswal Noord in zuidelijke richting ná 1996 verdwijnt dus uit het kustfundament, zie Figuur 5-2

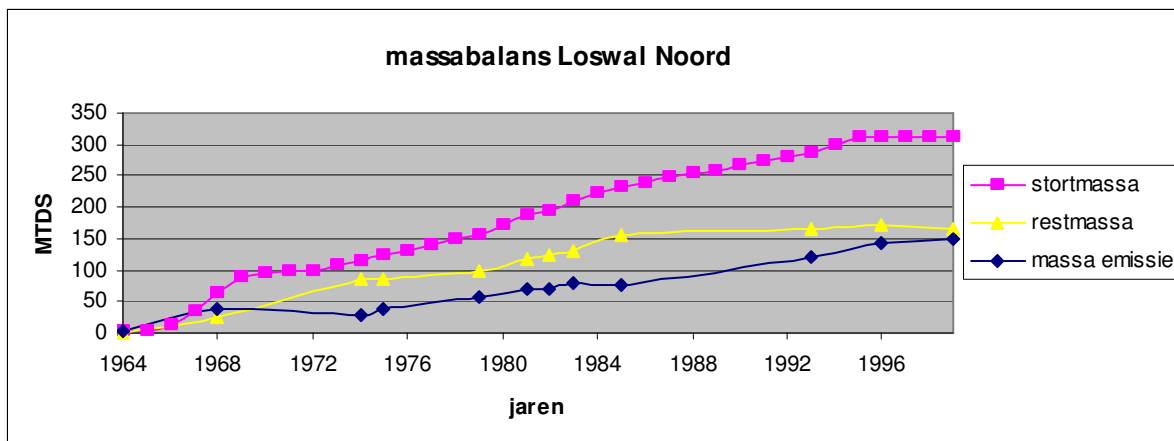


Figuur 5-2: schematische voorstelling open zandsysteem Loswal Noord in kustfundament na 1996

Om de bijdrage van Loswal Noord aan het kustfundament na 1996 te kunnen bepalen is de relatieve verdeling van de zandemissie van Loswal Noord in noordelijke en zuidelijke richting langs de kust bepaald.

De relatieve verdeling van de zandemissie van Loswal Noord in noordelijke en zuidelijke richting langs de kust is bepaald aan de hand van de asymmetrie van zandtransport door erosie van golven en stroming. In Van Rijn (1989) is zandtransport in suspensie en over de bodem door stroming als functie van constanten en de resultante bodemschuifspanning door golven en stroming beschreven. De resultante van de bodemschuifspanning door golven en stroming zijn afzonderlijk bepaald en gecombineerd in een resultante bodemschuifspanning met formulering in Soulsby (1997). De relatieve verdeling van de zandemissie van Loswal Noord is 60 % in noordelijke en 40 % in zuidelijke richting langs de kust.

De zandemissie van Loswal Noord is van 1964 tot 1996 bepaald in een droge massabalans, zie Grafiek 5-2. In een droge massabalans is de stortmassa met de massaontwikkeling van Loswal Noord vergeleken en het verschil is toegeschreven aan massa-emissie. De zandfractie van de massa-emissie is herleid uit de samenstelling van stortmassa en restmassa van Loswal Noord.

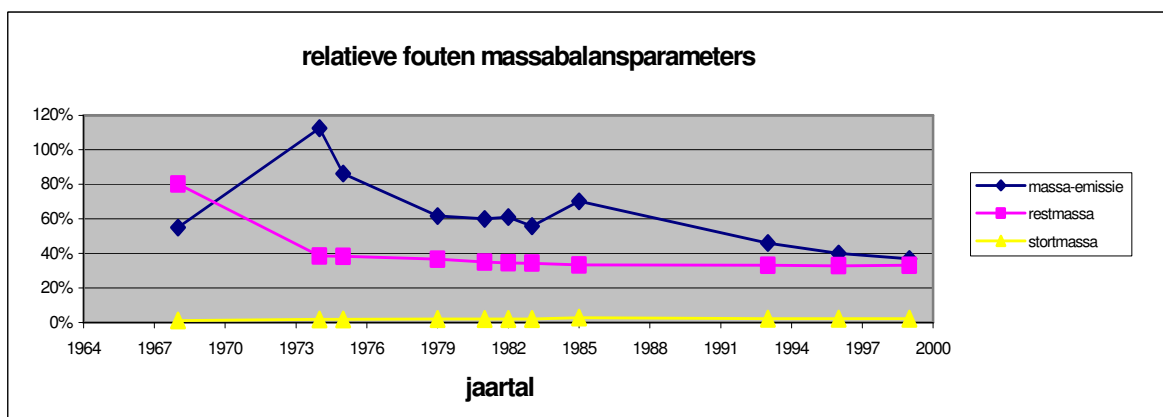


Grafiek 5-2: massabalans Loswal Noord in Miljoen Ton Droge Stof (MTDS)

Gemiddeld over de periode 1964 tot 1996 bestaat de stortmassa uit 65 % zand en 35 % slib. De restmassa bestaat gemiddeld uit 82 % zand en 18 % slib.

In een 'steady state' periode van 1974 tot 1996 is een evenwicht opgetreden tussen de stortmassa en de massaontwikkeling van Loswal Noord. De massa-emissie in de 'steady steate' periode is jaargemiddeld constant, gelijk aan 4,8 MTDS waarvan 2,5 MTDS slib en 2,3 MTDS zand. Van de zandemissie van Loswal Noord wordt 40 % richting het zuiden en 60 % richting het noorden getransporteerd. In de periode 1974 tot 1996 wordt dus jaargemiddeld 0,9 MTDS zand richting het zuiden getransporteerd en 1,4 MTDS zand gaat naar het noorden.

De relatieve fouten in de restmassa en massa-emissie worden voornamelijk bepaald door de relatieve fout in de droge dichtheid van de restmassa. De relatieve fout in de restmassa wordt echter in de beginjaren van Loswal Noord ook bepaald door de absolute fout in de loding.



Grafiek 5-3: relatieve fouten in massabalans Loswal Noord

Na 1996 wordt er niet meer op Loswal Noord gestort en neemt de massa-emissie exponentieel af in de tijd. De samenstelling van de massa-emissie verandert na 1996 binnen enkele jaren naar een constante verhouding 82 % zand en 18 % slib. Over de snelheid waarmee de zandemissie zal afnemen kunnen geen eenduidige uitspraken worden gedaan, wel is aannemelijk dat het meer dan 100 jaar zal duren voordat Loswal Noord volledig is weggeërodeerd.

In 1996 is de zandvoorraad van Loswal Noord 140,3 MTDS, gelijk aan 82 % van de restmassa, zie Grafiek 5-2. Na 1996 zal 60 % van de zandvoorraad van Loswal Noord aan het langtransport richting het noorden worden meegegeven en 40 % zal sedimenteren in de vaargeul en haven van

Rotterdam. Indien Loswal Noordwest in gebruik blijft zal 40 % van de zandvoorraad van Loswal Noord in 1996 dus verloren gaan voor het kustfundament, gelijk aan 56,1 MTDS zand.

De netto bijdrage aan de zandvoorraad van het kustfundament in 1996 is 132,4 MTDS, zie Grafiek 5-1. Wanneer Loswal Noord volledig is weggeërodeerd is de netto bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het kustfundament $132,4 - 56,1 = 76,3$ MTDS of $47,7 \text{ Mm}^3$ zand in-situ.

Het storten van baggerspecie op Loswal Noordwest is er debet aan dat er jaargemiddeld een geschatte netto bijdrage van ongeveer 1,8 MTDS zand aan de zandvoorraad van het kustfundament wordt misgelopen. De misgelopen netto bijdrage wordt bepaald door zand van verdiepingsbaggerwerkzaamheden, onderhoudsbaggerwerkzaamheden uit zuigvak HA en fluviaatiele afvoer. Het storten van baggerspecie van onderhoudsbaggerwerkzaamheden (behalve zuigvak HA) op Loswal Noordwest veroorzaakt echter ook een jaargemiddeld verlies van ongeveer 4,2 MTDS zand.

Jaarlijks wordt 12 Mm^3 zand in-situ in het kustfundament gesuppleerd om de zandvoorraad op peil te houden. Samengevat veroorzaakt het storten van baggerspecie uit de vaargeul en haven van Rotterdam op Loswal Noordwest een jaarlijkse suppletie-inspanning van 6,0 MTDS of $3,8 \text{ Mm}^3$ zand in-situ, gelijk aan 31 % van het huidig jaarlijkse suppletievolume.

5.2 Aanbevelingen

In het verleden werd de locatie van een baggerstortplaats gekozen daar waar een optimum tussen retourtransport en vaarafstand bereikt werd en daar waar het ecologisch haalbaar was. De kosten van de netto bijdrage aan de zandvoorraad van het kustfundament zijn niet eerder meegenomen.

1. het is aanbevolen een draagvlak voor bewustwording te creëren omtrent de netto bijdrage middels het storten van baggerspecie aan de zandvoorraad van het kustfundament
2. met nader onderzoek zou het huidig stortbeleid moeten worden herzien om een optimaal stortbeleid te creëren voor de korte en middellange termijn

Het is wenselijk de natuurlijke morfologie zoveel mogelijk ongemoeid te laten. Het netto sedimenttransport langs de Nederlandse kust richting het noorden, ook wel 'zandrivier' genoemd, moet zo min mogelijk onderbroken worden. Een optimale stortlocatie voor de baggerspecie uit de vaargeul en haven van Rotterdam verstoort de zandrivier zo min mogelijk en heeft een optimale verhouding tussen vaarafstand, retourtransport en netto bijdrage aan de zandvoorraad van het Nederlands kustfundament.

1. een optimale situatie zou bestaan uit verschillende operationele Loswallen, waarvoor een geïntegreerd 'on-line' model de optimale stortlocatie per beun zou moeten bepalen

De stortlocatie wordt door het model bepaald afhankelijk van de vaarafstand, het berekende retourtransport (afhankelijk van samenstelling van baggerspecie in de beun, vaarafstand en de actuele hydrodynamische conditie) en de netto bijdrage aan de zandvoorraad van het kustfundament.

2. als alternatief voor Loswal Noordwest zou de haalbaarheid van een stortplaats ten noorden van Loswal Noord onderzocht moeten worden, waar door middel van getijdenafhankelijk storten het retourtransport beperkt blijft

In dit alternatief bestaat er geen verlies van zand uit het kustfundament en is de jaargemiddelde netto bijdrage aan de zandvoorraad van het kustfundament ongeveer 1,1 Mm³ zand in-situ.

3. onderzocht zou moeten worden of beunelingen met een relatief laag slibgehalte als vooroeversuppletie voor de Zuid Hollandse kust gebruikt kunnen worden

De ecologische impact van het storten van baggerspecie op Loswal Noord, Noordwest en de Verdiepte Loswal is onderzocht in het MER (1995) 'verplaatst of verdiept?'. De ecologische en recreatieve impact van de bovenstaande aanbevelingen zijn nog niet te overzien en moeten worden onderzocht om de haalbaarheid te kunnen analyseren.

5.2.1. Kennisleemten

De resultaten van dit onderzoek hebben, door de beperktheid van data of door ongelijkmatige spreiding in tijd en ruimte, een zekere mate onnauwkeurigheid. De volgende paramaters zijn van bepalende invloed voor de nauwkeurigheid van de netto bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het Nederlands kustfundament:

1. in de onderhavig studie bestaat er een zeker mate van onzekerheid in de stortgegevens

Er wordt aanbevolen om intergraal de zand en slibfracties van onderhouds- en verdiepingsbaggerwerkzaamheden te registreren, zodat de bijdrage aan de zandvoorraad van het kustfundament gemeten kan worden.

2. de droge dichtheid van Loswal Noord is bepaald aan de hand van een klein aantal boringen met een beperkte ruimtelijke spreiding, een betere kennis van de droge dichtheid kan het potentiële verlies van de zandvoorraad van Loswal Noord na 1996 beter bepalen
3. lodingen na 1999 van Loswal Noord zijn voor deze studie niet beschikbaar geweest, lodingen na 1999 zouden in combinatie met deze studie de afname van jaargemiddelde massa-emissie beter kunnen bepalen

De afname van de massa-emissie is van belang voor het bepalen van de afnamesnelheid van de zandvoorraad van Loswal Noord en de mogelijke bijdrage aan kustverdediging.

5.2.2. Vervolgonderzoek

Het volgende vervolge onderzoek wordt aanbevolen:

1. De netto bijdrage van Loswal Noord aan de zandvoorraad van het kustfundament wordt mede bepaald door de verspreiding van de zandemissie van Loswal Noord. In onderhavige studie is in een eerste orde benadering slechts de relatieve verdeling van de zandemissie van Loswal Noord in noordelijke en zuidelijke richting langs de kust bepaald. In een morfologisch model zou de verspreiding van de zandemissie van Loswal Noord gedetailleerder geanalyseerd moeten worden.
2. De bijdrage van Loswal Noord aan de kustverdediging wordt bepaald door de verspreiding van de zandvoorraad van Loswal Noord binnen het kustfundament naar de kust toe, dit is echter in onderhavige studie niet onderzocht. Om de bijdrage van Loswal Noord aan kustverdediging te kunnen bepalen zou de verspreiding van de zandvoorraad van Loswal Noord binnen het kustfundament met een morfologisch model geanalyseerd moeten worden.

6. Literatuurlijst

ANONYMOUS (1995-a)

Een nieuwe Loswal Noord voor het lossen van baggerspecie in zee? Milieu-effectrapport V&W, RWS, Directie Zuid-Holland en Gemeente Rotterdam, Gemeentelijk Havenbedrijf

ANONYMOUS (1995-b)

Toetsingsadvies over het milieu-effectrapport over een nieuwe Loswal Noord voor het lossen van baggerspecie in zee
Commissie voor de milieu-effectrapportage, Utrecht, ISBN 90-5237-909-2

ANONYMOUS (1995-c)

Loswal Noord veraf of verdiept, Onderzoek naar de losmogelijkheden van baggerspecie V&W, RWS, RIKZ, (Bijdragen van: E.H.G. Evers, J.C.A. Joordens, J.M. de Kok, W. van Leussen, J. de Ruig).

DANKERS, P.J.T (2002)

The behaviour of fines released due dredging: a literature review
Rapport TUDelft

DRONKERS (2005)

Dynamics of coastal systems. World Scientific, London

DUIN, R.N.M. (2001a)

Berekening lodingsfout van een van van 500 x 500 min de Verdiepte Loswal
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee
Werkdocument RIKZ/2001-016x

DUIN, R.N.M. (2001b)

Berekening ruimtelijke fout Verdiepte Loswal
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee
Werkdocument RIKZ/2001-037x

HEIJST, M.W.I.M VAN (2005)

Vaargeul, zandwinning en kustlijnzorg: Risico's en perspectieven voor Rijkswaterstaat
Rapport RIKZ-2005.025

HEUVEL, T. VAN (1988)

Notitie: "Sedimentbalans Loswal Noord"
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee
Rijkswaterstaat Dienst Getijdenwateren GWAO 88.034 715

HEUVEL, T. VAN (1988)

Verspreiding van baggerspecie tijdens en na storten vanuit een baggerschip
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee
Rijkswaterstaat Dienst Getijdenwateren nota GWAO 88.034

HOOGERVORST, R.D.N. (2005)

Inventarisatie bagger-, stort- en zandwingegevens binnen de -20 m NAP
Ten behoeve van een zandbalans van het Nederlands kuststelsel
Werkdocument RIKZ/KW/2005.103w

JONSSON, I.G. (1966)

Wave boundary layers and friction factors
Proceedings 10th international conference on coastal engineering, Tokio
Volume I, Chapter 10, pp127-148

KLUGT, P.C. VAN DER (1991)

Rapport "Slibonderzoek Loswal Noord"
Rijkswaterstaat Directie Noordzee CL922093

KLUGT, P.C. VAN DER (2000)

Steekboringen Verdiepte Loswal, Loswal Noord en Loswal Noordwest, oktober-november 2001
TNO-rapport NITG 02-022-B

KLUGT, P.C. VAN DER (2001)

Project "Verdiepte Loswal ": Lithologie, watergehalte- en volumieke massabepaling van 7
steekboringen
TNO-rapport NITG 00-333-B

KLUGT, P.C. et al (2004)

Seismisch onderzoek en steekboringen in Loswal nr. 1
Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
NITG 04-223-C

KOK, J.M. DE (1991)

Slibtransport rond Loswal Noord. Alternatieve stortlocaties.
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee
DGW-rapport GWAO 91.002.

KOK, J.M. DE, LOURENS, J.M., RUIG, J.H.M. DE, (1992)

Baggerspecie, van Waterweg tot Waddenzee. Fysisch en milieukundig onderzoek naar
alternatieven voor Loswal Noord
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee
DGW-rapport GWAO 92.030

KOK, J.M. DE (1992-a)

A 3D finite difference model for the computation of near- and far-field transport of suspended
sediment near a river mouth
Continental Shelf Research, 12 (5/6) 625-642

KOK, J.M. DE (2002)

Getijafhankelijk storten, Resultaten van numeriek modelonderzoek
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, RIKZ
Rapport RIKZ/2002.027

KOK, J.M. DE, STUTTERHEIM, S. (2000)

Retourpercentage voor de nieuwe loswal, Vergelijking modeluitkomsten MER en Aqua Vision voor
retourpercentage voor Loswal Noord en Loswal Noordwest
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee
Werkdocument RIKZ/OS/2000.129x

KRUIF, A.C. DE (2001)

Bodemdieptegegevens van het Nederlandse kuststelsel
Rapport RIKZ/2001.041

LANGVELD, C.R. (2005)

Verdiepte Loswal: fysisch onderzoek naar het gedrag van baggerspecie
MSc thesis TUDelft

MARIJS, K PAREE, E (2004)

Nauwkeurigheid vaklodingen Westerschelde en -monding: "de praktijk"
Notitie ZLMD-04.N.004

MULDER, J.P.M. (2000)

Zandverliezen in het Nederlandse kuststelsel. Advies voor dynamische handhaving in de 21ste eeuw.

Rapport RIKZ/2000.36

POSTMA, H (1961)

Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea
Neth. J. Sea. I: 148-190

REST, P VAN DE (2004)

Morfodynamica en hydrodynamica van de Hollandse kust
MSc thesis TUDelft

RIJN, L.C. VAN (1989)

Sediment transport by currents and waves
Rep. H461, Delft Hydraulics lab. Delft Netherlands

RUIG, J. DE (1992)

Stortalternatieven Loswal Noord, verwachte effecten op retourstroom, baggerhoeveelheden en emissies

Rijkswaterstaat Dienst Getijdenwateren GWAO 91.010

RUIG, J.H.M. de, LEENARES, CH (1994)

Sedimentbalansen Loswal Noord alternatieven

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, gemeente werken Rotterdam

Werkdocument RIKZ/AB-94.118

SCHIELDS, A (1936)

Application of the theory of similarity and turbulence research of the bed load movement
Mitt. Preuss. Versuchsant. Wasserbau Schiffbau

SLEATH, J.F.A. (1984)

Sea bed Mechanics, Cambridge University, Wiley
Interscience Publication, New York

SOULSBY, R.L. (1997)

Dynamics of marine sand; a manual for practical applications, London, Telford 19974
ISBN 0-7277-2584-x

STUTTERHEIM, S. (1999)

Bagger vaart een stukje verder

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee,
werkdocument RIKZ/AB-99-132x

STUTTERHEIM, S. (2002)

Van Noord tot Noordwest: een studie naar de berging van baggerspecie op loswallen
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee,
MER evaluatierapport RIKZ/2002-047

STUTTERHEIM, S. (2002-a)

Werkwijze voor de berekening van het wegstroompercentage en de standaardfout ervan voor
Loswal Noordwest en de Verdiepte Loswal, Omvang van de standaardfout van het
wegstroompercentage van de Verdiepte Loswal op grond van geschatte stortingen
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee,
werkdocument RIKZ/AB/2002-109x

STUTTERHEIM, S. (2002-b)

Retourpercentage van Loswal Noordwest, Bepaling op grond van baggeradministratie, lodingen en
radiometrische kartering
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, RIKZ
werkdocument RIKZ/AB/2002.115x

STUTTERHEIM, S. (2002-c)

Het storten van baggerspecie in de Verdiepte Loswal
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, rapport
RIKZ/2002.025

STUTTERHEIM, S. (2002-d)

Opleg-notitie: conclusies naar aanleiding van onderzoek naar loswallen in de Noordzee voor
baggerspecie uit het Rijnmondgebied
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee,
werkdocument RIKZ/AB/2002.120x

SWART, D.H.(1976)

Coastal sediment transport
Computation of Longshore Transport, Delft Hydraulics, The Netherlands
Report: R968

TONNON, P.K. (2005)

Morphological modeling of an artificial sand ridge near Hoek van Holland, The Netherlands
MSc thesis TUDelft

VERLAAN, P.A.J., SPANHOFF, R. DE KOK, J.M. (1990)

Fate of dredged material dumped off the Dutch shore
Reprinted from Twenty-Second Coastal Engineering Conference Coastal Eng. Res Council/ASCE

VERLAAN, P.A.J., SPANHOFF, R. (2000)

Massive Sedimentation Events at the Mouth of the Rotterdam Waterway.
Journal of Coastal Research, 16 (2) p 458-469

WOUDENBERG, C.C. VAN (1996)

De onderwater zanddam bij Loswal Noord: Gedrag en zandtransport
Rapport NZ-96.03

WEBSITES

<http://www.getij.nl/>

<http://www.golfklimaat.nl/>

7.Lijst van Figuren, Grafieken en Tabellen

Figuren

FIGUUR 0-1: LOCATIE LOSWAL NOORD, LOSWAL NOORDWEST EN DE VERDIEPTE LOSWAL VOOR DE ZUID HOLLANDSE KUST	4
FIGUUR 0-2: SCHEMATISCHE VOORSTELLING GESLOTEN ZANDSYSTEEM LOSWAL NOORD IN HET KUSTFUNDAMENT VAN 1964 TOT 1996 (NATUURLIJK LANGSTRANSPORT IS IN DE FIGUUR NIET OPGENOMEN).....	4
FIGUUR 0-3: SCHEMATISCHE VOORSTELLING OPEN ZANDSYSTEEM LOSWAL NOORD IN KUSTFUNDAMENT NA 1996 (NATUURLIJK LANGSTRANSPORT IS IN DE FIGUUR NIET OPGENOMEN).....	5
FIGUUR 1-1: LOSWAL NOORD, VERDIEPTE LOSWAL EN LOSWAL NOORDWEST, BRON: "MER (1995)"	10
FIGUUR 1-2: NEDERLANDSE KUSTFUNDAMENT, BRON: "NOTA RUIMTE (2004)"	11
FIGUUR 1-3: RELEVANTE ZANDTRANSPORTEN IN RELATIE MET LOSWAL NOORD.....	12
FIGUUR 2-1: REKENVOORBEELD VOOR HET INSTELLEN VAN EEN EVENWICHT TUSSEN DE STORTMASSA EN HET RETOURTRANSPORT	31
FIGUUR 2-2: SEDIMENTBALANS 'STEADY STATE' PERIODE VAN LOSWAL NOORD VAN 1974 TOT 1996, IN MILJOEN TON DROGE STOF (MTDS), SLIB IS ONDERSTREEPT.....	34
FIGUUR 2-3: SCHEMATISCHE VOORSTELLING GESLOTEN ZANDSYSTEEM LOSWAL NOORD IN KUSTFUNDAMENT VAN 1964 TOT 1996.....	37
FIGUUR 2-4: SCHEMATISCHE VOORSTELLING HET OPEN ZANDSYSTEEM LOSWAL NOORD IN KUSTFUNDAMENT NA 1996	38
FIGUUR 3-1: KRITISCHE SCHUIFSPANNING VOOR GRANULAIR SEDIMENT VOLGENS SHIELDS.....	40
FIGUUR 3-2: PRINCIPESCHETS SEDIMENTTRANSPORT CURVE DOOR STROOMSNELHEID EN CONCENTRATIE IN EEN STATIONAIRE OMGEVING	41
FIGUUR 3-3: PRINCIPESCHETS OPWOELEN VAN SEDIMENT DOOR BODEMSTROMING VAN OSCILLERENDE GOLFBEWEGING.....	42
FIGUUR 3-4: LOCATIE MEETSTATIONS, BRON: RIKZ.....	42
FIGUUR 3-5: GOLFHOOGTE OVERSCHRIJDINGSKANS LICHTELAND GOEREE, BRON: RIKZ.....	43
FIGUUR 3-6: SIMULTANE KANSVERDELING HS TM02, BRON: RIKZ	44
FIGUUR 3-7: PRINCIPESCHETS ESTURINE-CIRCULATIE	47
FIGUUR 3-8: VECTORIELE VOORSTELLING GECOMBINEERDE BODEMSCHUIFSPANNING DOOR GOLVEN EN STROMING	51
FIGUUR 3-9: KANSVERDELING VOOR TH0.....	51
FIGUUR 3-10: SCHEMATISCHE PIJLEN VOOR VLOED- EN EBSTROMING OP EEN ACHTERGROND VAN BODEMRESTSTROMING.....	56
FIGUUR 4-1: SEDIMENTBALANS KUSTSYSTEEM ZUID HOLLAND VOOR DE BESCHIKBARE GEGEVENS IN DE BEGINJAREN '90, BRON: "DE RUIG & LEENARES (1994)"	61
FIGUUR 4-2: AANGEPASTE SEDIMENTBALANS KUSTSYSTEEM ZUID HOLLAND GEMIDDELD VOOR DE 'STEADY STATE' PERIODE VAN 1974 TOT 1996.....	61
FIGUUR 4-3: AANGEPASTE SEDIMENTBALANS KUSTSYSTEEM ZUID HOLLAND GEMIDDELD OVER DE OPERATIONELE PERIODE VAN LOSWAL NOORD (1964 TOT 1996)	62
FIGUUR 5-1: SCHEMATISCHE VOORSTELLING GESLOTEN ZANDSYSTEEM LOSWAL NOORD IN HET KUSTFUNDAMENT VAN 1964 TOT 1996	63
FIGUUR 5-2: SCHEMATISCHE VOORSTELLING OPEN ZANDSYSTEEM LOSWAL NOORD IN KUSTFUNDAMENT NA 1996	64
FIGUUR 7-1: STORTVAKKEN LOSWAL NOORD, BRON: VAN HEUVEL (1988)	77
FIGUUR 7-2: ZUIGVAKKEN VAARGEUL EN HAVEN VAN ROTTERDAM, BRON: DNZ.....	78
FIGUUR 7-3: VAKINDELING PROJECT EN VAKLODINGEN	79
FIGUUR 7-4: VAKINDELING DNZ LODINGEN	80
FIGUUR 7-5: STEEKBORINGEN TER BEPALING VAN DE DROGE DICHTHEID.....	81
FIGUUR 7-6: STEEKBORINGEN EN BOXCORES TER BEPALING VAN HET SLIBGEHALTE	82

FIGUUR 7-7: STEEKBORINGEN EN BOXCORES TER BEPALING VAN HET KALK EN SCHELPENGEHALTE	83
FIGUUR 7-8: STEEKBORINGEN EN BOXCORES TER BEPALING VAN HET GEHALTE ORGANISCH MATERIAAL	84
FIGUUR 7-9: AGUASENSE BOXCORES TER BEPALING VAN DE KORRELVERDELING VAN DE TOPLAAG	85
FIGUUR 7-10: HOOGTELIJNEN VAN LODING 1968 [DM] TOV NAP	86
FIGUUR 7-11: HOOGTELIJNEN VAN LODING 1974 [CM] TOV NAP	87
FIGUUR 7-12: HOOGTELIJNEN VAN LODING 1975 [M] TOV NAP	88
FIGUUR 7-13: HOOGTELIJNEN VAN LODING 1986 [CM] TOV NAP	89
FIGUUR 7-14: RUIMTELIJKE VARIABILITEIT VAN HET PERCENTAGE SLIBLAAGJES IN DE BOVENSTE 2 M VAN LOSVAL NOORD BOORKERNEN, BRON: VAN DER KLUGT (1991)	90
FIGUUR 7-15: RESTSTROMING 7 M BOVEN DE BODEM BIJ 5 M/S ZUIDWESTEN WIND	91
FIGUUR 7-16: BODEM RESTSTROMING, SVASEK MODELLERING MEI 2001	92
FIGUUR 7-17: AGUASENSE BOXCORE, MEETLOCATIE N1 TER BEPALING VAN DE KORRELGROOTTE	100
FIGUUR 7-18: AGUASENSE BOXCORE, MEETLOCATIE N2 TER BEPALING VAN DE KORRELGROOTTE	100
FIGUUR 7-19: AGUASENSE BOXCORE, MEETLOCATIE N5 TER BEPALING VAN DE KORRELGROOTTE	101
FIGUUR 7-20: AGUASENSE BOXCORE, MEETLOCATIE OC TER BEPALING VAN DE KORRELGROOTTE	102
FIGUUR 7-21: AGUASENSE BOXCORE, MEETLOCATIE 1C TER BEPALING VAN DE KORRELGROOTTE	103
FIGUUR 7-22: AGUASENSE BOXCORE, MEETLOCATIE 2C TER BEPALING VAN DE KORRELGROOTTE	103
FIGUUR 7-23: AGUASENSE BOXCORE, MEETLOCATIE 3C TER BEPALING VAN DE KORRELGROOTTE	104
FIGUUR 7-24: AGUASENSE BOXCORE, MEETLOCATIE 5C TER BEPALING VAN DE KORRELGROOTTE	104
FIGUUR 7-25: AGUASENSE BOXCORE, MEETLOCATIE REF4 TER BEPALING VAN DE KORRELGROOTTE	105
FIGUUR 7-26: AGUASENSE BOXCORE, MEETLOCATIE NW4 TER BEPALING VAN DE KORRELGROOTTE	105

Grafieken

GRAFIEK 0-1: NETTO BIJDRAGE LOSVAL NOORD AAN DE ZANDVOORRAAD VAN HET NEDERLANDS KUSTFUNDAMENT IN MILJOEN TON DROGE STOF (MTDS)	5
GRAFIEK 0-2: MASSABALANS LOSVAL NOORD IN MILJOEN TON DROGE STOF (MTDS)	6
GRAFIEK 2-1: JAARGEMIDDELD STORTVOLUME OP LOSVAL NOORD IN MILJOEN M ³ GEBAGGERD DOOR HAVENBEDRIJF ROTTERDAM (HBR), RIJKSWATERSTAAT (RWS) EN TOTALEN, BRON: "RWS EN HBR"	17
GRAFIEK 2-2: VARIATIE IN BAGGERSPECIEDICHTHEID PER ZUIGVAK, BRON: "RWS/DIRECTIE NOORDZEE", ZIE ZUIGVAKINDELING VAARGEUL EN HAVEN ROTTERDAM, BIJLAGE B, FIGUUR 7-2	18
GRAFIEK 2-3: JAARGEMIDDELD STORTMASSA IN MILJOEN TONNEN DROGE STOF (MTDS) VAN HAVENBEDRIJF ROTTERDAM (HBR), RIJKSWATERSTAAT (RWS) EN TOTALEN VOOR LOSVAL NOORD, BRON: "RWS EN HBR"	19
GRAFIEK 2-4: DROGE STORTMASSA LOSVAL NOORD, ONDERVERDEELD IN ZAND EN SLIB, BRON: "RWS/DIRECTIE NOORDZEE" EN "HAVENBEDRIJF ROTTERDAM"	20
GRAFIEK 2-5: ZANDFRACTIE VAN DE STORTMASSA DAT ALS 'NIEUW' IS GELABELD VOOR HET KUSTFUNDAMENT	21
GRAFIEK 2-6: SPREIDING PROJECT & VAKLODINGEN	22
GRAFIEK 2-7: SPREIDING DNZ LODINGEN	22
GRAFIEK 2-8: VOLUMEONTWIKKELING LOSVAL NOORD UIT PROJECT- EN VAKLODINGEN	24
GRAFIEK 2-9: CORRELATIE TUSSEN NATTE EN DROGE DICHTHEID VOOR DE COMPLETE DATASET.	26
GRAFIEK 2-10: CORRELATIE TUSSEN SLIBGEHALTE EN KALKGEHALTE IN DE FRACTIE <2000 μM	29
GRAFIEK 2-11: MASSABALANS LOSVAL NOORD VAN 1964 TOT 1999	30
GRAFIEK 2-12: LINEAIRE VOORSTELLING MASSA-EMISSIE LOSVAL NOORD 1964 TOT 1996	30
GRAFIEK 2-13: LINEAIRE VOORSTELLING MASSA-EMISSIE 'STEADY STATE'	32
GRAFIEK 2-14: MASSABALANS MET DNZ LODINGEN	32
GRAFIEK 2-15: RELATIEVE FOUT MASSA-EMISSIE LOSVAL NOORD	36
GRAFIEK 3-1: BODEMSCHUIFSPANNING DOOR GOLVEN	45
GRAFIEK 3-2: BODEMSCHUIFSPANNING EN DE KANS VAN VOORKOMEN	46
GRAFIEK 3-3: GEMODELLEERDE WATERSTAND LICHTEILAND GOEREE OP 31 JANUARI 2006 SPRINGTIJ, BRON: "WWW.GETIJ.NL, RIKZ"	47
GRAFIEK 3-4: BODEMSTROOMSNELHEID VAN DE VLOED- EN EBSTROOM IN DE MAASGEUL	49

GRAFIEK 3-5: BODEMSCHUIFSPANNING EN KANS VAN OVERSCHRIJDEN	50
GRAFIEK 3-6: RESULTANTE BODEMSCHUIFSPANNING BEREKEND MET SOULSBY (1997) VOOR VERSCHILLENDE SIGNIFICANTE GOLFHOOGTEN, MET GEMIDDELDE WATERDIEPTE –10 M NAP.....	52
GRAFIEK 3-7: RESULTANTE BODEMSCHUIFSPANNING BEREKEND MET SOULSBY (1997) VOOR VERSCHILLENDE SIGNIFICANTE GOLFHOOGTEN, MET GEMIDDELDE WATERDIEPTE –15 M NAP.....	52
GRAFIEK 3-8: EQUIVALENT SEDIMENTTRANSPORT VOLGENS VAN RIJN (1989) DOOR RESULTERENDE BODEMSCHUIFSPANNING VOLGENS SOULSBY (1997) VOOR VERSCHILLENDE SIGNIFICANTE GOLFHOOGTEN, MET GEMIDDELDE WATERDIEPTE –15 M NAP	54
GRAFIEK 3-9: EQUIVALENT SEDIMENTTRANSPORT VOLGENS VAN RIJN (1989) DOOR RESULTERENDE BODEMSCHUIFSPANNING VOLGENS SOULSBY (1997) VOOR VERSCHILLENDE SIGNIFICANTE GOLFHOOGTEN, MET GEMIDDELDE WATERDIEPTE –10 M NAP	54
GRAFIEK 3-10: BODEMSCHUIFSPANNING DOOR STATIONAIRE STROMEN EN KANS VAN VOORKOMEN	55
GRAFIEK 3-11: JAARGEMIDDELDE EROSIE VAN LOSWAL NOORD TEN GEVOLGE VAN STATIONAIRE STROMEN	56
GRAFIEK 5-1: NETTO BIJDRAGE LOSWAL NOORD AAN DE ZANDVOORRAAD VAN HET NEDERLANDS KUSTFUNDAMENT VAN 1964 TOT 1996 IN MILJOEN TON DROGE STOF (MTDS)	63
GRAFIEK 5-2: MASSABALANS LOSWAL NOORD IN MILJOEN TON DROGE STOF (MTDS).....	65
GRAFIEK 5-3: RELATIEVE FOUTEN IN MASSABALANS LOSWAL NOORD	65

Tabellen

TABEL 2-1: TDS/VOLUME OMREKENFACTOREN PER ZUIGVAK [TDS/M ³], BRON: "RWS/DIRECTIE NOORDZEE" EN "HAVENBEDRIJF ROTTERDAM", ZIE ZUIGVAKINDELING VAARGEUL EN HAVEN ROTTERDAM, BIJLAGE B, FIGUUR 7-2.....	18
TABEL 2-2: ZAND/SLIB VERHOUDING VAN DROGE BAGGERSPECIE PER ZUIGVAK, BRON: "RWS/DIRECTIE NOORDZEE" EN "HAVENBEDRIJF ROTTERDAM", ZIE ZUIGVAKINDELING VAARGEUL EN HAVEN ROTTERDAM, BIJLAGE B, FIGUUR 7-2	20
TABEL 2-3: CORE LOGGER EN GEMETEN WAARDE DROGE EN NATTE DICHTHEID VAN GESTORT SEDIMENT VAN LOSWAL NOORD EN OMGEVING.....	27
TABEL 2-4: BEREKENING ZAND EN SLIBEMISSIE VOOR DE PERIODE 'STEADY STATE' 1974 TOT 1996.....	33
TABEL 2-5: BEREKENING ZAND EN SLIBEMISSIE VOOR DE PERIODE 1964 TOT 1996	33
TABEL 2-6: STANDAARDDEVIATIE VAN DE DROGE DICHTHEID PER ZUIGVAK BEPAALD UIT DE VARIATIE IN DROGE DICHTHEID IN DE PERIODE 1992 TOT 2001	35
TABEL 3-1: VERDELING VAN ZANDTRANSPORT VAN LOSWAL NOORD BIJ NAP -10 EN -15 M.....	55
TABEL 7-1: INTERPOLATIE PARAMETERS DIGIPOL.....	94

Bijlage A Grote morfologische invloeden in de periode 1966 tot 1996

Inventarisatie van interviews en beschikbare rapporten door Sandeh (2006) RIKZ voor het verkrijgen van een eerste indruk van grote morfologisch veranderingen in en rondom de Zuid Hollandse kust.

Afsluiting Haringvliet

De Haringvlietsluizen zijn van 1965 tot 1970 aangelegd. Door de afsluiting van het Haringvliet is er morfologisch veel veranderd doordat de getijdenstromen door de afdamming is onderbroken en er alleen nog maar water uitstroomt. De stroomsnelheden zijn sterk afgenomen waardoor in de monding van het Haringvliet veel sedimentatie optreedt. Alle gaten zijn gevuld met materiaal met een hoog slibgehalte. Door deze sedimentatie is het Rak van Scheelhoek, een geul van 12 m diep en 7 km lang die evenwijdig aan de kust van Voorne loopt, dichtgeslibd. Naar schatting is daar 50 Mm³ slib en zand op natuurlijke wijze afgezet en zijn zandbanken ontwikkeld. Verder vindt uiteraard veel aanslibbing plaats in het Haringvlietbekken zelf, dit materiaal komt niet meer in zee terecht. De schatting van de hoeveelheid afgezet slib is hoger dan blijkt uit eerdere bodemopnamen (Kort en Diekhaar, 1980). Verschillende meetmethodes (steekmonsters resp. radiometrische kartering) geven verschillende uitkomsten.

Hoek van Holland / De Van Dixhoorn Driehoek

Bij Hoek van Holland is ten noorden van de Noorderpier het strand uitgebreid. Deze driehoekige uitbreiding gaat het leven door als 'De Van Dixhoorn Driehoek'. Inmiddels ligt er een nieuwe duinenrij en hebben de strandactiviteiten zich naar het westen verplaatst op het nieuwe strand. De Van Dixhoorn Driehoek is in 1971 aangelegd. Het zand is vermoedelijk afkomstig uit de Maasgeul, maar het kan ook komen uit de havens die later zijn uitgebaggerd in de Maasvlakte. Naar schatting gaat het om 18 Mm³ (Jan Andrea/DNZ).

Er is in 1994 afgesproken dat 10 jaar lang zand uit de Maasgeul op het strand van Hoek van Holland gebracht zou worden. Deze operatie verliep via de stad Rotterdam. Het betreft 200.000 m³ per jaar vanaf 1988, vanaf 1997 200.000 m³ per twee jaar.

Nieuwe Waterweg

Na het gereedkomen van de Haringvlietsluizen in 1970 stroomt er meer water door de Nieuwe Waterweg naar zee. Het water in het Haringvlietbekken gaat nog maar met enkele decimeters op en neer terwijl aan de noordrand (de Nieuwe Waterweg) de getijbeweging veel sterker is (wel anderhalve meter). In de verbindingen tussen het Haringvlietbekken en de Nieuwe Waterweg is het dan ook veel sneller gaan stromen dan voorheen. Dit geldt o.a. voor de Dordtse Kil en het Spui en het stuk Oude Maas bij Spijkenisse waar deze aansluit op de Nieuwe Waterweg. Zonder maatregelen zou er veel uitschuring optreden, met als neveneffect ook extra zoutindringing (vooral bij lage afvoer). Er is een hiervoor trapjeslijn (drie treden) in de Nieuwe Waterweg aangebracht. Dit houdt in dat de bodem geleidelijk verhoogd is naar binnen met behulp van zwaarder materiaal, zoals grind. Om verdere uitschuring van het genoemde stuk van de Oude Maas tegen te gaan werden gronddammen aangelegd. Wat de zoutindringing betreft is vooral het al dan niet verzilten van de Hollandse IJssel van belang, omdat van hieruit middenholland van zoetwater wordt voorzien.

Maasvlakte

De Maasvlakte is aangelegd van in de periode van ongeveer 1965 tot 1974 op een hoogte van 5 meter boven NAP (+5 NAP). Er is niet gekozen voor een-dijk-met-polder-onder-de-zeespiegel maar voor een industrieterrein boven de zeespiegel teneinde buitenlandse investeerders niet af te schrikken. Investeren op een plek die onder de zee ligt, dat doet een buitenlander niet. De buitenkant is deels versterkt met grof zand / grind uit de Noordzee dat ten oosten van Engeland is weggehaald. Verder is er veel stortsteen gebruikt en betonnen blokken voor de bescherming.

De Maasvlakte is opgespoten met zand uit de Eurogeul en Maasgeul. Stel dat de Maasvlakte 5 bij 5 km is, en 5 m boven zee uitsteekt op een plek waar de zee ooit 10 meter diep was, dan is hiervoor 375 miljoen kuub zand voor nodig geweest (=5.000 x 5.000 x 15). Later zijn hieruit de havens uitgebaggerd, waardoor er weer zand vrijkwam (zie de Van Dixhoorn Driehoek). Tussen 1969 en 1972 wordt een splitsingsdam tussen de Nieuwe Waterweg en de toegangsgeul naar Europoort aangelegd. Dan krijgt ook Europoort en de Maasvlakte hun eigen toegang naar zee met een geul die veel dieper is dan de er naast liggende Nieuwe Waterweg.

Verdieping Maasgeul

De verdieping van de Maasgeul vond continu plaats vanaf eind jaren 60-er tot de negentiger jaren plaats. De Maasgeul, oorspronkelijk 16 m diep, is in fasen verdiept, steeds enkele meters tot uiteindelijk een diepgang van 25 m bereikt is. Het zand ging eerst naar Loswal Noord, later is het zand gebruikt voor de kustsuppletie en de Maasvlakte. Vanwege de relatieve ondiepte van de Noordzee moest hier tot ver in zee gebaggerd worden, en vergt het onderhoud ook het nodige baggerwerk.

Trog van Tom

Om de aanslibbing van de vaargeul en havens te verminderen is in de vaargeul (Maasgeul) een verdieping aangelegd. Het idee was dat het slib en zand hierin zou sedimenteren in plaats van de vaargeul. Deze verdieping is de 'Trog van Tom' genoemd naar Tom Haksteen van DNZ. Het zand dat bij de aanleg in 1996 en 1997 vrijkwam, circa 5 Mm³ is ten zuiden van Loswal Noord gestort.

Ankergebied

In het ankergebied, HA en HB, is in 1982 7 Mm³ zand vrijgekomen, dit volume is overigens niet op Loswal Noord gestort, maar vermoedelijk in de zandhandel verdwenen.

Speciedepot Slufter

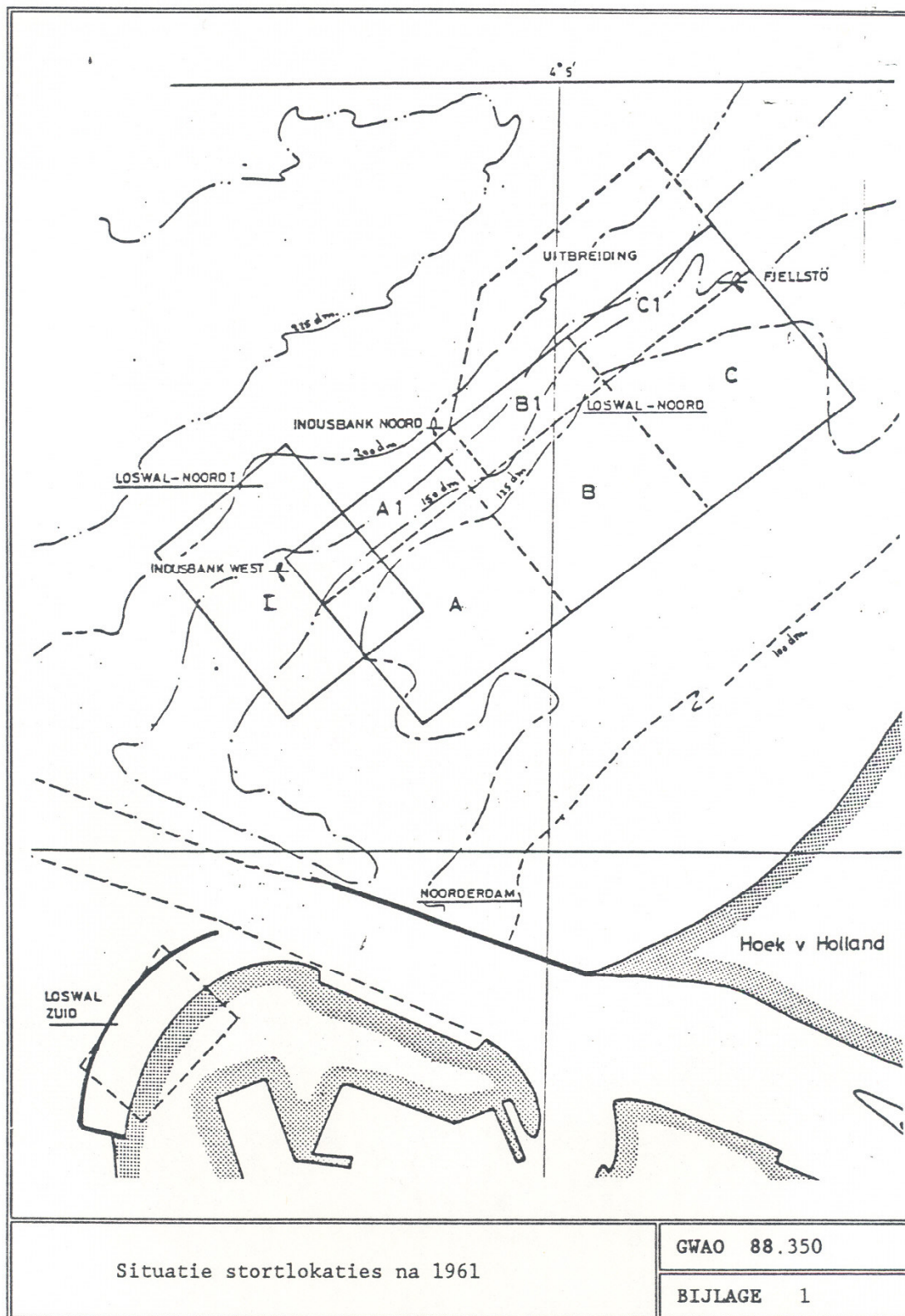
De aanleg van het Slufterdepot is begonnen in 1985 en komt gereed in 1987 ten behoeve van vervuilde baggerspecie.

Dammetje van Wiersma

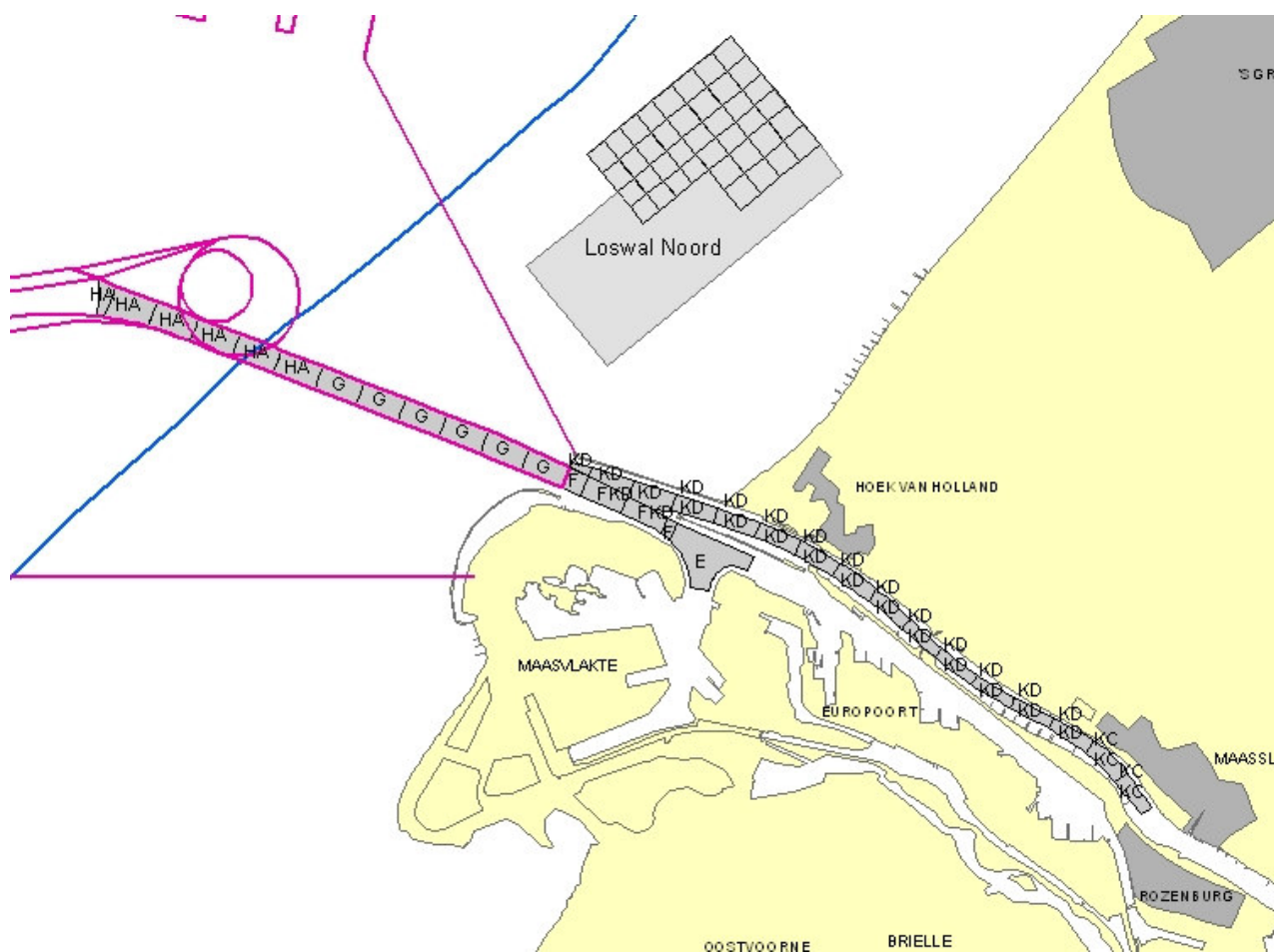
Om de retourstroom van Loswal Noord naar de vaargeul en havens van Rotterdam te verminderen is in 1981 en 1982 een dammetje ten zuiden van Loswal Noord aangelegd, die door het leven gaat als het 'Dammetje van Wiersma'. Het 'Dammetje van Wiersma' werd tevens gebruikt als studieobject. De lengte is 3.600 m, de voetbreedte 250 á 370 m en de hoogte varieert van 1,30 tot 4,05 m. De helling van het talud varieert van 1:19 tot 1:95. In totaal zit er in 3,5 Mm³ zand in. Er werd namelijk verondersteld dat er een 'slibpannenkoek' over de zeebodem gaat. Deze slibdeken zorgt ervoor dat de haven aanslibt. Het aanleggen van dit 'Dammetje van Wiersma' heeft niet gewerkt om de aanslibbing van de haven te verminderen.

Bijlage B Kaarten en plots

Figuur 7-1: stortvakken Loswal Noord, bron: van Heuvel (1988)



Figuur 7-2: zuigvakken vaargeul en haven van Rotterdam, bron: DNZ



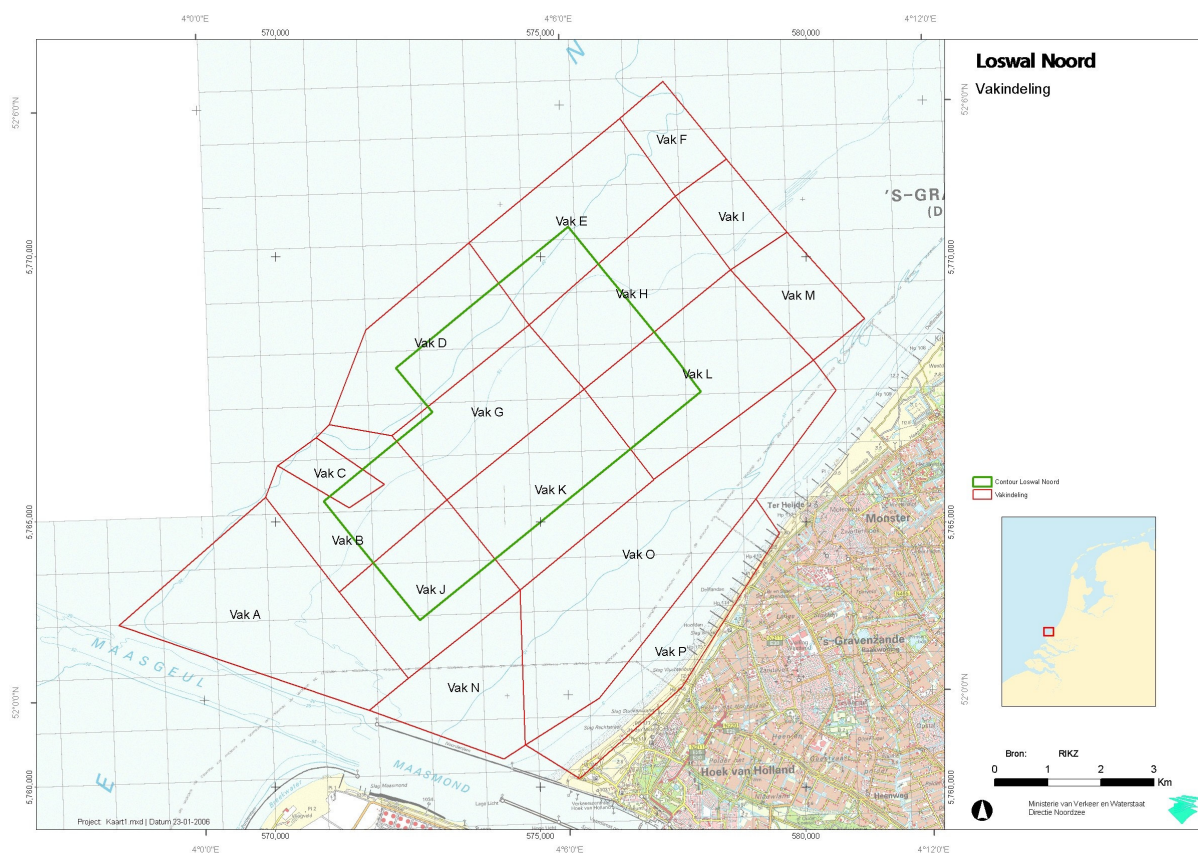
NA & MA

De zuigvakken NA en MA liggen verder stroomopwaarts. Gezien de verwaarloosbare zuigvolumes uit deze vakken worden deze vakken niet afzonderlijk afgebeeld.

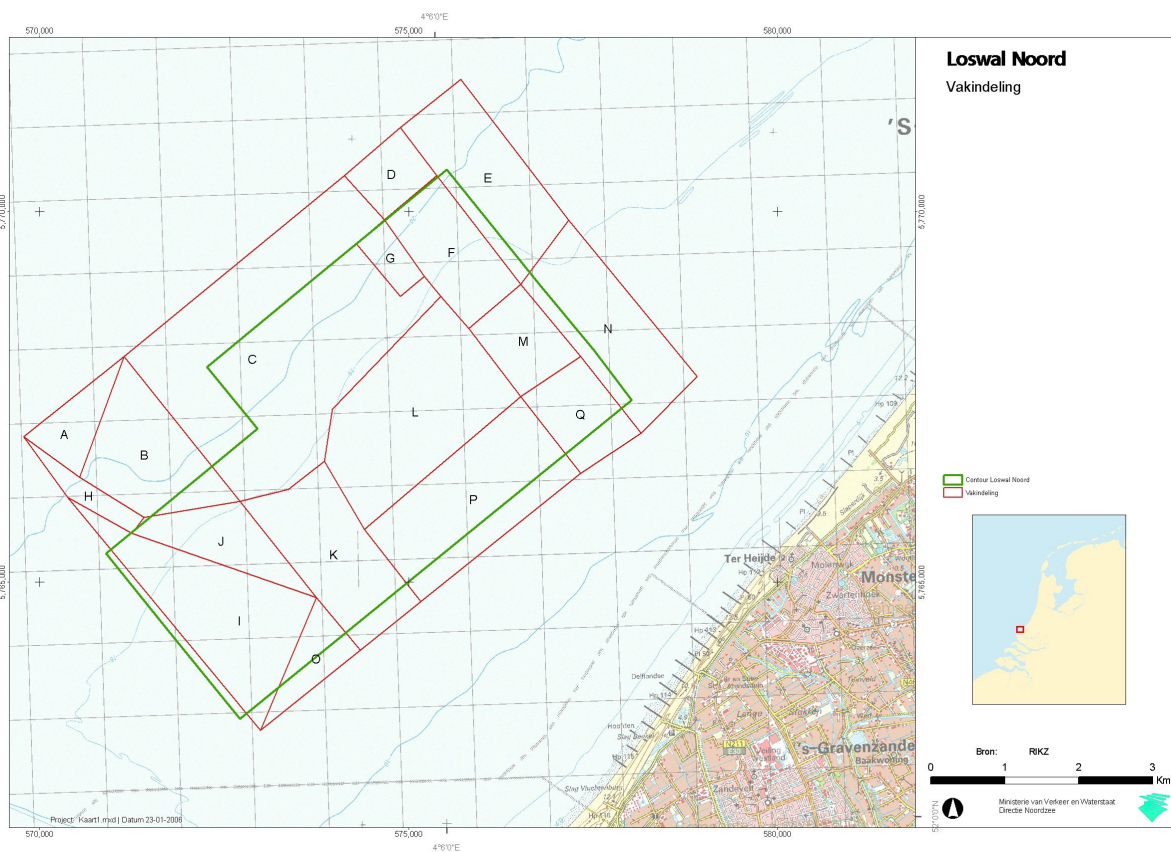
Europoort & Botlek

Het Europoortgebied is aangegeven ten zuiden van de vaargeul. Het Botlekgebied ligt verder stroomopwaarts ten zuiden van de vaargeul, net naast Rozenburg

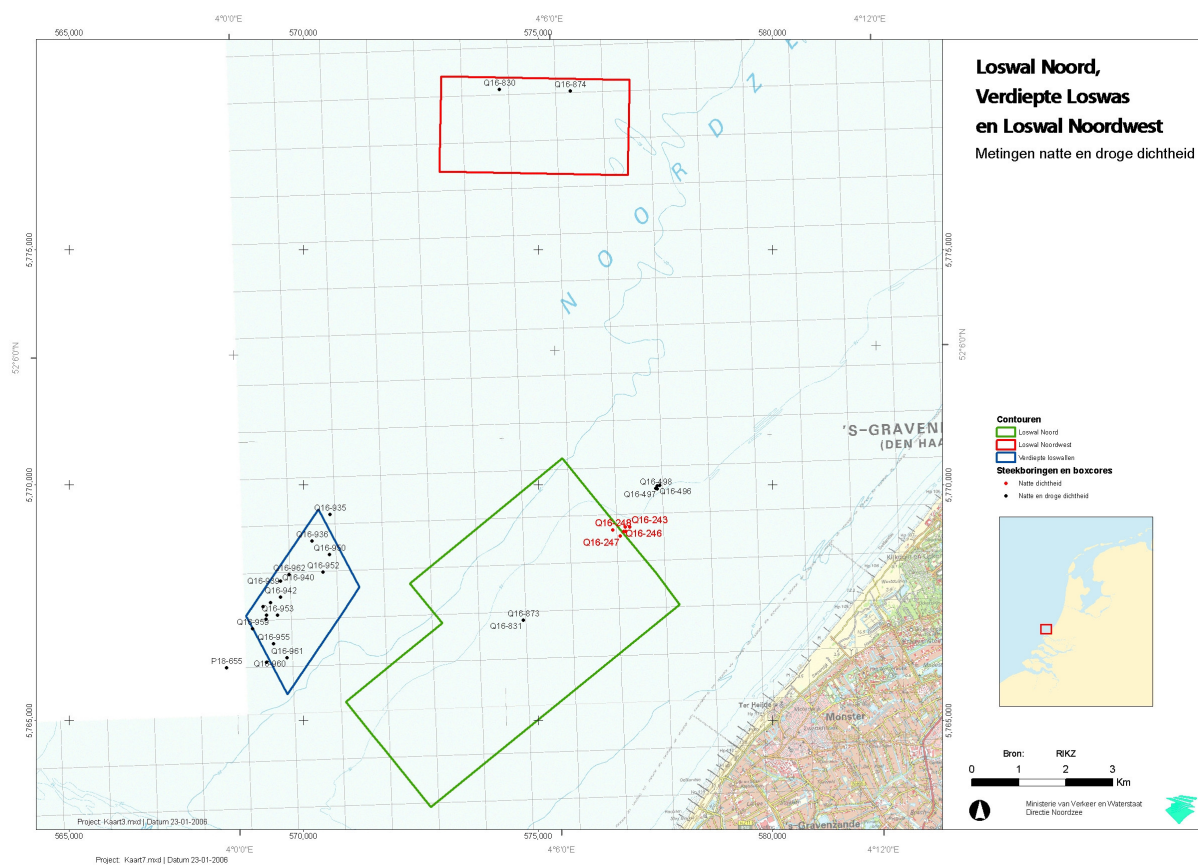
Figuur 7-3: vakindeling project en vaklodingen



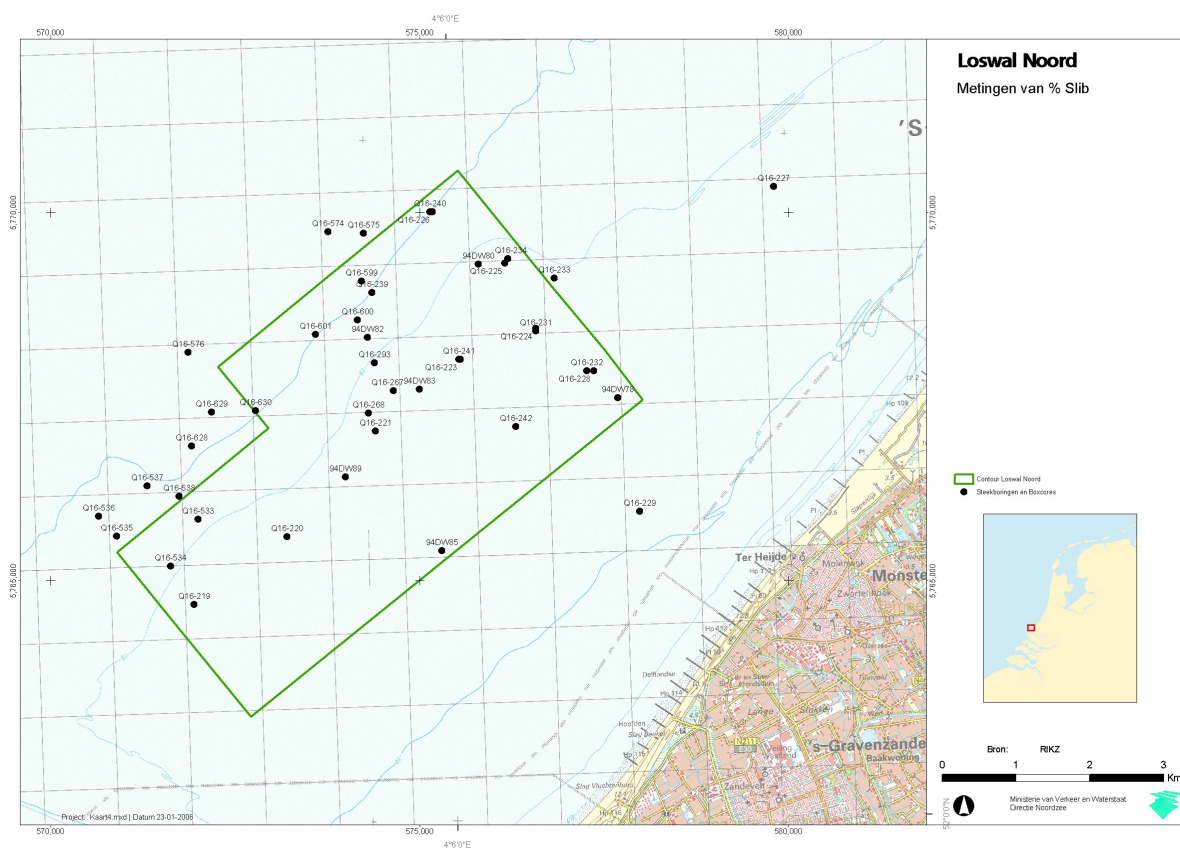
Figuur 7-4: vakindeling DNZ Iodigen



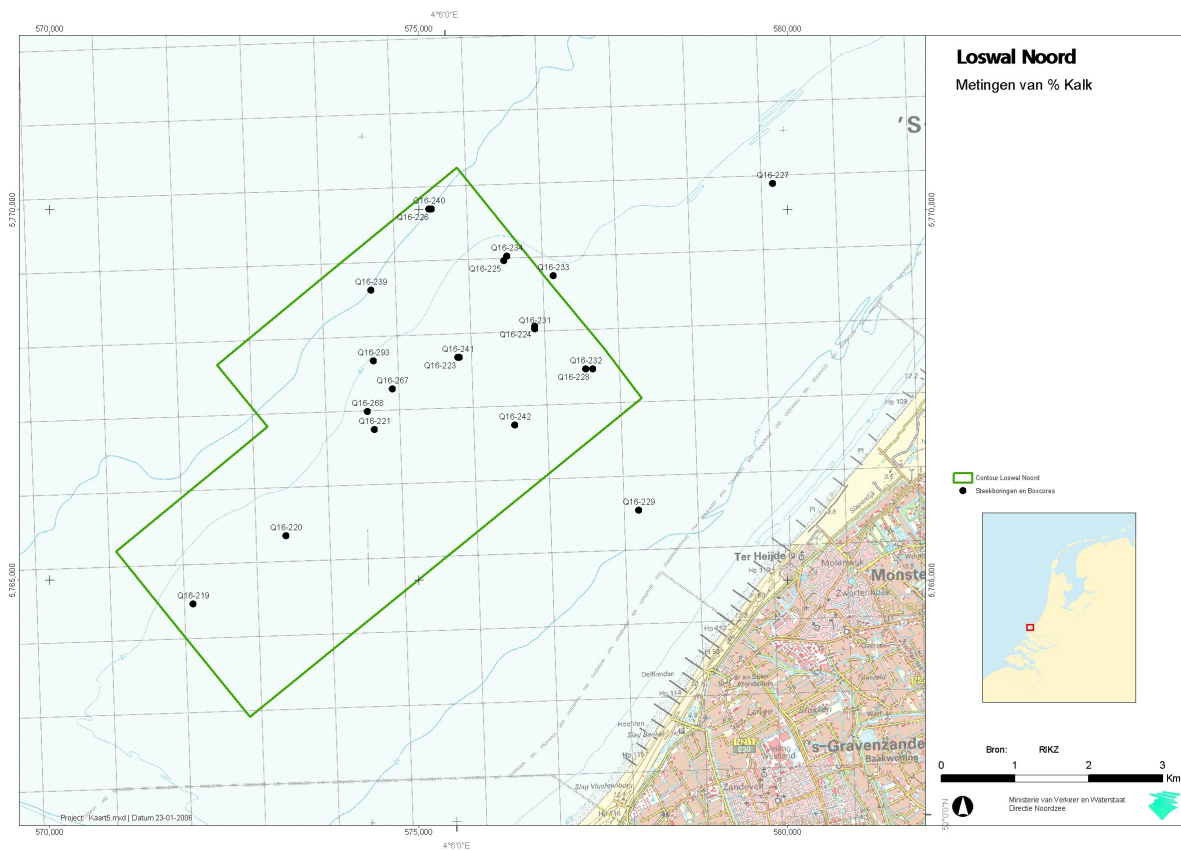
Figuur 7-5: steekboringen ter bepaling van de droge dichtheid



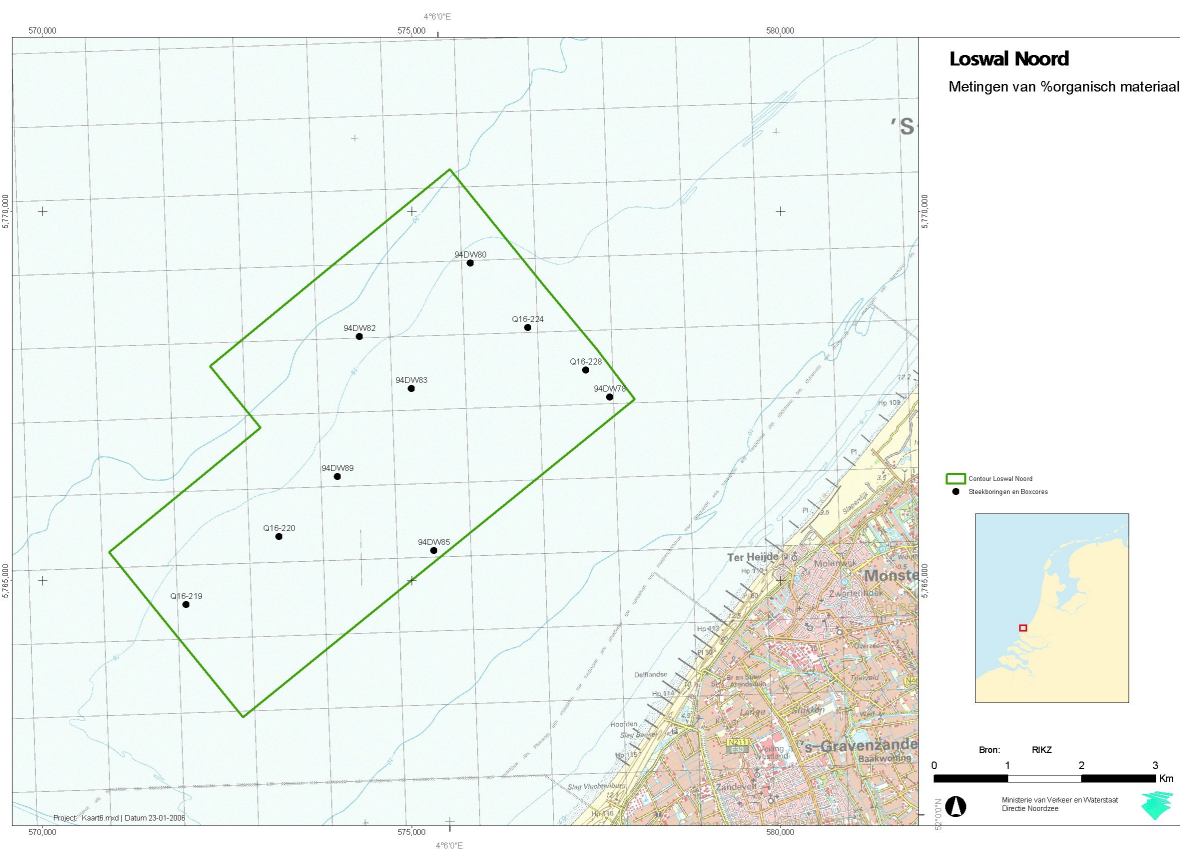
Figuur 7-6: steekboringen en boxcores ter bepaling van het slibgehalte



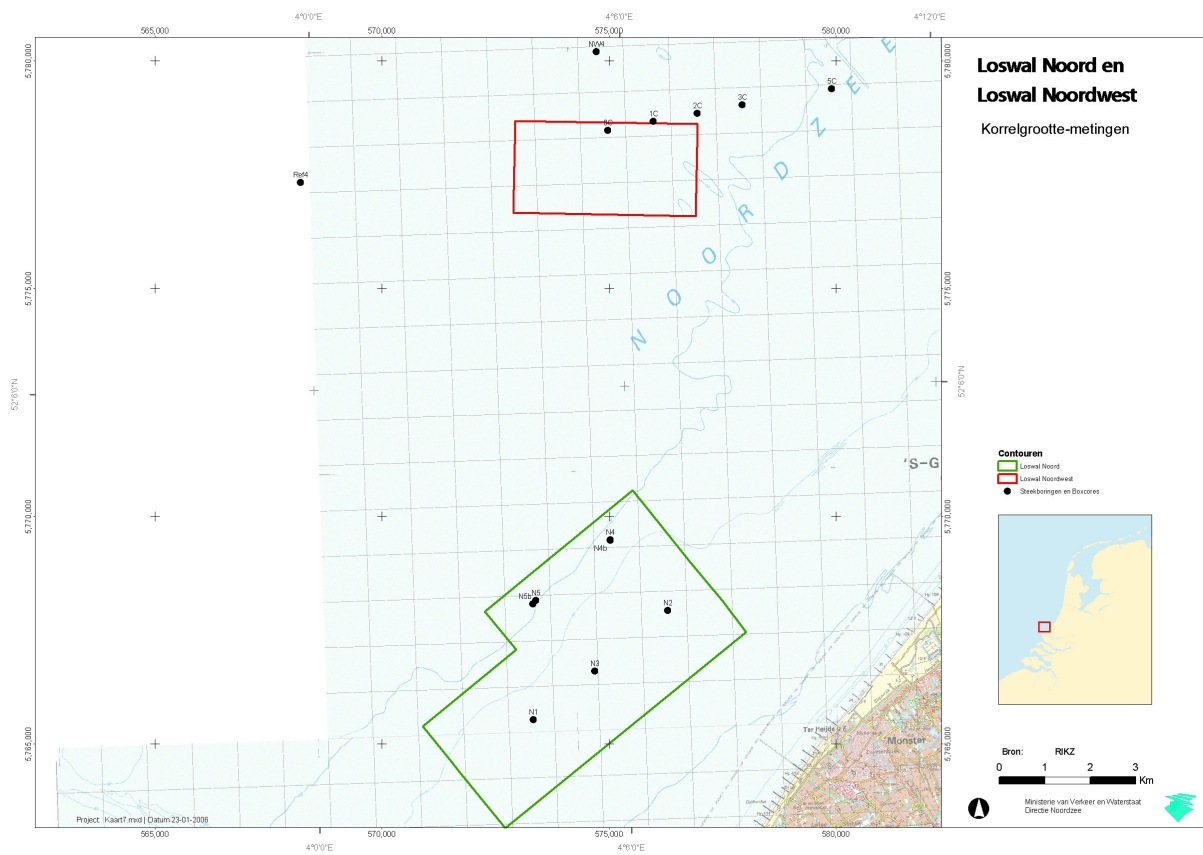
Figuur 7-7: steekboringen en boxcores ter bepaling van het kalk en schelpengehalte



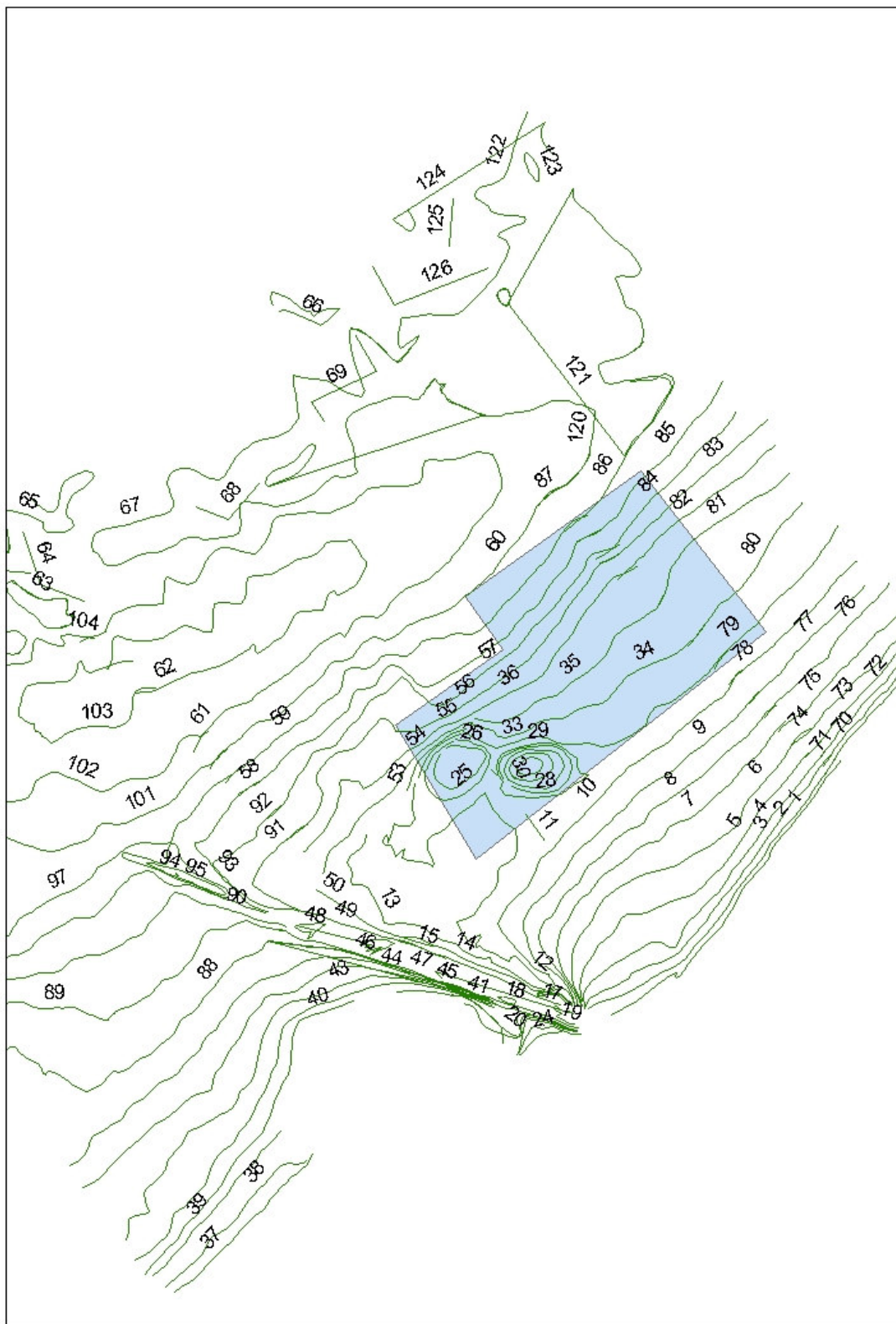
Figuur 7-8: steekboringen en boxcores ter bepaling van het gehalte organisch materiaal



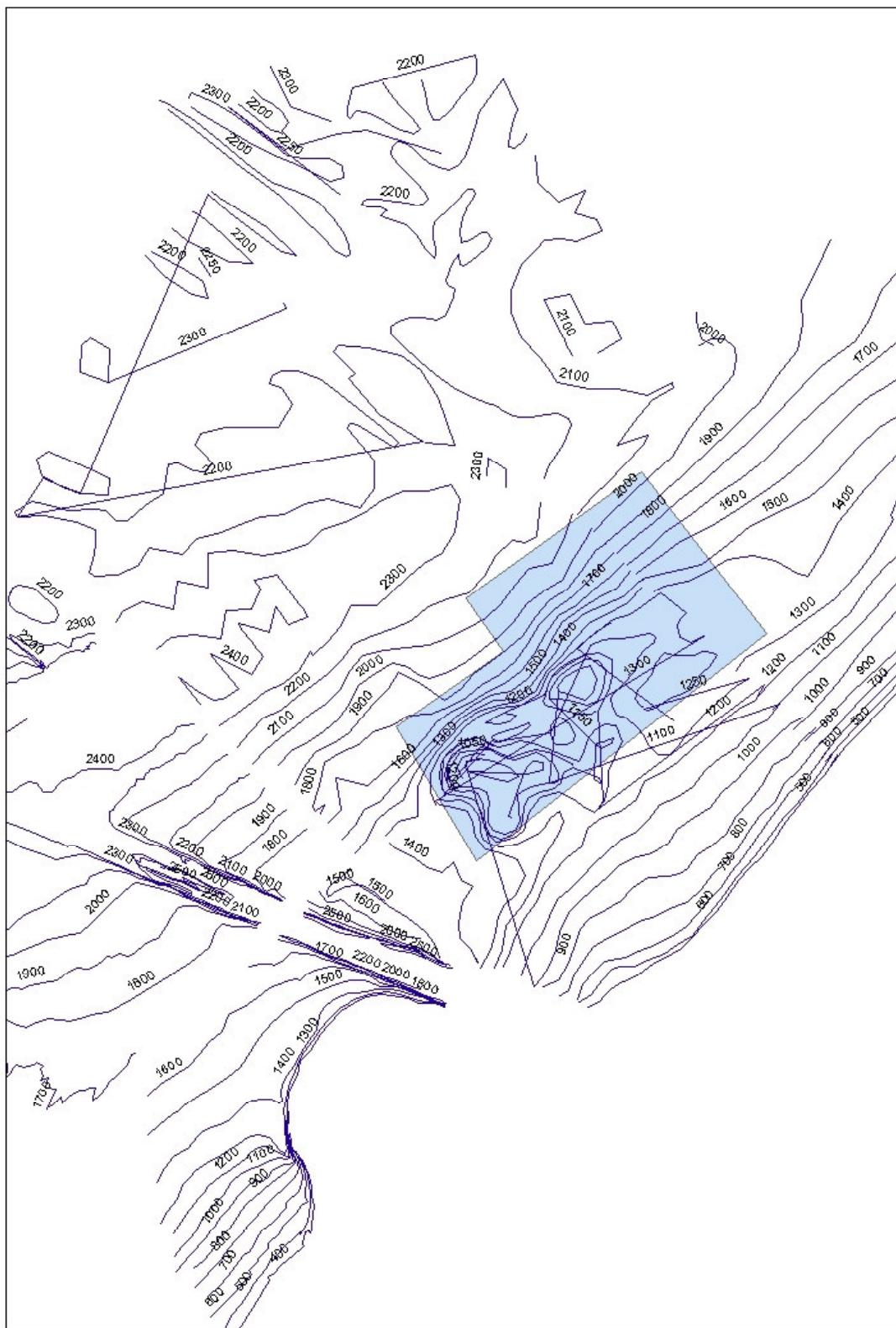
Figuur 7-9: Aguasense boxcores ter bepaling van de korrelverdeling van de toplaag



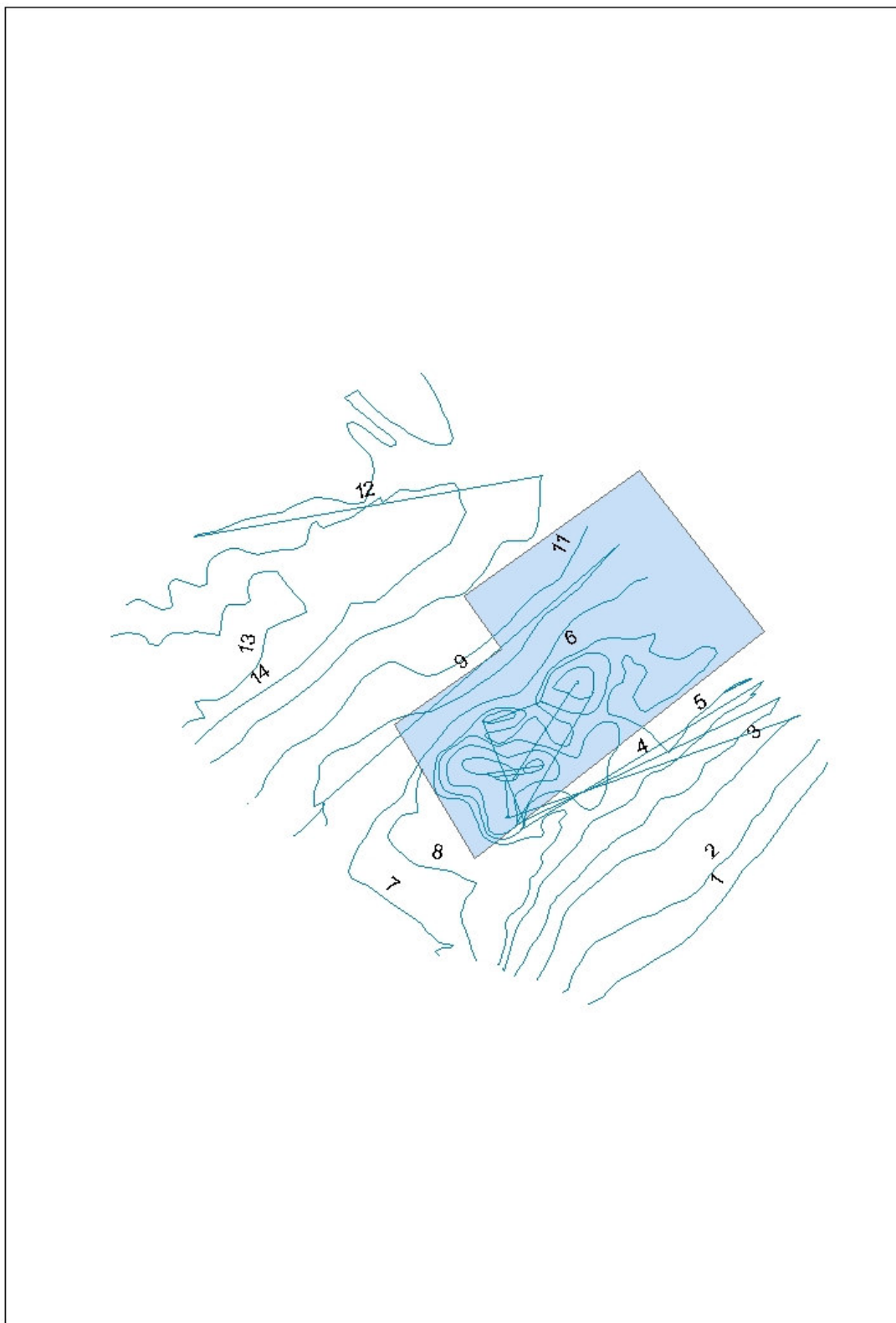
Figuur 7-10: hoogtelijnen van loding 1968 [dm] tov NAP



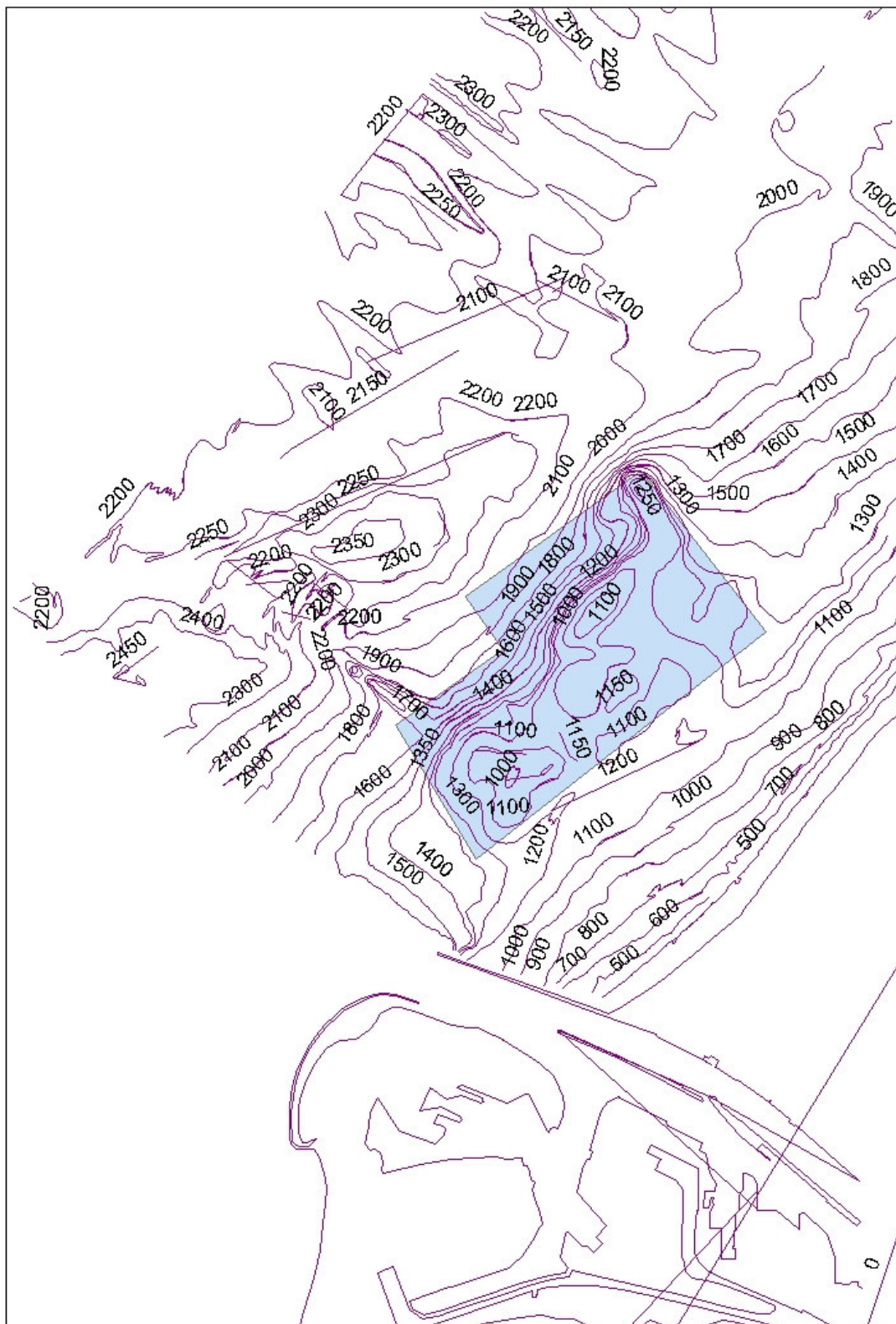
Figuur 7-11: hoogtelijnen van loding 1974 [cm] tov NAP



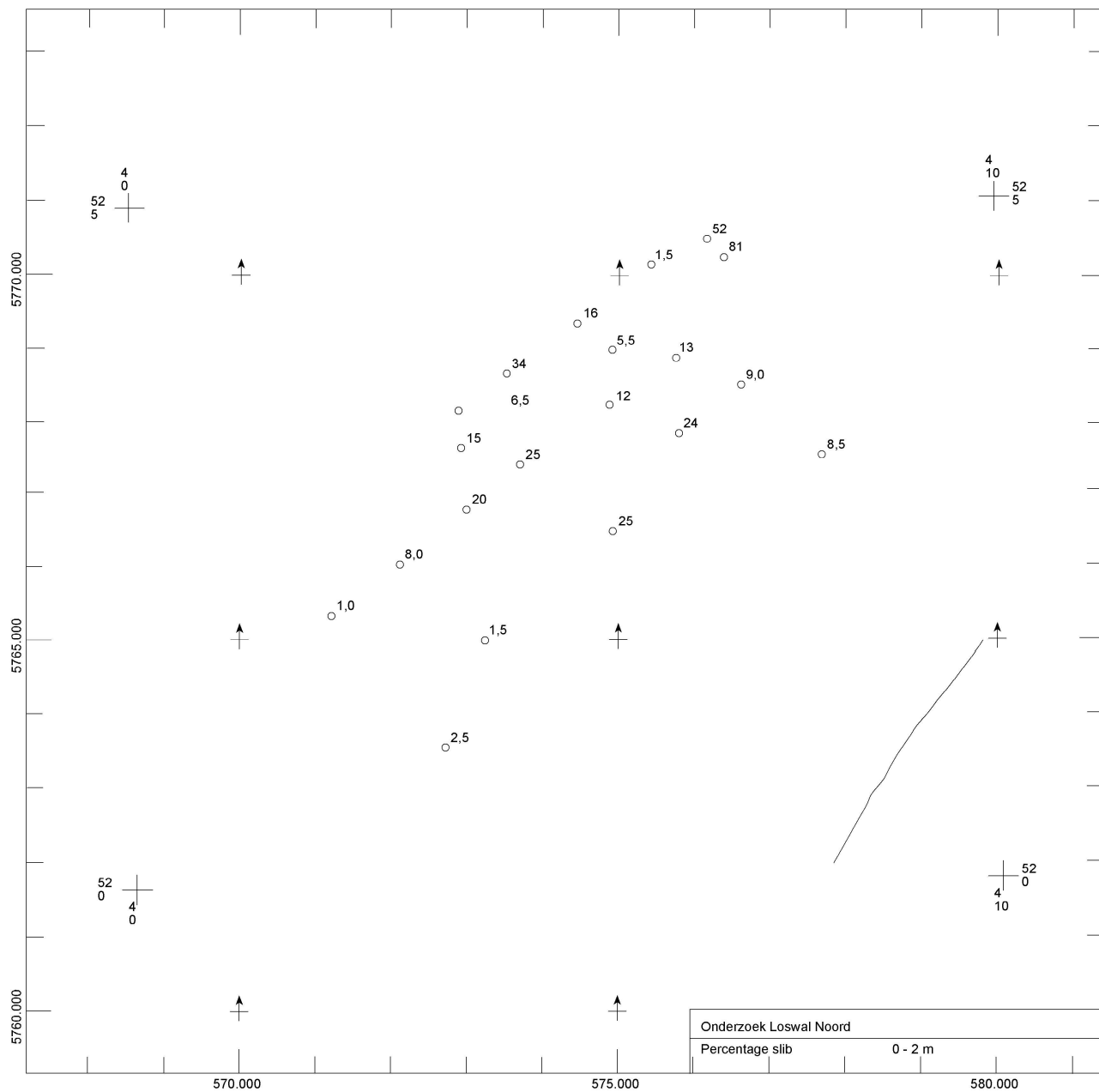
Figuur 7-12: hoogtelijnen van loding 1975 [m] tov NAP



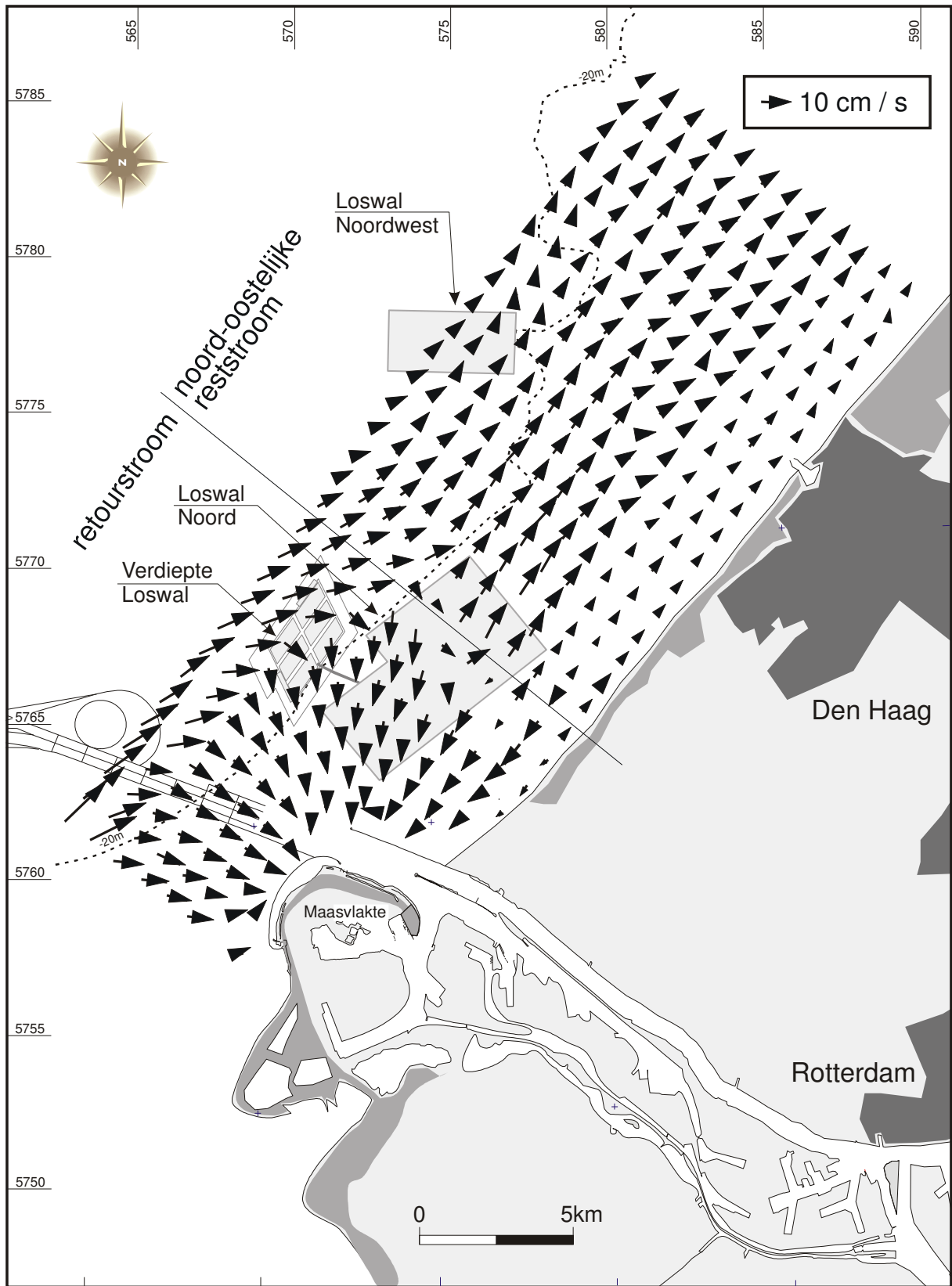
Figuur 7-13: hoogtelijnen van loding 1986 [cm] tov NAP



Figuur 7-14: Ruimtelijke variabiliteit van het percentage sliblaagjes in de bovenste 2 m van Loswal Noord boorkernen, bron: van der Klugt (1991)

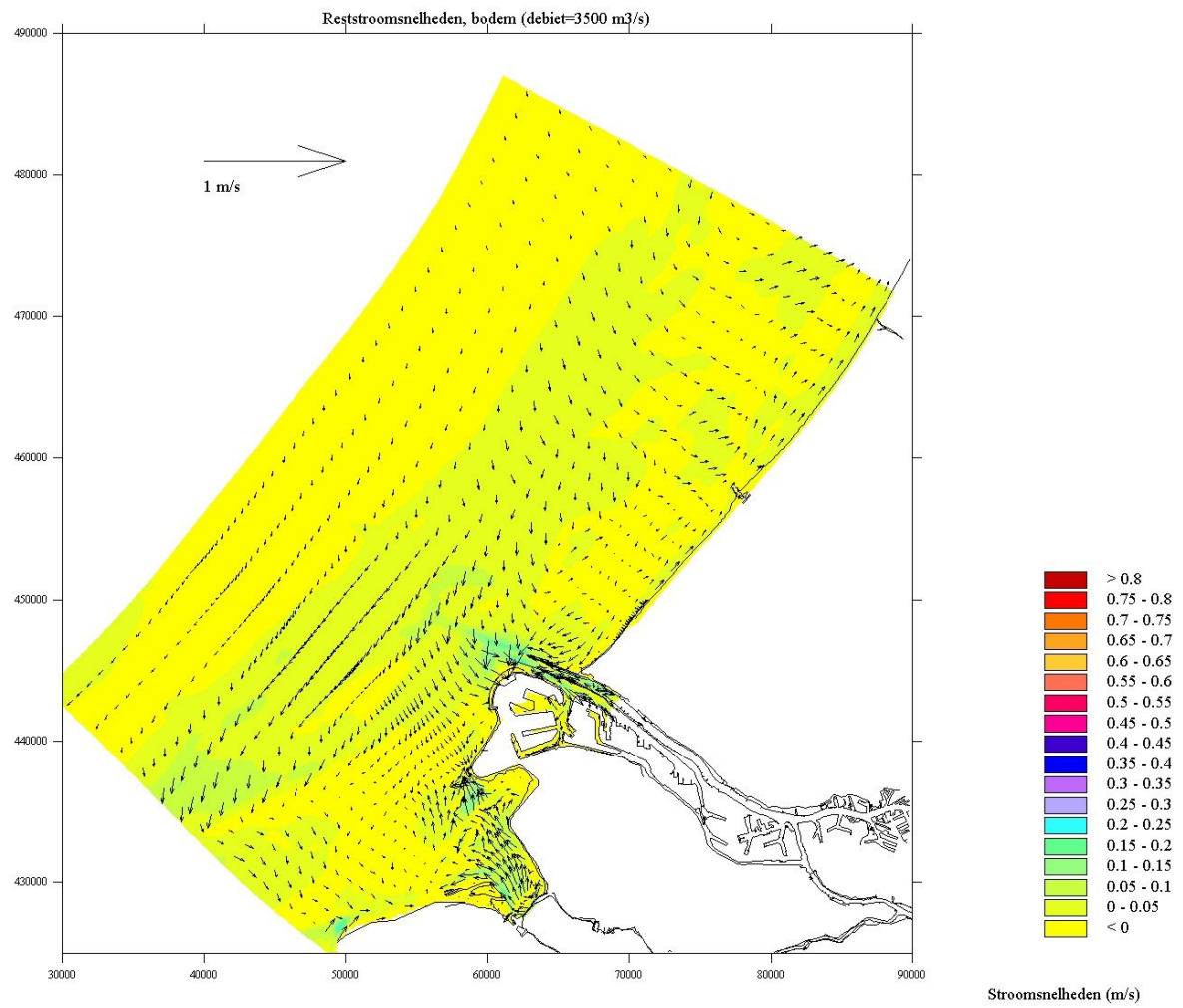


Figuur 7-15: reststroming 7 m boven de bodem bij 5 m/s zuidwesten wind



sd02045.cdr

Figuur 7-16: bodem reststroming, Svasek modellering mei 2001



Bijlage C Beschrijving dieptepuntgegevens

Project & vaklodinggegevens (1964 tot 1999)

Voor de periode 1964 tot 1986 zijn gedigitaliseerde dieptegegevens uit projectlodingen van Loswal Noord beschikbaar. Vanaf 1992 zijn iedere die jaar vaklodingen tot -20 m NAP voor de gehele Nederlandse kust uitgevoerd en digitaal verwerkt. Loswal Noord valt binnen dit lodinggebied, waardoor vaklodingen met de gedigitaliseerde projectlodingen kunnen worden vergeleken.

Projectlodingen 1964 tot 1986

De Kruif (2001) heeft bodemdieptegegevens van het Nederlandse kuststelsel uit de archieven van Rijkswaterstaatsdiensten, Hydrografische Dienst, TNO NITG en MARIS geïnventariseerd. De gegevens betreffen handmatig verwerkte echolodingen georiënteerd over een raai of hoogtelijn die in die oriëntatie zijn gedigitaliseerd.

Bestand Delfland, 1964

Dit bestand bestaat uit gedigitaliseerde puntdata samengesteld uit vele kaarten. Het is in de inventarisatie van Kruif (2001) niet gelukt om te achterhalen welke kaarten uit welke jaren aan de bestanden ten grondslag liggen. De dieptegegevens zijn gegeven in het RijksDriehoek (RD) coördinatenstelsel ten opzichte van NAP.

Bestanden Delfland, 1968, 1974, 1975 en 1986

Deze bestanden bestaan uit gedigitaliseerde hoogtelijnen gebaseerd op projectlodingen, zie Bijlage B, Figuur 7-10 tot en met Figuur 7-13. In de inventarisatie van de Kruif (2001) is echter niet de opbouw van de hoogtelijnen achterhaald. De dieptegegevens zijn gegeven in het RD coördinatenstelsel ten opzichte van NAP.

Bestanden Delfland, 1976, 1981, 1982 en 1983

Deze digitale bestanden bestaan uit geïnterpoleerde puntdata gebaseerd op projectlodingen. De dieptegegevens zijn gegeven in het Universal Transfer Mercator (UTM) coördinatenstelsel ten opzichte van NAP.

Vaklodingen 1993 tot 1999

Deze bestanden bestaan uit digitaal verwerkte puntdata gebaseerd op vaklodingen. De dieptegegevens zijn gegeven in het RD coördinatenstelsel ten opzichte van NAP.

Directie Noordzee lodinggegevens (1990 tot 1999)

Deze bestanden bestaan uit digitaal verwerkte puntdata over raaien van single beam echolodingen over Loswal Noord. De dieptegegevens zijn gegeven in het UTM coördinatenstelsel ten opzichte van het middenstandsvlak (MV).

Bijlage D Interpolatie van dieptepuntgegevens

De beschikbare bestanden met dieptegegevens hebben een beperkte bodembedekking. Met behulp van het software programma DIGIPOL zijn de dieptepuntgegevens geïnterpoleerd naar diepte-informatie op een puntenraster met volledige bodembedekking. De diepte-informatie met volledige bodembedekking kan in GIS worden ingelezen zodat bodemprofielen van verschillende tijdstippen met elkaar vergeleken kunnen worden.

Invoerbestanden

De beschikbare dieptepuntgegevens zijn gegeven in X,Y,Z bestanden. De coördinaten (XY) van een dieptepeiling (Z) wordt niet door DIGIPOL geïnterpreteerd. De X,Y waarden worden bij de uitvoer in hetzelfde coördinatenstelsel (UTM of RD) en eenheden uitgedrukt, de Z waarden worden geïnterpoleerd.

De bestanden Delfland, 1976, 1981, 1982 en 1983 zijn reeds geïnterpoleerd met BOTKAR (een verouderd interpolatieprogramma dat sterk lijkt op DIGIPOL) met een 200*200 m gridsize. De met BOTKAR geïnterpoleerde dieptegegevens zijn echter niet in GIS in te lezen. Om de bestanden toch bruikbaar te maken voor GIS bewerkingen is de waarde van elke cel geconverteerd met PCTTRANS naar het RD coördinatenstelsel ten opzichte van NAP en opnieuw geïnterpoleerd met DIGIPOL.

Vergriden

Om de dieptepuntgegevens te interpoleren naar diepte-informatie met een volledige bodembedekking moet het lodinggebied worden vergrid. Maximale en minimale (x,y) coördinaten definiëren het lodinggebied dat wordt vergrid met een bepaalde gridgrootte of gridsize. Aan de hand van de dichtheid van meetpunten, de spreiding, (schijnbare)nauwkeurigheid en de capaciteit voor computerberekeningen is een gridsize van 20 * 20 m voor alle diepte-informatie bestanden gekozen. De gridcellen krijgen een waarde gelijk aan de gemiddelde waarde van de meetpunten die in een gridcel voorkomen.

Interpolatieopties

DIGIPOL hanteert interpolatieopties om de effecten van bodemtopografie en contouren te verdisconteren om een optimale nauwkeurigheid te kunnen genereren.

parameter	beschrijving	Hoogte(m)	BOTKAR	vak	DNZ	()
oversize	voorkomen van randeffecten	8	8	8	8	#
searchdepth	maximum waarde van de overbruggingsafstand die in de interpolatie mag worden gebruikt	3000	500	500	350	m
directiondepth	waarde van de straal van de cirkel waarbinnen de hoofdrichting wordt bepaald	1000	200	200	150	m
angles	aantal mogelijke waarden voor de hoofdrichting	64	64	64	64	#
maxratio	maximale ellipsratio die mag worden gebruikt voor de verhouding van de zoekellips	5	5	5	5	#
iterations	aantal uit te voeren iteraties per grid	10	10	10	10	#

Tabel 7-1: interpolatie parameters DIGIPOL

De interpolatie parameters *searchdepth* en *directiondepth* verschillen voor de dieptepuntgegevens. *Searchdepth* en *directiondepth* worden zo groot gekozen dat de interpolatie een diepte-informatie met volledige bodembedekking genereert en zo klein dat de lokale veranderingen in de bodemtopografie voldoende worden gevolgd. Dieptepuntgegevens georiënteerd over hoogtelijnen hebben op vlakke delen een grote onderlinge afstand, waardoor een grote *searchdepth* en *directiondepth* nodig zijn. De onderlinge raaiafstand (tussen 100 en 150m) in de DNZ dieptepuntgegevens, maakt een kleine *searchdepth* en *directiondepth* mogelijk.

Bijlage E **Nauwkeurigheid van volumeberekening**

De geïnterpoleerde dieptegegevens worden gebruikt om de volumeontwikkeling van Loswal Noord te kunnen analyseren. De nauwkeurigheid van dieptegegevens bepaald de bruikbaarheid van analyses van de volumeontwikkeling van Loswal Noord.

De fout van volumebepalingen wordt bepaald door registratiefouten van dieptepuntgegevens en fouten die ontstaan door interpolatie. Registratiefouten van dieptepuntgegevens kunnen worden opgedeeld in stochastische, systematische en variabele systematische registratiefouten. De doorvertaling van registratie en interpolatiefouten in de analyse van volumeontwikkelingen wordt bepaald door de onderlinge of relatieve fouten en niet de absolute fouten, aangezien de volumeontwikkelingen uit verschillende in bodemopnames wordt bepaald.

Stochastische registratiefouten

Een stochastische registratiefout van een dieptebeplating is een fout die volkomen willekeurig voorkomt. De grootte en richting worden door toeval bepaald. Er kan worden aangenomen dat deze fout 'normaal' (Gauss verdeling) verdeeld is (storm et al, 1993). Bepalende stochastische registratiefouten zijn gegeven:

Fout in positiebepaling:

- Deze fout is afhankelijk van de helling van de bodem. De fout die per vak ontstaat kan ten opzichte de hellingsgradiënt van de oppervlakte bepaald worden.

Fout die ontstaat door onnauwkeurigheid van echolood:

- Deze fout is een apparaatfout die in de loop der tijd kleiner zijn geworden door het automatiseren van het systeem.

Fout die onnauwkeurigheid door calibratie van echolood (barcheck):

- Deze fout ontstaat door ijking van het echolood en variaties in zoutgehalte, druk en temperatuur in het opnamegebied.

Fout die ontstaat door schipbewegingen:

- Deze fout ontstaat door deining en golfbewegingen.

Fout die ontstaat door omrekenen van MV naar NAP

- Deze fout ontstaat het omrekenen van een dynamisch referentievak gekoppeld aan getij, het MV, naar een vast referentievak, het NAP. De ontwikkeling van getijdentafels maakt deze fout steeds kleiner.

Fouten in volumeverschillen voor Loswal Noord

Bollebakker en Van der Male (1993) hebben uit onderzoek geconcludeerd dat stochastische registratiefouten van volumebepalingen op vakniveau uitgemiddeld worden en daardoor verwaarloosd kunnen worden. Volumebepalingen in 'kleine' vakken ondervinden wel invloed van stochastische registratiefouten. Er wordt aangenomen dat de invloed stochastische registratiefouten verwaarloosbaar is in de volumebepalingen van de vakken ter analyse van de volumeontwikkeling van Loswal Noord.

Systematische registratiefouten

Een systematische registratiefout van een dieptebeplating is een fout die altijd in dezelfde richting wijst. De bepalende systematische foutbronnen zijn 'squat' en het te ondiep peilen van hellingen.

Fout die ontstaat door 'squat':

- Deze fout ontstaat door inzinking van het meetschip afhankelijk van vaarsnelheid en waterdiepte. Er wordt aangenomen dat Loswal Noord door 'squat' 0,25 m te ondiep is gepeild.

Fout die ontstaat door ondiep peilen van hellingen

- Deze fout ontstaat door de weerkaatsing van de geluidsgolf binnen de openingshoek van singebeam echoloding. De correcte diepte bevindt zich in het midden van de straal, de geregistreeerde diepte is echter de diepte die het eerst de ontvanger van het echolood bereikt. De peilinstrumenten voor 1993 gebruikte een openingshoek tussen 8 en 12 graden, na 1993 is een openingshoek van 2,5 graden gebuikt. Er wordt aangenomen dat Loswal Noord op de gedeelten waar de bodemhelling $>1/15$ door het ondiep peilen van hellingen vóór 1993 0,15 m en ná 1993 0,04 m te ondiep is gepeild.

Fouten in volumeverschillen voor Loswal Noord

Er wordt aangenomen dat bij het bepalen van verschilvolumes registratiefouten door 'squat' verwaarloosbaar zijn, waarbij wordt aangenomen dat de netto variatie van vaarsnelheid, type boot en waterdiepte per loding klein is. De openingshoek van het echolood is verkleind in 1993 waardoor een relatieve registratiefout op hellingen $>1/15$ is ontstaan van -0,09 m. Er wordt aangenomen dat bij het bepalen van verschilvolumes de registratiefouten vóór 1993 en ná 1993 onderling verwaarloosbaar zijn.

Variabele systematische registratiefouten

Een variabele systematische registratiefout van een dieptebeplating is een fout die zowel in grootte als in richting sterk kan variëren en vaak een groot gebied kan bestrijken. De oorzaken zijn het gevolg van menselijke fouten of technische storingen en zijn niet (direct) te achterhalen.

Fouten in volumeverschillen voor Loswal Noord

De variabele systematische registratiefouten die zijn gemaakt bij opnames van Loswal Noord zijn niet meer te achterhalen, maar kunnen kwalitatief worden meegenomen in analyses van verschilkaarten.

Fouten uit de bewerking van dieptepuntgegevens

In de interpolatie van dieptepuntgegevens kunnen effecten van lokale bodemveranderingen fouten in de volumebepalingen veroorzaken. Er wordt aangenomen dat door interpolatie fouten van gelijkwaardige dieptepuntgegevens de fout in volumebepaling verwaarloosbaar is. Er worden twee datasets onafhankelijk bekeken:

- De dieptepuntgegevens van DNZ lodingen zijn gelijkwaardig, waardoor de fout in volumebepaling wordt verwaarloosd.
- De dieptepuntgegevens van de projectlodingen zijn niet gelijkwaardig aan de vaklodingen, waardoor de fout in volumebepaling niet verwaarloosd mag worden.

Projectlodingen & vaklodingsgegevens (1964 tot 1999)

De dieptepuntgegevens van de projectlodingen zijn van mindere kwaliteit dan de vaklodingen. Door het verschil in kwaliteit zijn de dieptepuntgegevens met verschillende parameters geïnterpoleerd, waardoor een fout ontstaat in de volumebepaling. Het valt buiten de scope van dit onderzoek om deze fout te kwantificeren. Een relatieve registratie en interpolatiefout voor de projectlodingen ten opzichte van de vaklodingen is geschat op basis van de volgende analyses:

- Er zijn van alle projectlodingen geen metagegeven beschikbaar, waardoor seizoensinvloeden en de duur van de loding niet bekend zijn.

-
- De dieptepuntgegevens in de bestanden Delfland 1964 zijn samengesteld uit verschillende (analoge) kaarten. De cumulatieve fout van samengestelde gegevens is groter dan de nauwkeurigheid van een afzonderlijke kaart..
 - De hoogtelijnen in de bestanden Delfland 1968, 1974, 1975 en 1986 zijn geïnterpreteerd door de tekenaar. De hoogtelijnen zijn gedigitaliseerd, waardoor een lage spreiding van meetpunten ontstaat en kleine horizontale of verticale veranderingen niet meer gevolgd kunnen worden.
 - In de bestanden Delfland 1976, 1981, 1982 en 1983 is een bewerkingfout ontstaan door de DIGIPOL interpolatie van reeds met BOTKAR geïnterpoleerde dieptegegevens.

Conclusie

Vanaf de beginjaren '90 worden de lodingcampagnes gereguleerd door Goede Meet Praktijk (GMP) protocollen. In deze protocollen wordt o.a. de richting van loden, het gebruik van verschillende boten, maximale operationele golfhoogte gereguleerd. De nauwkeurigheid van de DNZ lodingen en vaklodingen zijn gereguleerd onder GMP protocollen. De nauwkeurigheid van de projectlodingen is niet vast te stellen, aangezien de metagegevens van het basismateriaal niet voldoende beschikbaar zijn. De variatie in project lodingen is geschat op basis van relevante studies en analyse van waarschijnlijke fouten.

Projectlodingen & vaklodinggegevens(1964 tot 1999)

- Stochastische fouten kunnen worden verwaarloosd
- Systematische fouten kunnen worden verwaarloosd, behalve de vergroting van de openingshoek van het echolood in 1993
- Variabele systematische fouten zijn onbekend, maar kunnen worden meegenomen uit analyses van verschilkaarten
- De fouten door bewerking van dieptepuntgegevens zijn onbekend

Het RIKZ hanteert een gemiddelde standaarddeviatie van 0,20 m voor volume berekeningen uit lodingen in de periode 1966 tot 1986, Louise (1986) & Terwindt (1968). De volumeontwikkeling van Loswal Noord door project en vaklodingen is echter geanalyseerd door verschillende lodingen en bewerkingsmethodes, waardoor een grotere variatie in projectlodingen en vaklodingen van Loswal Noord mogelijk is. Er wordt aangenomen dat de standaarddeviatie van volumebepalingen uit project en vaklodinggegevens van 0,25 m is.

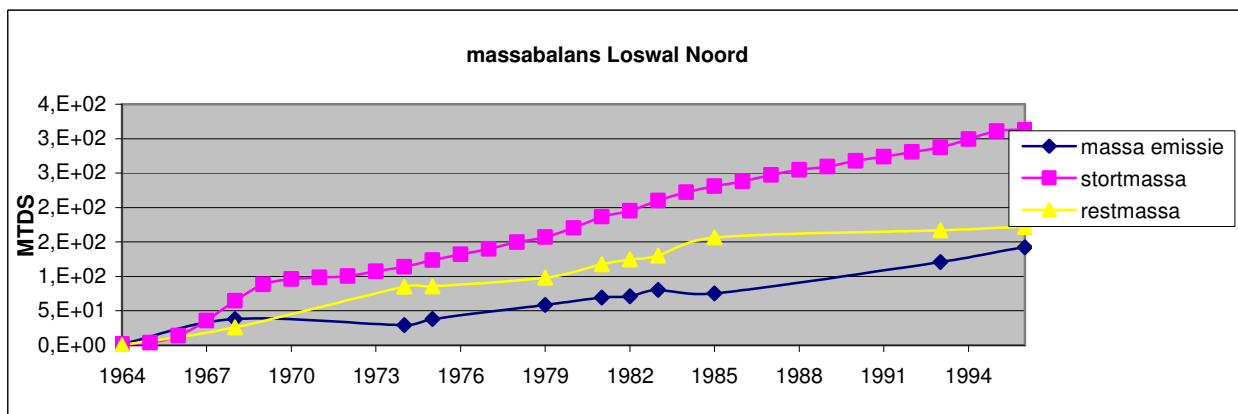
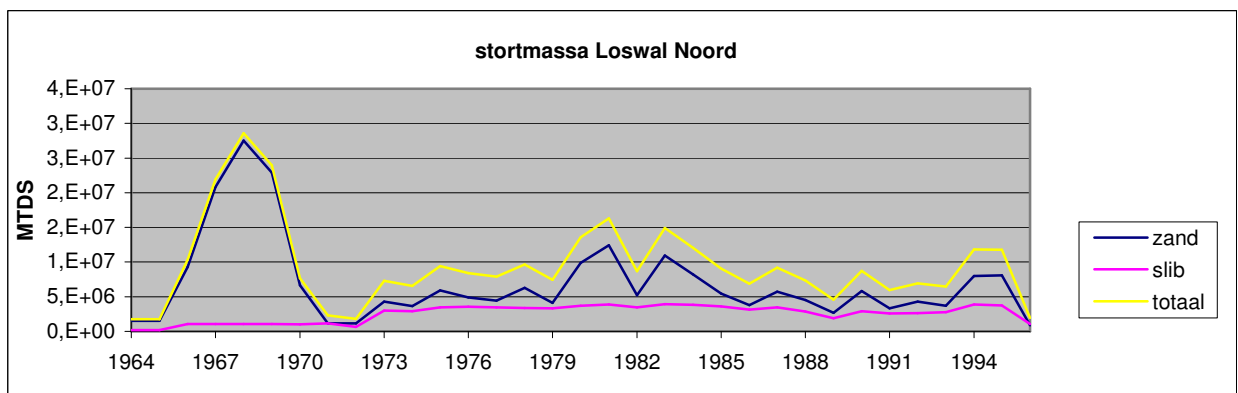
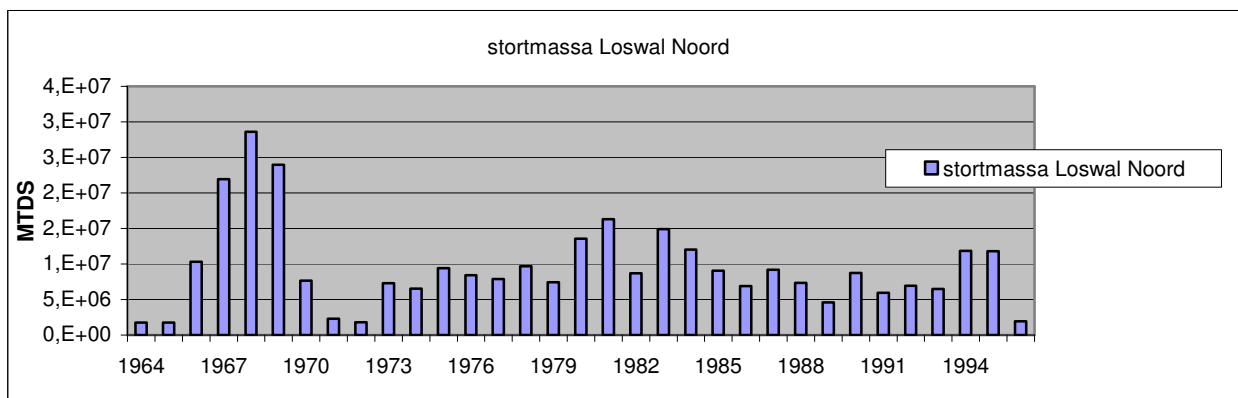
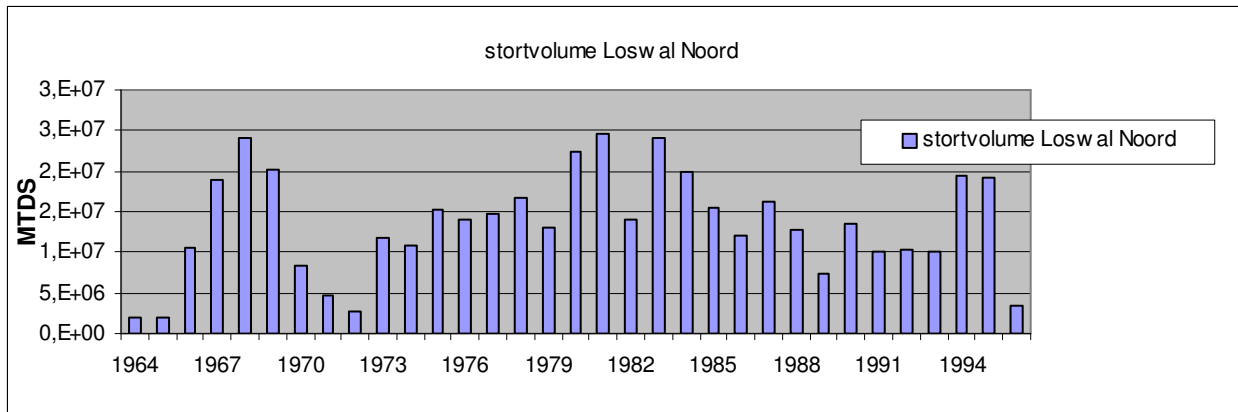
Directie Noordzee lodinggegevens (1990 tot 1999)

- Stochastische fouten kunnen worden verwaarloosd
- Systematische fouten kunnen worden verwaarloosd
- Variabele systematische fouten zijn onbekend, maar kunnen worden meegenomen uit analyses van verschilkaarten
- De fouten door bewerking van dieptepuntgegevens kunnen worden verwaarloosd

In het kader van het Monitoring Alternatieve Loswal (MAL) programma is de volumeontwikkeling van Loswal Noordwest geanalyseerd (1997 tot 2001). Duin (2001) heeft een standaarddeviatie bepaald door de variatie van lodingen in de tijd van het referentievak te analyseren. De variatie is gecorrigeerd voor een natuurlijke variatie en een correctie voor tijd door verschillende intervallen van de dataset te analyseren. De berekende standaarddeviatie voor lodingen van Loswal Noordwest is 0,14 m.

De DNZ lodingen (1990 tot 1990) zijn gereguleerd door GMP protocollen waardoor kan worden aangenomen dat de berekende standaarddeviatie voor lodingen van Loswal Noordwest (1997 tot 2001) representatief is voor de standaarddeviatie van Loswal Noord (1990 tot 1999).

Bijlage F Opbouw massabalans



Bijlage G Korrelgrootte verdeling en ontwikkeling toplaag Loswal Noord, Noordwest en referentie locaties

In het kader van het Monitoring Alternatieve Loswal (MAL) programma is de korrelgrootte van Loswal Noord, de Verdiepte Loswal en Loswal Noordwest geanalyseerd door AguaSense. De korrelgroottes van de toplaag van loswallen zijn geanalyseerd uit boxcores van 1996, 1997, 1998 en 1999.

Loswal Noord

Resultaat 1996

Op Loswal Noord werden de sedimenten gedomineerd door fijn zand (de fractie 150 – 300 µm). Het slibgehalte (fractie < 63 µm) varieerde tussen 0,3 en 1,4 %. Op locatie N5, in het tot 1 juli 1996 gebruikte stortvak (vak 53), werd het sediment gedomineerd door een fijnere zandfractie (90 - 150 µm) en slib_{< 63 µm}. In 1995 was het slibgehalte (< 63 µm) 18,2 % en in 1996 zelfs 37,2 %.

Resultaat 1997

Op Loswal Noord werden de sedimenten wederom gedomineerd door fijn zand (fractie 150 – 300 µm). Op station N5, in vak 53, werd het sediment gedomineerd door een fijnere zandfractie (90 - 150 µm), het slibgehalte (< 53 µm) daalde naar 17,4 %.

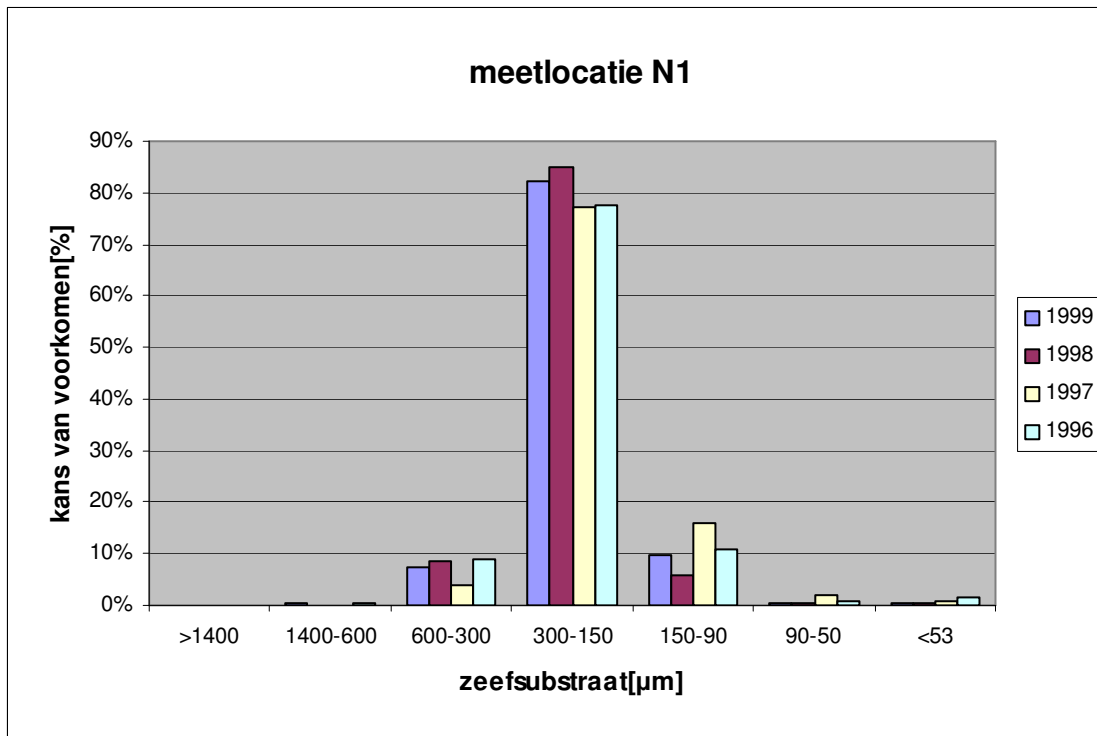
Resultaat 1998

In 1998 bleef de voormalige stortingslocatie N5 een hoog slibgehalte (< 53 µm) houden (25,8 %). Op de andere Loswal Noord locaties, N1 en N4, bleef de bodem van het fijne zandtype (fractie 150 – 300 µm) met een laag slibpercentage (0,2 – 0,4 %).

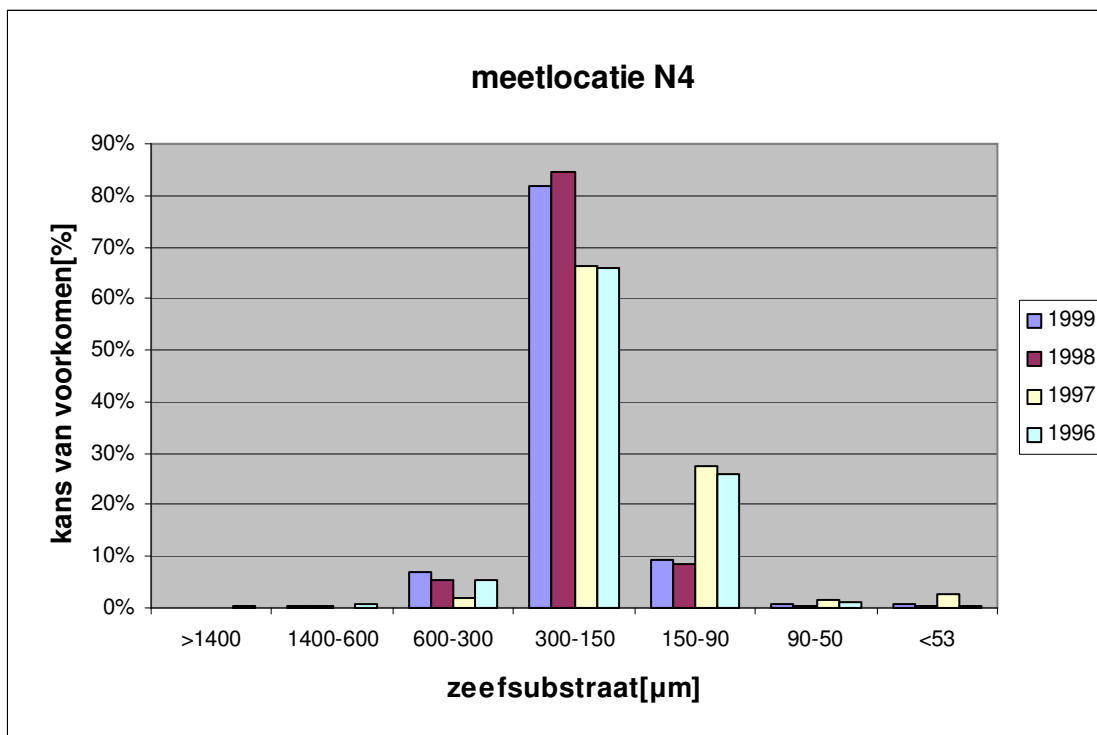
Resultaat 1999

In 1999 bleef de voormalige stortingslocatie N5 een hoog slibgehalte (< 63 µm) houden (23,8 %). Uit boxcores bleek dat er een toplaag was van 3-5 cm fijn zand met daaronder geconsolideerd slib_{< 63 µm} met een zwavelgeur. Op de locaties, N1 en N4, bleef de bodem van het type fijn zand (fractie 150 – 300 µm) met een laag slibpercentage (0,7 – 7 %).

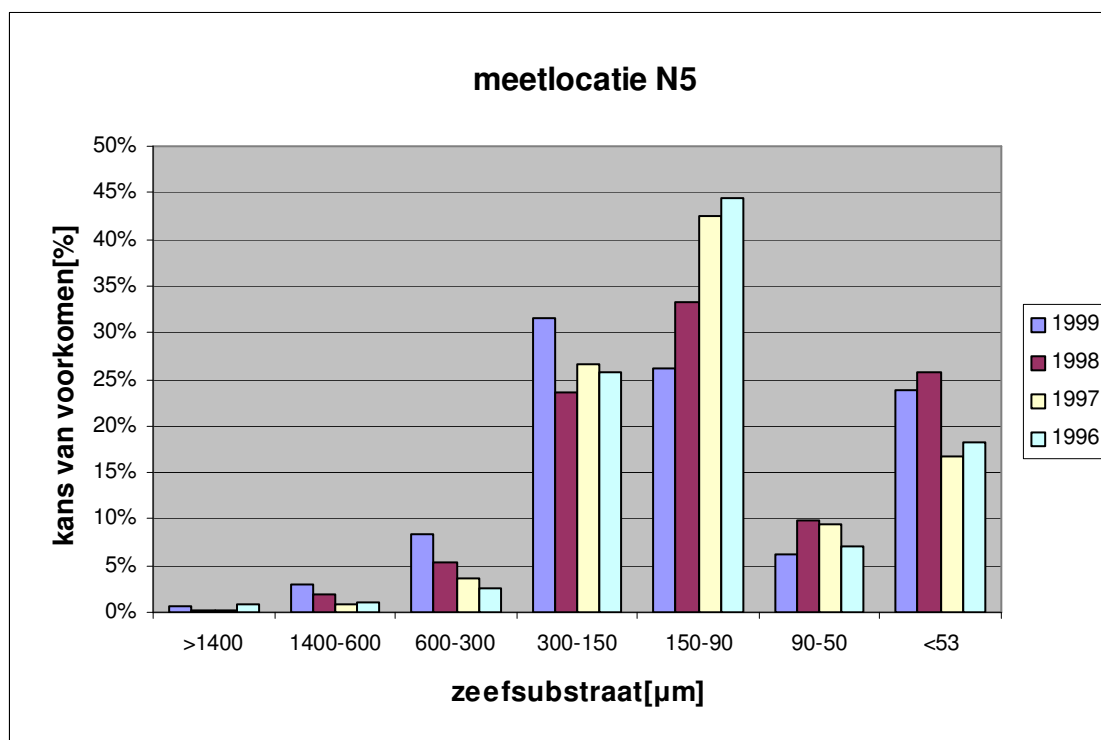
Figuur 7-17: AguaSense boxcore, meetlocatie N1 ter bepaling van de korrelgrootte



Figuur 7-18: AguaSense boxcore, meetlocatie N2 ter bepaling van de korrelgrootte



Figuur 7-19: AguaSense boxcore, meetlocatie N5 ter bepaling van de korrelgrootte



Loswal Noordwest

Resultaat 1996

De bodem van Loswal Noordwest bestaat uit grover zand dan bij Loswal Noord. Op de meeste locaties domineert de fractie van 300 - 600 µm en varieert het slibgehalte (< 53 µm) van 0,1 tot 0,2%. Op station NW5 ligt fijner zand en is het slibgehalte 0,8 %.

Resultaat 1997

Op de referentielocaties voor Loswal Noordwest (Ref-4 en NW4) domineert de grove fractie van 300 - 600 µm en varieert het slibgehalte van 0,1 tot 0,2%. Op station 0C in vak 29, waar het storten begonnen is, is na 11 maanden storten het slibgehalte opgelopen tot 36,8 %. Op station 1C, 1 km oostelijker komt zowel grof zand als slib < 63 µm voor. Het slibgehalte bedraagt 45,5 %, nog hoger dan op de stortplaats zelf. In de boxcore was te zien dat de bovenste 20 cm uit slib < 63 µm bestond met daaronder vooral grof zand. Deze bodemopbouw wordt uiteraard verklaard door de storting van baggerspecie op 0C, op 1 km tegen de reststroom in.

De stations 2C, 3C en 5C op afstanden van 2 tot 5 km van het stortvak bevatten voornamelijk grof zand (300 - 600 µm) en bevatten daarnaast een verhoogd slibgehalte (2,4 - 3,6%).

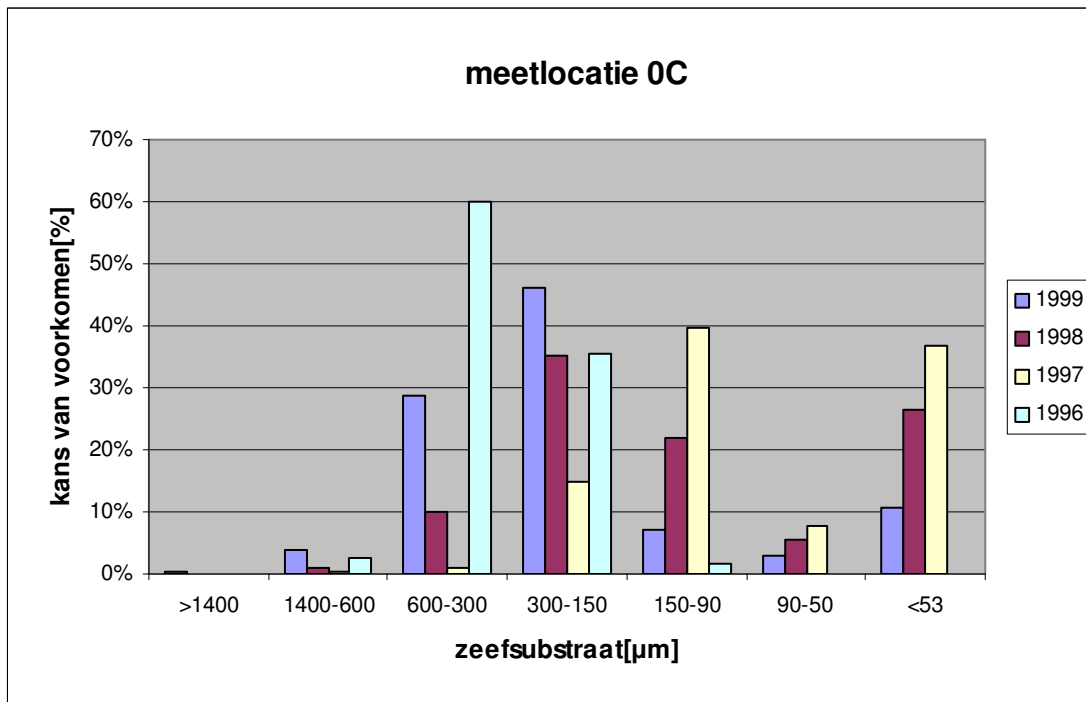
Resultaat 1998

Op de referentielocaties voor Loswal Noordwest (Ref-4 en NW4) wordt het sediment gedomineerd door de grove zandfractie (300 - 600 µm) en bedraagt het slibgehalte respectievelijk 0,0 en 0,8 %. In het eerst gebruikte stortvak (station 0C, in vak 29) bestaat het sediment in 1998 voornamelijk uit de zandfractie 150 - 300 µm en is het slibgehalte (<53 µm) 26,4 %. Bij station 1C, gelegen in vak 30, op 1 km meer naar het oosten, werd in 1998 vak 30 in gebruik genomen. Hier bestaat het sediment uit fijn zand (90 - 150 µm) en bedraagt het slibpercentage 24,8 %. Op 1 km afstand hiervan (station 2C), bestaat het sediment uit grof zand (300 - 600 µm) en een slibgehalte van 4,0 %. Ook de stations op 2 en 4 km van vak 30 (3C en 5C) zijn grofzandig, maar het slibgehalte is lager (1,5 %).

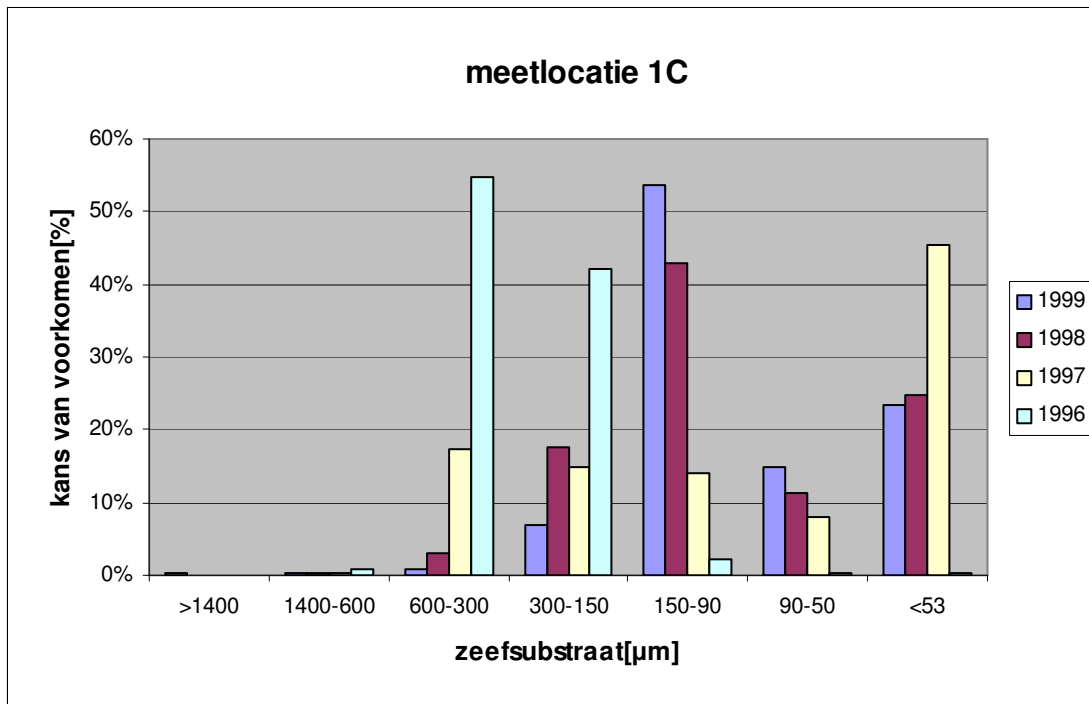
Resultaat 1999

Op de referentielocaties voor Loswal Noordwest (Ref-4 en NW4) wordt het sediment gedomineerd door de grove zandfractie (300 – 600 µm) en bedraagt het slibgehalte respectievelijk 0,0 en 1,4 %. De toename van het slibgehalte bij NW4 suggereert dat dit geen echte referentielocatie meer is. In het stortvak (station 0C) bestaat het sediment in 1999 wederom uit de zandfractie 150 – 300 µm en is het slibgehalte (<63 µm) 18,2 %. Op station 1C, bij vak 30, bestaat het sediment uit fijn zand (90 – 150 µm) en bedraagt het slibpercentage 23,5 %. Op 1, 2 en 4 km afstand van dit nieuwe stortvak (station 2C, 3C en 5C) bestaat het sediment uit grof zand (300 – 600 µm) en is het slibgehalte respectievelijk 6,7, 6,4 en 2 %. Het slib_{<63 µm} was niet homogeen verdeeld. In het stortvak (0C) was er een toplaag van 3-5 cm slib, met daaronder een laag zand en vervolgens weer slib_{<63 µm}. Bij vak 30 (1C) was het sediment met name in de in de bovenste ca. 15 cm zeer slibrijk, daaronder zandiger. Op 1, 2 en 4 km afstand van vak 30 (station 2C, 3C en 5C) nam de sliblaag af van 5 via 3 naar 2 cm.

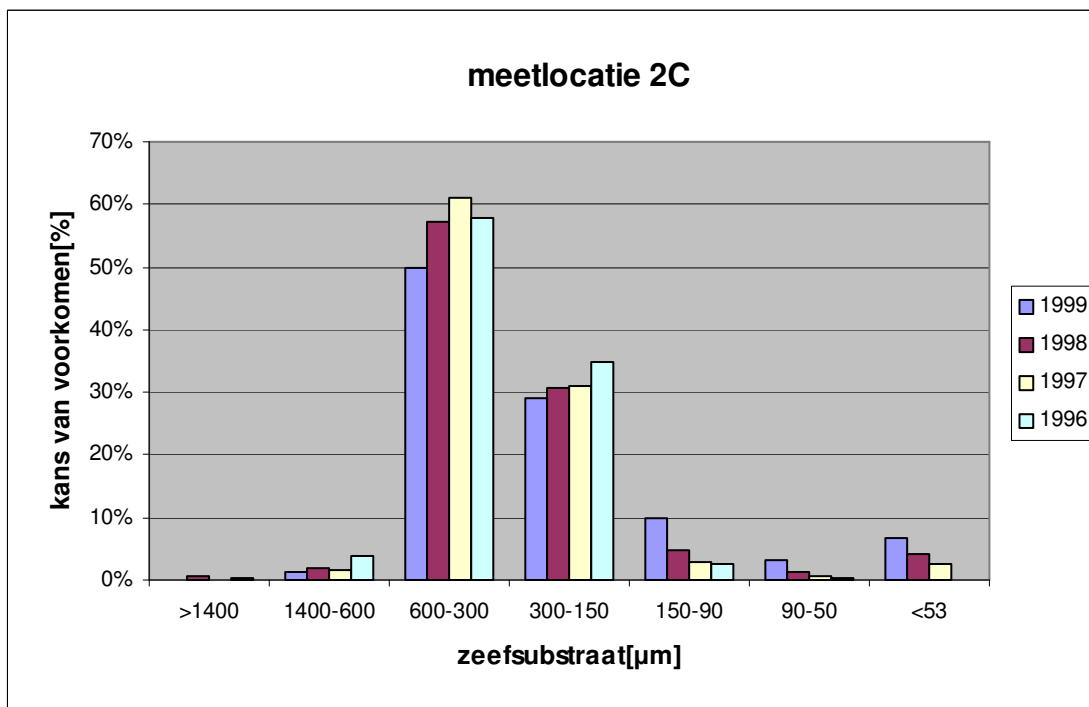
Figuur 7-20: AguaSense boxcore, meetlocatie OC ter bepaling van de korrelgrootte



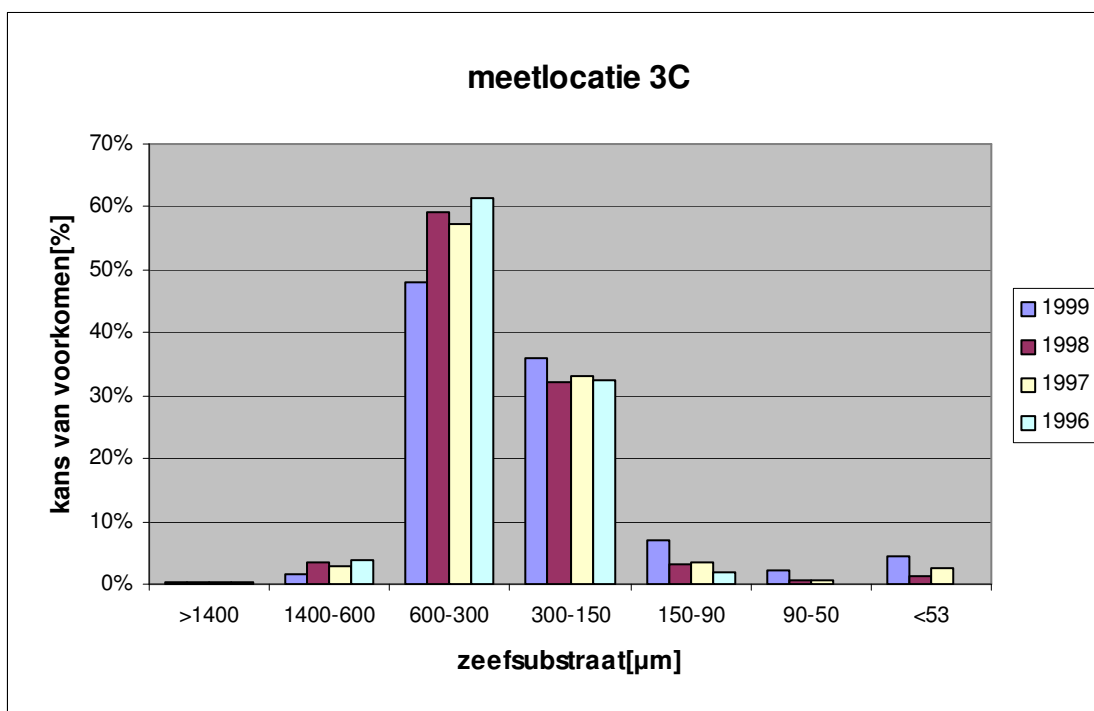
Figuur 7-21: AguaSense boxcore, meetlocatie 1C ter bepaling van de korrelgrootte



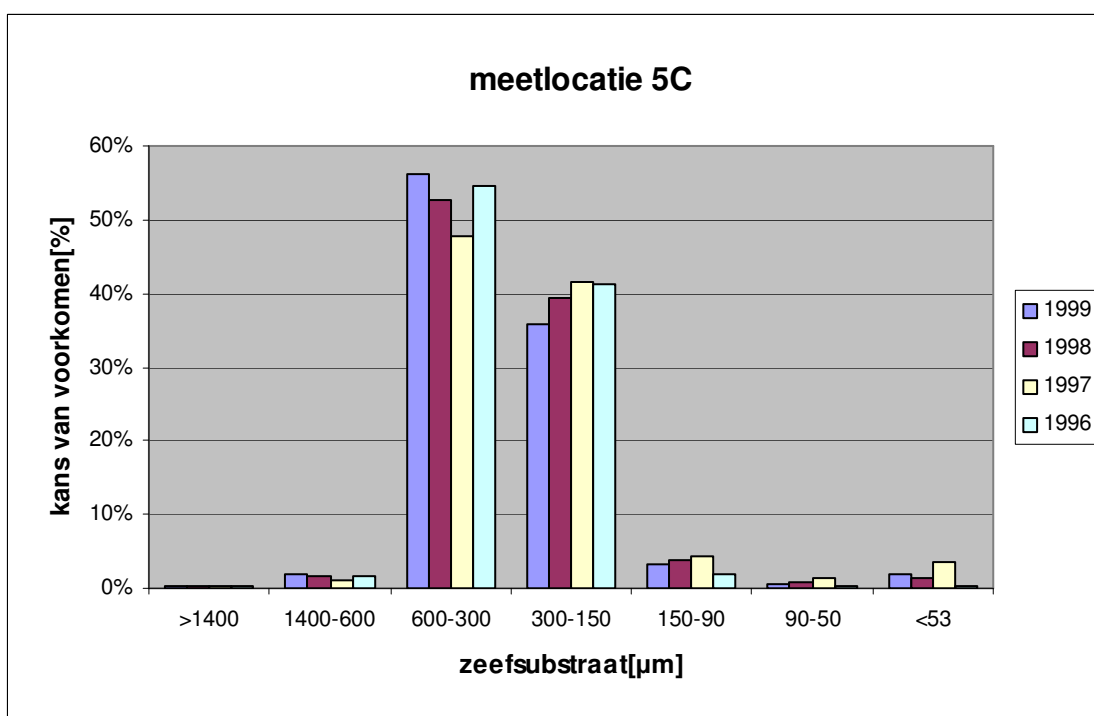
Figuur 7-22: AguaSense boxcore, meetlocatie 2C ter bepaling van de korrelgrootte



Figuur 7-23: AguaSense boxcore, meetlocatie 3C ter bepaling van de korrelgrootte

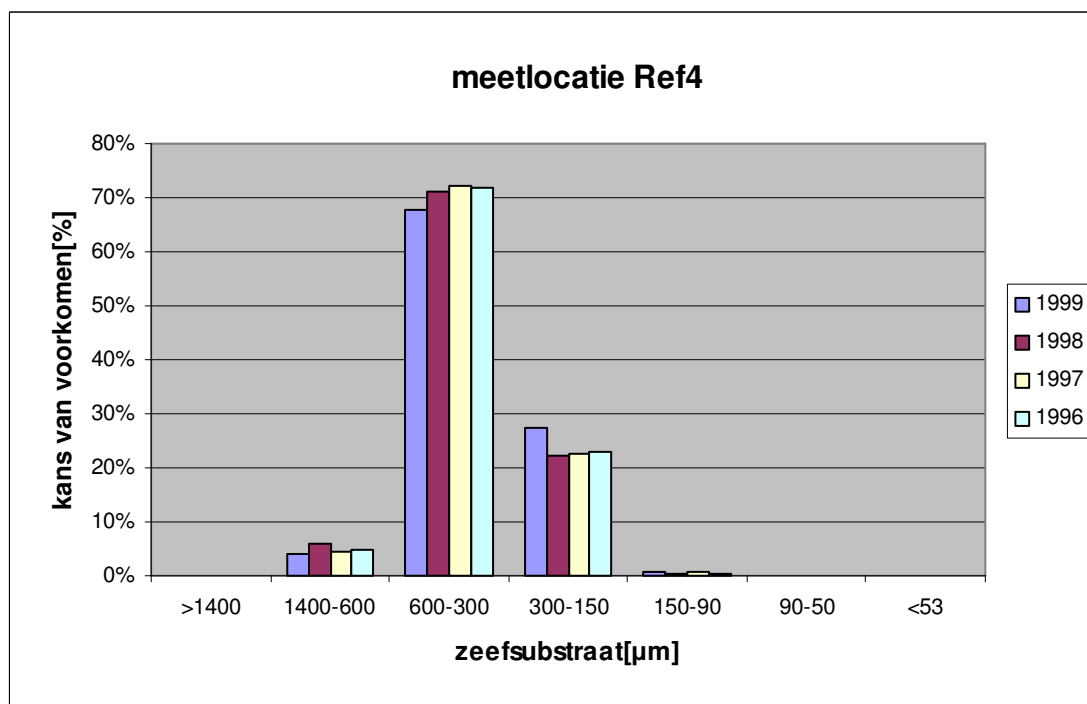


Figuur 7-24: AguaSense boxcore, meetlocatie 5C ter bepaling van de korrelgrootte



Referentie locaties

Figuur 7-25: AguaSense boxcore, meetlocatie Ref4 ter bepaling van de korrelgrootte



Figuur 7-26: AguaSense boxcore, meetlocatie NW4 ter bepaling van de korrelgrootte

