

Het storten van baggerspecie in de Verdiepte Loswal

Verslag van de praktijkproef, een tussenstand

november 2002

Het storten van baggerspecie in de Verdiepte Loswal

Verslag van de praktijkproef, een tussenstand

november 2002

Auteur
Rapport

Sandeh Stutterheim
RIKZ/ 2002.025

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Samenvatting	5
1 Inleiding	9
2 Doel van dit werkdocument	13
3 Aanpak van het onderzoek	15
3.1 Bodemonderzoek	15
3.2 Massabalans en wegstroompercentage	15
3.3 Retourpercentage	17
4 Bodemsamenstelling Verdiepte Loswal	19
4.1 Beschrijving van de stortlocatie	19
4.2 Verandering bodemsamenstelling	22
4.3 Samenstelling van de oorspronkelijke zeebodem en van de stortlaag	23
4.4 Hoogte van de stortlaag	25
4.5 Dichtheid van de stortlaag	28
5 Wegstroompercentage Verdiepte Loswal	33
5.1 Hoeveelheid gestorte baggerspecie	33
5.2 Lodingen en dichtheid	33
5.3 Vullingsgraad van de kuil	37
5.4 Wegstroompercentage van baggerspecie op grond van lodingen	37
5.5 Wegstroompercentage op grond van slibgehalte	41
5.6 Foutenschatting van het wegstroompercentage van baggerspecie	41
5.7 Wegstroompercentage van slib _{<63µm} op grond van lodingen	42
5.8 Stabiliteit van de rand van de kuil	44
6 Retourpercentage Verdiepte Loswal	45
6.1 Opzet meting radiometrische kartering	45
6.2 Resultaten radiometrische kartering	45
6.3 Slibbalans en retourpercentage	48
6.4 Voorspellingen uit het Milieu-effectrapport	51
6.5 Overzicht wegstroom- en retourpercentages	51
6.6 Loswal Noord	54
6.7 Discussie	54
7 Discussie en conclusie	57
8 Conclusie en aanbevelingen	61
8.1 Conclusies	61
8.2 Aanbevelingen	61
9 Literatuurlijst	63

10	Bijlagen	65
	Bijlage 1 - Lijst met tabellen en figuren	66
	Bijlage 2 - Coördinaten Verdiepte Loswal	67
	Bijlage 3 - Lodingen en steekboringen	70
	Bijlage 4 - Overzicht storthoogtes	71
	Bijlage 5 - Wegstroompercentages Verdiepte Loswal, baggerspecie en slib	72

Samenvatting

Vogelvlucht

Vanaf augustus 2000 wordt de niet-verontreinigde en lichtverontreinigde baggerspecie uit het Rotterdamse havengebied grotendeels in de Verdiepte Loswal gestort. Bij een dergelijke grootschalige milieu-ingreep bestaat gezien de vergunningen en ontheffingen de verplichting om te monitoren.

Vanaf augustus 2000 tot en met juli 2002 is er 7,01 miljoen ton baggerspecie (op droge stof basis) gestort in de eerste kuil van de Verdiepte Loswal. Op grond van lodingen is berekend dat van de gestorte baggerspecie $51,1 \pm 3,4$ % is weggestroomd van de loswal. Dit wegstroompercentage is ongeveer even groot als dat van Loswal Noordwest, nl. 50,4 %.

Op grond van veranderingen in het slibgehalte_{<63µm} is echter berekend dat 21,6 % van de gestorte baggerspecie is weggestroomd van de loswal. Dit resultaat wordt minder betrouwbaar geacht.

Het is niet mogelijk gebleken om te bepalen hoeveel van de gestorte baggerspecie terugstroomde naar vaargeul en haven.

Op de rand van de eerste kuil hebben zich geen grote veranderingen voorgedaan.

In de Verdiepte Loswal wordt niet-verontreinigde en lichtverontreinigde baggerspecie uit het havengebied van Rotterdam gestort. In dit rapport staan de eerste resultaten van het onderzoek naar het gedrag van deze gestorte baggerspecie beschreven.

De vaargeul naar en de haven van Rotterdam slibben voortdurend aan zodat dagelijks gebaggerd moet worden. Deze baggerspecie wordt op de Noordzee gestort op een z.g. loswal. Vanaf 1961 tot juli 1996 werd gestort op Loswal Noord, daarna op Loswal Noordwest. Vanaf augustus 2000 wordt ook in de Verdiepte Loswal gestort. Loswal Noord werd verlaten omdat deze loswal bijna vol was en omdat veel van de gestorte baggerspecie weer terugstroomde naar haven en vaargeul, een ongewenste kostenpost. De ligging van de loswallen staat in Figuur 1-1.

In een 'Milieu-effectrapport' is in 1995 onderzocht welke stortlocaties Loswal Noord zouden kunnen gaan vervangen. De keuze is destijds gevallen op de twee genoemde loswallen, nl. Loswal Noordwest en de Verdiepte Loswal. Aan het opstellen van een 'Milieu-effectrapport' (MER) is de verplichting verbonden om te onderzoeken of de voorspellingen uit het MER voor het gedrag van de gestorte baggerspecie ook uit zijn gekomen. Verder hebben de gebruikers van deze Verdiepte Loswal ook inzicht in de praktijkervaring met de kuilen nodig om de juiste strategie voor het aanleggen van de volgende kuilen en het storten van baggerspecie te kunnen opstellen. In dit kader is voor de Verdiepte Loswal een praktijkproef opgezet waarin het gedrag van de baggerspecie onderzocht zal worden dat in de eerste twee kuilen gestort is. In dit werkdocument staat het resultaat van deze praktijkproef van de eerste kuil, voor de eerste twee jaar na aanvang van het storten, nl. van augustus 2000 tot en met juli 2002.

In het onderzoek dat in dit rapport wordt besproken, is gekeken naar de bodemsamenstelling van de lege kuil en naar de samenstelling, hoogte en dichtheid van de laag baggerspecie die in de kuil is gestort, de zg. stortlaag. Op vijf locaties zijn daartoe bodemmonsters genomen. Verder is op grond van de gestorte hoeveelheid baggerspecie en de massa baggerspecie in de kuil uitgerekend hoeveel van de gestorte baggerspecie is weggestroomd. Deze hoeveelheid is uitgedrukt in het z.g. 'wegstroompercentage'. Om de betrouwbaarheid hiervan weer te geven, wordt ook de standaardfout vermeld. Ook is, tevergeefs, geprobeerd om te bepalen hoeveel van het weggestroomde materiaal weer terugkeerde naar vaargeul en haven. Deze teruggestroomde hoeveelheid wordt uitgedrukt in het retourpercentage. Als bepalingsmethode hiervoor is een nieuwe techniek ingezet, de zg, radiometrische kartering.

De Verdiepte Loswal zal op termijn uit meerdere kuilen gaan bestaan. De beoogde maten van de eerste kuil zijn ca. 500 m breed, 1200 m lang en 10 m diep. De grootste gerealiseerde diepte in de eerste kuil is 10,56 m en de geringste diepte 5,11 m, met een gemiddelde diepte van de kuil van 8,39 m. Doordat de bodem van de kuil niet geheel vlak is, zijn er hoogteverschillen die op een enkele plek kunnen oplopen tot ruim vijf meter. Hierdoor vindt de opvulling met baggerspecie niet gelijkmatig plaats.

Volgens een afspraak in maart 2002 (vergadering Stuurgroep *Baggerdriehoek*), mag er in totaal in de eerste kuil **4,8 miljoen ton (TDS) baggerspecie** worden gestort. Het betreft tonnen baggerspecie op droge stof basis (TDS), dus zonder het aanhangend water mee te rekenen. Dit getal is berekend door de inhoud van de kuil, 5 miljoen m³, te vermenigvuldigen met de geschatte droge dichtheid van 0,954 ton.m⁻³. Deze droge dichtheid komt overeen met een natte dichtheid van 1,6 ton.m⁻³. Op grond van andere uitgangspunten, zoals vermeld in dit rapport, is er mogelijk bergingscapaciteit voor **7,5 miljoen TDS baggerspecie**.

Voordat het storten begint, bestaat de bodem van de kuil uit puur zand dus met een zeer gering percentage slib_{< 63µm} (0,16 %). Een paar maanden na het storten bestaat de stortlaag, die dan ongeveer een meter dik is, op sommige plaatsen vrijwel geheel uit slib_{< 63µm}. Na ruim anderhalf jaar storten is het **slibgehalte** van de stortlaag gedaald tot gemiddeld circa 31 %.

De gemiddelde diepte van de lege kuil bedraagt 8,39 m. In december 2000 ligt er (gemeten met steekboringen) een laag baggerspecie van 0,62 m, in november 2001 een laag van 2,78 m en in februari 2002 een laag van 3,0 m. In mei 2002 ligt er een laag van gemiddeld 5,84 m en in augustus 2002 5,51 m, volgens dieptepeilingen van Directie Zuid-Holland. In mei 2002 is er 7,01 miljoen ton baggerspecie, op droge stof basis (TDS), gestort. Dit is 146 % van de hoeveelheid die volgens de overeenkomst gestort mag worden.

Voor dit onderzoek is de droge dichtheid gemeten van de oorspronkelijke zeebodem en van de stortlaag. De droge dichtheid van de bodem van de lege kuil bedraagt 1,55 ton.m⁻³, met een overeenkomstige, berekende, natte dichtheid van 1,96 ton.m⁻³. In december 2000, met een stortlaag van 0,62 m, is de droge dichtheid **0,91** (natte dichtheid 1,57) en in november 2001, met een stortlaag van 2,78 m, is de droge dichtheid **1,15** (natte dichtheid 1,75) ton.m⁻³. In februari 2002 bedraagt de droge dichtheid **1,18** (natte dichtheid 1,74) ton.m⁻³ en is de stortlaag 3 m dik.

Door de processen die optreden tijdens het inklinken (consolidatie), zoals ontwateren en/of het wegspoelen van slib_{<63µm}, is de dichtheid in de loop van de tijd dus toegenomen.

De droge dichtheid neemt toe met de diepte. De droge dichtheid neemt in februari 2002 in de verticaal toe van 0,95 (natte dichtheid 1,60) in de toplaag tot 1,33 TDS.m⁻³ (natte dichtheid 1,83) op 3,5 m diepte.

Het wegstroompercentage van baggerspecie uit de kuil is berekend door enerzijds uit de baggeradministratie te halen hoeveel baggerspecie er is gestort, en anderzijds door de restmassa, op droge stof basis, in de stortlaag te berekenen op grond van de lodingsgegevens en de dichtheid. Het wegstroompercentage is gelijk aan het percentage weggestroomde baggerspecie, waarbij de gestorte hoeveelheid op 100 % is gesteld.

Het **wegstroompercentage van baggerspecie** over de hele onderzoeksperiode van 2 jaar bedraagt **51,1 %**. De standaardfout is 3,4 procentpunt, dus het wegstroompercentage zit tussen de **47,7** en **54,5 %**.

Dit wegstroompercentage is ongeveer even groot als dat van Loswal Noordwest, nl. 50,4 %.

Na 4,5 maanden storten bedraagt het wegstroompercentage 30 % en stijgt in de daaropvolgende 20 maanden geleidelijk tot de genoemde 51,1 %, nadat drie maanden eerder een maximum van 51,4 % was bereikt. Naarmate de stortlaag dikker is geworden, is het wegstroompercentage toegenomen, wellicht door een grotere invloed van stromingen en golven. Het is niet duidelijk of het wegstroompercentage in de toekomst nog zal veranderen.

De standaardfout van het wegstroompercentage bedraagt na 4,5 maand storten 9,9 procentpunt en deze fout daalt continu tot 3,4 procentpunt na 2 jaar storten. De lodingsfout van 12 cm wordt relatief steeds van geringere invloed naarmate de stortlaag dikker wordt en daardoor daalt ook de standaard fout van het wegstroompercentage.

Ook is er gekeken naar het gedrag van de rand van de kuil en de mors van baggerspecie op deze rand. Op een rand die 250 m breed is langs de korte kant van de kuil en 100 m breed is langs de lange kant van de kuil, is een geringe toename van de hoeveelheid massa te zien. Deze toename van 75.000 TDS materiaal komt overeen met 4,2 % van de gestorte hoeveelheid slib_{<63µm}. De standaardfout van de baggerspecie op de rand bedraagt echter 360.000 TDS. De conclusie is dat er geen grote veranderingen zijn opgetreden zoals trogvorming of het ontstaan van een hoge dam.

Ook is apart het **wegstroompercentage van slib_{<63 µm}** bepaald. Dit bedraagt 11,9 % na 8 maanden storten en loopt op tot 70,2 % na 2 jaar. Op dat moment is de standaardfout 6,7 procentpunt, zodat het wegstroompercentage in de range 63,5 tot 76,9 % ligt. Het wegstroompercentage stijgt gedurende de onderzoeksperiode continu zodat niet valt uit te sluiten dat het maximum nog niet is bereikt.

Ook uit het slibgehalte in de opgebaggerde baggerspecie in de beun en uit het slibgehalte in de gestorte baggerspecie in de stortlaag, na het storten, kan het wegstroompercentage worden berekend. Het wegstroompercentage voor zand plus slib_{<63 µm} bedraagt volgens deze 'slib'-rekenwijze **21,6 %**.

Er is gepoogd om het retourpercentage van baggerspecie en van slib_{<63 µm} te bepalen door, naast de lodingen, gebruik te maken van de radiometrische kartering. Met deze techniek kunnen dunne lagen slib_{<63µm} op de zeebodem zichtbaar worden gemaakt en kunnen ook, relatief, gekwantificeerd worden.

Doordat nauwelijks een toename van slib_{<63 μm} op de zeebodem rondom de Verdiepte Loswal werd aangetroffen als gevolg van het storten van baggerspecie is het niet mogelijk om het retourpercentage vast te stellen.

1 Inleiding

De baggerspecie die dagelijks wordt opgebaggerd uit de vaargeul en havens van Rotterdam en het Rijnmondgebied wordt op de Noordzee gestort. Vanaf 1961 tot juli 1996 vonden deze stortingen plaats op Loswal Noord, een locatie een paar kilometer uit de kust, ter hoogte van Ter Heijde. Het gebruik van Loswal Noord is beëindigd omdat de loswal bijna vol was en omdat er een aanzienlijk deel van de gestorte baggerspecie terugstroomde naar de vaargeul en haven. Vanaf juli 1996 is er gestort op Loswal Noordwest en vanaf augustus 2000 ook in de Verdiepte Loswal. De locaties staan weergegeven in Figuur 1-1.

Er is begin jaren negentig onderzoek uitgevoerd om na te gaan welke locaties in aanmerking zouden kunnen komen om Loswal Noord te gaan vervangen. Het resultaat van dit onderzoek staat in een Milieu-effectrapport (MER) [Anonymous, 1995] uit 1995. Ook de gevolgen van deze verplaatsing zijn onderzocht. De keus is gevallen op twee alternatieve loswallen, n.l. Loswal Noordwest en op een verdiepte loswal, die Verdiepte Loswal heet. In deze verdiepte loswal, waarin verscheidene kuilen aangelegd kunnen worden, is inmiddels de eerste kuil aangelegd. De eerste kuil, de overige (deels) aangelegde kuilen (4, 5 en 6) en de geplande kuilen (2 en 3) staan in Figuur 1-1. De inhoud van deze eerste kuil bedraagt 5 miljoen m³ en de maten zijn ongeveer 500 m breed, 1200 m lang en zo'n 8 m diep.

Nadat er op 31 maart 2000 (AMU/1292) een vergunning is verleend voor het storten van baggerspecie in twee kuilen is er vanaf 15 augustus 2000 gestort in de eerste kuil (zie Figuur 4-1).

Omdat deze wijze van bergen van baggerspecie nieuw is, zal het storten van baggerspecie in de eerste en tweede kuil voorlopig alleen plaatsvinden als praktijkproef. Het kader van deze proef is geregeld in het kader van de vergunning- en ontheffingverlening op grond van de Wet Milieubeheer, de Ontgrondingenwet en de Wet Verontreiniging Zeewater. In dit rapport wordt een eerste verslag gedaan van de resultaten van deze praktijkproef.

De verwachting uit het milieu-effectrapport uit 1995 (Anonymous, 1995) is destijds geweest dat het gebruik van de Verdiepte Loswal voordelig zou zijn. In de eerste plaats is de vaarafstand korter dan naar Loswal Noordwest. Het scheelt per reis circa 20 kilometer, wat aantikt omdat de vaarkosten een aanzienlijk deel van de baggerkosten uitmaken. In de tweede plaats zou er waarschijnlijk minder baggerspecie terugstromen naar de vaargeul en haven dan vanaf de oude Loswal Noord. In jargon: de omvang van de retourstroom van baggerspecie, het retourpercentage, zou geringer zijn.

Er is ook afgesproken hoeveel baggerspecie in de Verdiepte Loswal gestort mag worden. In de 'Overeenkomst 1^e fase Verdiepte loswallen' van 6 oktober 2000, afgesloten tussen het Ministerie van Verkeer en Waterstaat en het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam, staat dat de kuil opgevuld mag worden tot één meter onder de rand, waarbij maximaal 7 miljoen ton verrekenbare kuubs baggerspecie gestort mag worden (§ 19 van de overeenkomst). Later

Figuur 1-1 De loswallen op de Noordzee



De drie loswallen op de Noordzee:
de oude Loswal Noord (in gebruik sinds 1961)
de nieuwe Loswal Noordwest (in gebruik sinds 3 juli 1996) en
de Verdiepte Loswal (in gebruik sinds 15 augustus 2000).
Verder zijn de 1^e kuil van de Verdiepte Loswal en de overige geprojecteerde kuilen en
het 'Dammetje van Wiersma' aangegeven. De coördinaten staan in bijlage 2.

sd02075

(maart 2002) is in de stuurgroep *Baggerdriehoek* overeengekomen dat 4,8 miljoen ton baggerspecie (droge stof) gestort mag worden. In de veronderstelling dat resterende baggerspecie in de kuil een natte dichtheid heeft van $1,6 \text{ ton} \cdot \text{m}^{-3}$ (overeenkomend met een droge dichtheid van $0,954 \text{ ton} \cdot \text{m}^{-3}$ [Stutterheim, 2002-b]), past er 4,8 MTDS¹ baggerspecie in de kuil van 5,0 miljoen kuub inhoud.

Alleen niet verontreinigde en lichtverontreinigde baggerspecie uit haven en vaargeul mag in de Verdiepte Loswal worden gestort. Dit is de baggerspecie die voldoet aan de 'Uniforme Gehalte Toets'.

Dit werkdocument geeft de eerste resultaten van deze praktijkproef. Op basis van de bevindingen uit dit onderzoek kan bepaald worden hoeveel baggerspecie gestort kan worden, en ook hoeveel gestort mag worden. In deze praktijkproef moeten uiteindelijk de vragen worden beantwoord die in het Milieu-effectrapport en de vergunningen gesteld zijn. Het finale rapport over de praktijkproef zal over een paar jaar verschijnen als de eerste kuil gevuld is en de consolidatie voltooid is. De baggerspecie in de Verdiepte Loswal zal dan zijn ingeklonken (geconsolideerd) en de gestorte baggerspecie zal naar verwachting met een laagje zand op natuurlijke wijze zijn afgedekt. Hierdoor zal het wegstromen van baggerspecie uit de kuil tot staan gebracht zijn.

In dit werkdocument wordt op twee aspecten ingegaan. Het eerste betreft de bodemsamenstelling voordat er gestort werd en de bodemsamenstelling tijdens het storten, dus eigenlijk de samenstelling van de 'stortberg'. Het tweede aspect betreft de hoeveelheid baggerspecie die uit de Verdiepte Loswal is weggespoeld. Dit onderzoek omvat de periode van augustus 2000 toen de eerste storting plaatsvond tot en met mei 2002.

Het wegstroompercentage in dit werkdocument wordt op twee manieren berekend.

De eerste manier is gebaseerd op de hoeveelheid gestorte baggerspecie, de lodingen en de dichtheid van de 'stortlaag'. De informatie van de lodingen wordt niet alleen gebruikt om de uitstroom uit de kuil te volgen maar ook om de mors op de randen in beeld te krijgen. De lodingstechniek is echter niet in staat om veranderingen in bodemligging te meten die kleiner zijn dan 1 à 2 decimeter. Om die reden wordt daarnaast dan ook nog een andere techniek ingezet, de radiometrische kartering. Hiermee kunnen slibhoeveelheden gedetecteerd worden die voor de klassieke loding onzichtbaar zijn. Bij de tweede manier wordt gebruik gemaakt van het verschil in slibgehalte tussen de baggerspecie in de beun en de resterende gestorte baggerspecie in de kuil.

Dit werkdocument wordt gemaakt in opdracht van de stuurgroep '*Baggerdriehoek*'. In deze stuurgroep zijn Rijkswaterstaat (Directie Noordzee, Directie Zuid-Holland) en de gemeente Rotterdam (Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam) vertegenwoordigd.

In dit werkdocument wordt niet ingegaan op de achterliggende processen, het wettelijk kader en de vraagstelling. Ook het project, dat zorgt voor het uitvoeren van het onderzoek en de verslaglegging ervan blijft buiten beschouwing. Dit project, *Monitoring Alternatieve Loswallen* (MAL), wordt verzorgd door het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ). Informatie over deze

¹ MTDS = miljoen ton droge stof

aspecten is te vinden in het rapport *'Bagger vaart een stukje verder'* (Sandeh, 1999) en in het rapport *'Van Noord tot Noordwest'* dat in november 2002 (Stutterheim, 2002-c) zal verschijnen.

2 Doel van dit werkdocument

In dit werkdocument wordt een eerste verslag gedaan van de resultaten van het onderzoek naar het storten van baggerspecie in de eerste kuil van de Verdiepte Loswal. Dit onderzoek maakt deel uit van de praktijkproef die uitgevoerd moet worden om het gedrag van de Verdiepte Loswallen te bestuderen.

Het doel van dit werkdocument is:

- een evaluatie te geven van de praktijkervaring met de eerste kuil;
- te voldoen aan een deel van de eisen die gesteld zijn in de vergunningen en ontheffingen die verleend zijn voor het houden van de praktijkproef;
- een bijdrage te leveren aan de besluitvorming over de toekomst van het storten van baggerspecie, welke toekomst ook afhankelijk is van de resultaten van deze praktijkproef.

Overeenkomst

Voor het aanleggen van de Verdiepte Loswal is een overeenkomst afgesloten tussen de Staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat en het Gemeentelijk Havenbedrijf van Rotterdam, getiteld "Overeenkomst 1^e fase Verdiepte Loswallen", d.d. 6 oktober 2000. Deze overeenkomst bevat twee bijlagen en een "Onderzoeks- en monitoringsprogramma".

In het "Onderzoeks- en monitoringsprogramma" staat in artikel 4 dat aandacht moet worden besteed aan:

- de controle van de bodem van de inrichting zelf (= Verdiepte Loswal) en de omgeving;
- de maatregelen die genomen worden indien uit onderzoek blijkt dat de bodem onvoldoende door natuurlijke processen wordt afgedekt.

Deze punten stonden reeds vermeld in de vergunningverlening van 21 april 1998 waarin de Minister van Verkeer en Waterstaat toestemming verleent aan Directie Zuid-Holland van Rijkswaterstaat en aan het Gemeentelijk Havenbedrijf om de Verdiepte Loswal aan te leggen (AMU/1645; Besluit Wet Milieubeheer Verdiepte Loswallen).

Inhoud

Het definitieve rapport over de praktijkproef zal pas beschikbaar kunnen komen als de natuurlijke processen van consolidatie (indikken) van de baggerspecie en het mogelijk afdekken met zand tot een eind zullen zijn gekomen. Naar verwachting zullen deze processen enkele jaren in beslag nemen.

Dit werkdocument geeft een tussenstand. De bodemsamenstelling wordt beschreven, de vullingsgraad van de kuil en het wegstroompercentage van de baggerspecie worden berekend. Deze informatie is van belang voor het dagelijkse beheer van de baggerstromen naar de Verdiepte Loswal.

3 Aanpak van het onderzoek

In de eerste kuil van de Verdiepte Loswal wordt bodemonderzoek uitgevoerd. Het betreft onderzoek naar de vorm van de kuil, naar de massabalans van de baggerspecie en tenslotte naar het wegstroom- en retourpercentage.

3.1 Bodemonderzoek

De vragen van dit onderzoek naar het gedrag van gestorte baggerspecie in de Verdiepte Loswal zijn:

- het verloop van de consolidatie van de baggerspecie tijdens en na het vullen;
- de morfologische ontwikkeling nadat de put geheel gevuld is;
- het verloop van de natuurlijke afdekking met zand.

Om deze vragen te kunnen beantwoorden is het volgende onderzoek uitgevoerd. Er zijn diepe steekboringen in de Verdiepte Loswal genomen. In 1999, 2000, 2001 en 2002 zijn op 5 locaties op de bodem van de Verdiepte Loswal diepe steekboringen van maximaal 5 m genomen. Van deze bodemonsters is de natte en de droge dichtheid gemeten en is het slibpercentage en de mediane korrelgrootte bepaald. Van sommige boorkernen zijn deze gegevens per 50 cm van de boring beschikbaar. Verder zijn de boorkernen gefotografeerd en uitgebreid lithografisch beschreven. Dit onderzoek is uitgevoerd door het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen van TNO (TNO-NITG) (Klugt, 2000 t/m 2002).

3.2 Massabalans en wegstroompercentage

Er is studie verricht naar het verdwijnen van baggerspecie uit de kuil. Reeds tijdens het storten stroomt een deel van de kleinere fractie van de baggerspecie weg door stromingsinvloeden en komt niet eens in de kuil terecht. Daarna stroomt door de inwerking van getij en golven een deel van de baggerspecie, die wel in de kuil terecht is gekomen, hier weer uit weg. Deze weggestroomde baggerspecie zal uiteindelijk in de vaargeul en haven van Rotterdam en deels in de Waddenzee terechtkomen. De omvang van dit wegstromen van baggerspecie wordt het **wegstroompercentage** genoemd. Het wegstroompercentage heeft uitsluitend betrekking op de hoeveelheid baggerspecie die **wegstroomt** uit de Verdiepte Loswal. In dit werkdocument wordt ook naar het retourpercentage gekeken. Het retourpercentage is het percentage van de gestorte baggerspecie die **terugstroomt** naar vaargeul en haven. Het retourpercentage kan bepaald worden uit de informatie over de slibverdeling over de bodem rondom de Verdiepte Loswal. Deze informatie is beschikbaar uit de resultaten van de radiometrische kartering van februari 2002 (Koomans, 2002).

Baggerspecie (zand + slib_{<63 μm})

Het wegstroompercentage van baggerspecie (zand + slib_{<63 μm}) wordt hier berekend uit de volgende parameters:

- de hoeveelheid baggerspecie, zand + slib_{<63 μm}, die vanuit het baggerschip boven de eerste kuil is gelost, uitgedrukt in tonnen droge stof (TDS);
- het volume baggerspecie, zand + slib_{<63 μm}, dat in de kuil is aangetroffen, in m³, de zogenaamde stortlaag;
- de droge dichtheid (ton.m⁻³) van de stortlaag in de kuil. Uit volume en dichtheid wordt de massa (TDS) van de stortlaag berekend.

Bij het opstellen van de massabalans van de baggerspecie worden de hoeveelheden uitgedrukt op basis van droge stof om rekenproblemen met de wisselende hoeveelheden aanhangend water te voorkomen.

De **gestorte hoeveelheid baggerspecie** afkomstig uit haven en vaargeul is bekend uit de baggeradministratie. Bij het verzamelen van deze gegevens blijkt dat de hoeveelheden baggerspecie uit de **vaargeul** (Maasgeul, Eurogeul) zijn opgegeven in tonnen droge stof (TDS). De hoeveelheden uit de **haven** van Rotterdam zijn echter opgegeven in kubieke meters. Hierdoor is een omrekenfactor nodig om kubieke meters naar TDS om te rekenen. In dit werkdocument wordt de waarde 0,4 TDS.m⁻³ voor deze omrekenfactor (= droge dichtheid) genomen. Het volume in de beun maal 0,4 geeft dan de tonnen droge stof die gestort worden.

Het **volume baggerspecie op de bodem van de kuil** is bekend uit lodingen.

De **dichtheid** tenslotte is bepaald door bodemmonsters van de stortlaag met behulp van diepte steekboringen te nemen en hieruit vaste volumes, voor en na drogen, te wegen.

Massabalans

De volgende massabalans wordt gehanteerd:

Weggestroomde baggerspecie =

Gestorte baggerspecie uit schip – achtergebleven baggerspecie op zeebodem

Het wegstroompercentage is gelijk aan het percentage van de weggestroomde baggerspecie, waarbij de totale hoeveelheid gestorte baggerspecie, zand + slib_{<63 μm}, gelijk wordt gesteld aan 100 %.

Weggestroompercentage baggerspecie (%) =

$$\frac{\text{Weggestroomde baggerspecie (TDS)}}{\text{Gestorte baggerspecie uit schip (TDS)}} * 100$$

slib_{<63µm}

Voor slib_{<63µm} is een overeenkomstige exercitie uitgevoerd om het wegstroompercentage te berekenen. De massabalans van slib_{<63µm} valt op te stellen als het slibgehalte in de beun van baggerschepen en in de resterende baggerspecie op de loswal bekend is. De aanpak en de opzet van de formules zijn hetzelfde als voor baggerspecie (zand + slib_{<63µm}). Uiteraard moet, waar van toepassing, baggerspecie ('zand + slib_{<63µm}') vervangen worden door 'slib_{<63µm}'.

Foutenschatting van het wegstroompercentage

De omvang van het wegstroompercentage is behept met onzekerheden. In dit werkdocument wordt daarom ook de standaardfout van het wegstroompercentage gegeven. Deze standaardfout is gebaseerd op alle onderliggende foutenbronnen, zoals:

- beunvolumes;
- lodingen;
- oppervlaktebepaling;
- droge dichtheidsbepaling.

De grootte van de foutenbronnen en de gebruikte rekenmethodiek staan beschreven in de volgende werkdocumenten:

1. Werkwijze voor de berekening van het wegstroompercentage van baggerspecie en de standaardfout ervan voor Loswal Noordwest en de Verdiepte Loswal (Stutterheim, 2002-a);
2. Retourpercentage van Loswal Noordwest. Bepaling op grond van baggeradministratie, lodingen en radiometrische kartering (Stutterheim, 2002-b).

De omvang van de lodingsfout is afkomstig uit de beide werkdocumenten van Duin (Duin, 2001-a en 2001-b).

3.3 Retourpercentage

In dit onderzoek wordt ook geprobeerd om het retourpercentage vast te stellen. Hiertoe is een radiometrische kartering rondom de Verdiepte Loswal uitgevoerd om het verspreidingspatroon van slib_{<63µm} rondom de loswal in beeld te brengen en om de hoeveelheid slib_{<63µm} rondom de loswal te kwantificeren.

Dezelfde aanpak is gevolgd bij Loswal Noordwest (Stutterheim 2002-b). Hieruit bleek dat op redelijk betrouwbare wijze het relatieve slibaandeel in zuidelijke richting van de loswal kon worden vastgesteld, waarmee een schatting van het retourpercentage kon worden gemaakt. Bij Loswal Noordwest is de aanname gedaan dat de hoeveelheid slib_{<63µm} op de bodem in zuidelijke richting een maat geeft voor de hoeveelheid baggerspecie die in de waterfase in zuidelijke richting stroomt naar vaargeul en haven. Voor deze aanname bestaat enigszins een onderbouwing, gezien de studie naar het transport van slib_{<63µm} (Stutterheim, 2002-c).

Het retourpercentage wordt berekend door het wegstroompercentage te vermenigvuldigen met de relatieve hoeveelheid slib_{<63µm} die ten zuiden van de loswal ligt.

Retourpercentage = Wegstroompercentage * slibfractie in zuidelijke richting

4 Bodemsamenstelling Verdiepte Loswal

4.1 Beschrijving van de stortlocatie

Zoals reeds vermeld, wordt sinds augustus 2000 baggerspecie uit de haven en vaargeul van Rotterdam gestort in de Verdiepte Loswal. De ligging van de Verdiepte Loswal, en ook van de twee andere loswallen, n.l. Loswal Noord en Loswal Noordwest, staan weergegeven in Figuur 1-1.

In Figuur 4-1 staan de zes kuilen van de Verdiepte Loswal weergegeven met de twee referentievakken 'oost' en 'west'. Deze referentievakken zijn gebruikt om te corrigeren voor veranderingen die in het hele onderzoeksgebied (dus kuil + referentievakken) optraden. Op de vijf meetlocaties, M0 t/m M4, zijn bodemmonsters genomen en is de dichtheid bepaald. Hiertoe zijn met steekboringen bodemmonsters genomen tot een diepte van 3 tot 5 m.

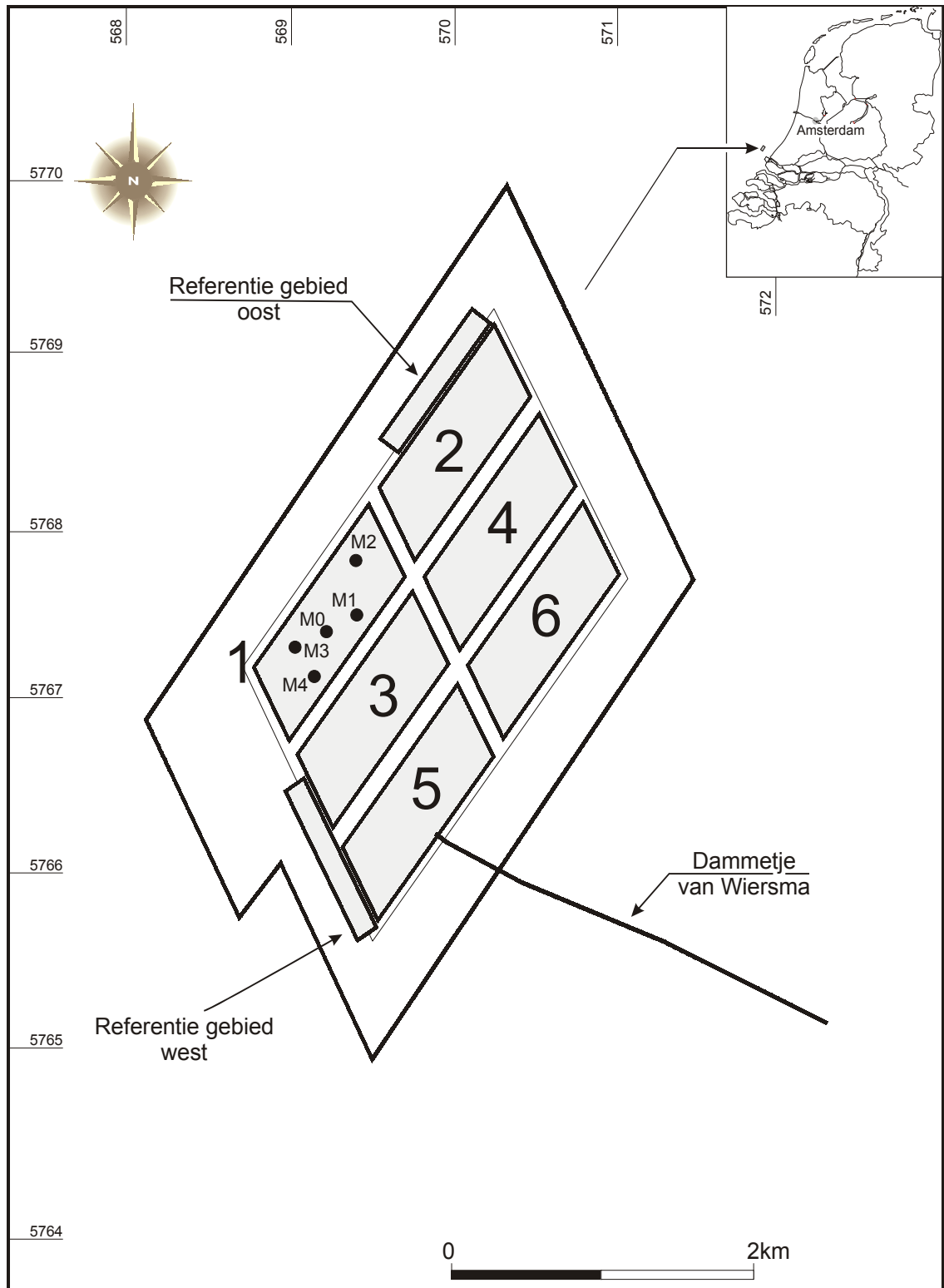
De eerste kuil van de Verdiepte Loswal is in meer detail weergegeven in Figuur 4-2. Op grond van de morfologie van de eerste kuil is deze onderverdeeld in vier gedeeltes, de zg. compartimenten. Deze vier compartimenten zijn weergegeven en ook de twee 'randen' om de kuil. De informatie van deze randen wordt later (§ 5.8) gebruikt om de stabiliteit van de kuil te bepalen en om te bezien of eventueel mors is opgetreden.

De maten van de eerste kuil zijn ca. 500 m breed, 1200 m lang en 8 m diep, zodat de inhoud ongeveer 5 miljoen kuub bedraagt. Het taluud bedraagt 1 : 5, zodat de lengte en breedte bij de bodem 80 m kleiner zijn dan aan de bovenkant van de kuil (tweemaal 5 * 8 m).

De gemiddelde diepte is 8,39 m, maar doordat de bodem van de kuil niet geheel vlak is, zijn er hoogteverschillen van ruim vijf meter. Hierdoor vindt de opvulling met baggerspecie niet gelijkmatig plaats.

Om een idee te krijgen van de omvang van Verdiepte Loswal is in Figuur 4-3 een *artist impression* opgenomen. Het voetbalveld is ingetekend om een indruk te geven van de omvang. De hoogte is niet op schaal weergegeven, omdat de relatief geringe diepte van de kuil en van de zee anders in de dikte van de tekenlijnen zou verdwijnen. Ondanks de relatief geringe diepte worden in de baggerwereld de kuilen met het woord 'putten' aangeduid. De diepte van de kuil, ca. 8 m, is wel aanzienlijk vergeleken met de waterdiepte van ca 20 m. Binnen de kuil zijn variaties in diepte. Het diepste punt is 10,56 m (M1) en het ondiepste 5,11 m (M2). De details staan in Tabel 4-2.

Figuur 4-1 De Verdiepte Loswal

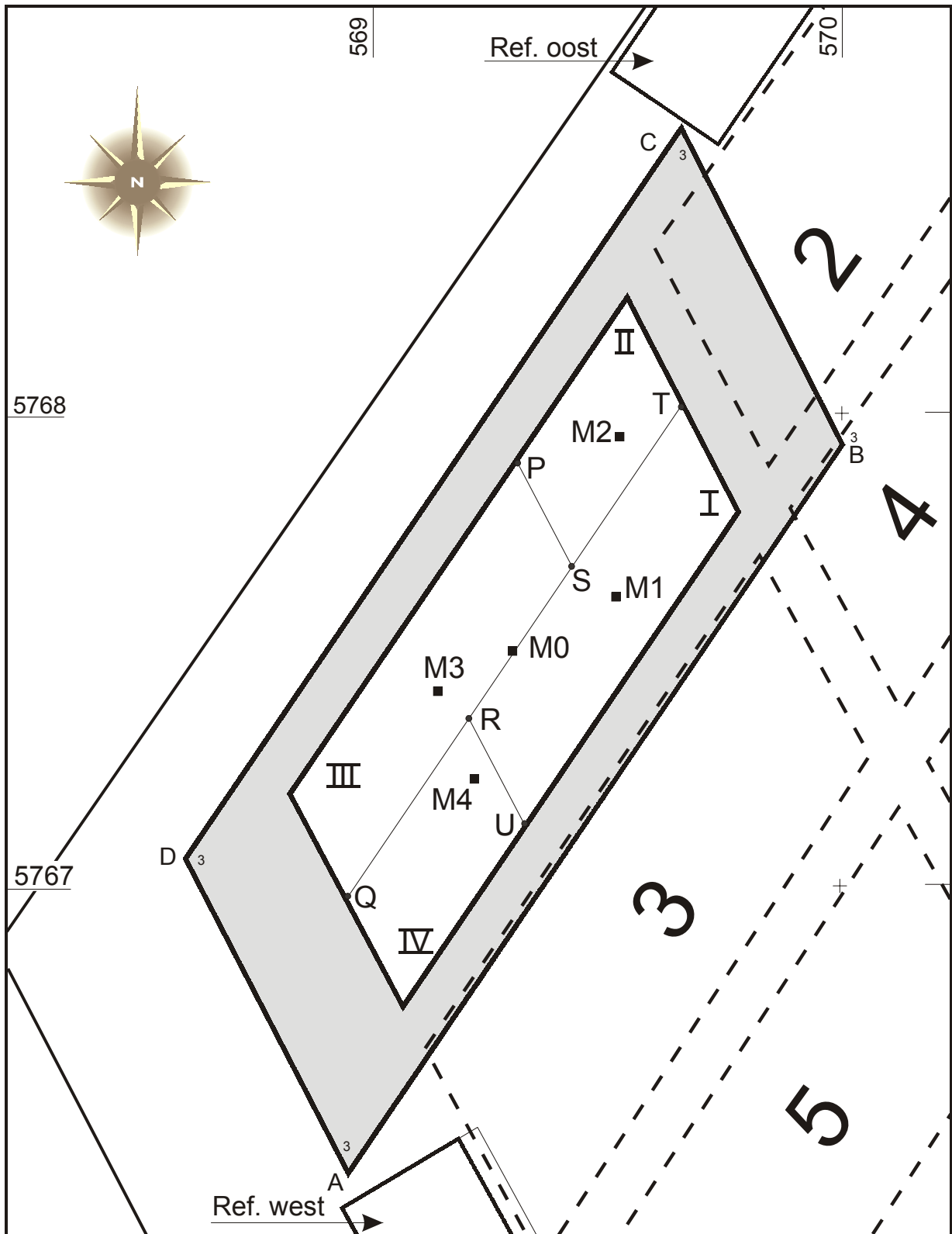


De zes kuilen van de Verdiepte Loswal met de twee referentievakken 'oost' en 'west', alsmede de meetlocaties M0 t/m M4.

sd02007.cdr

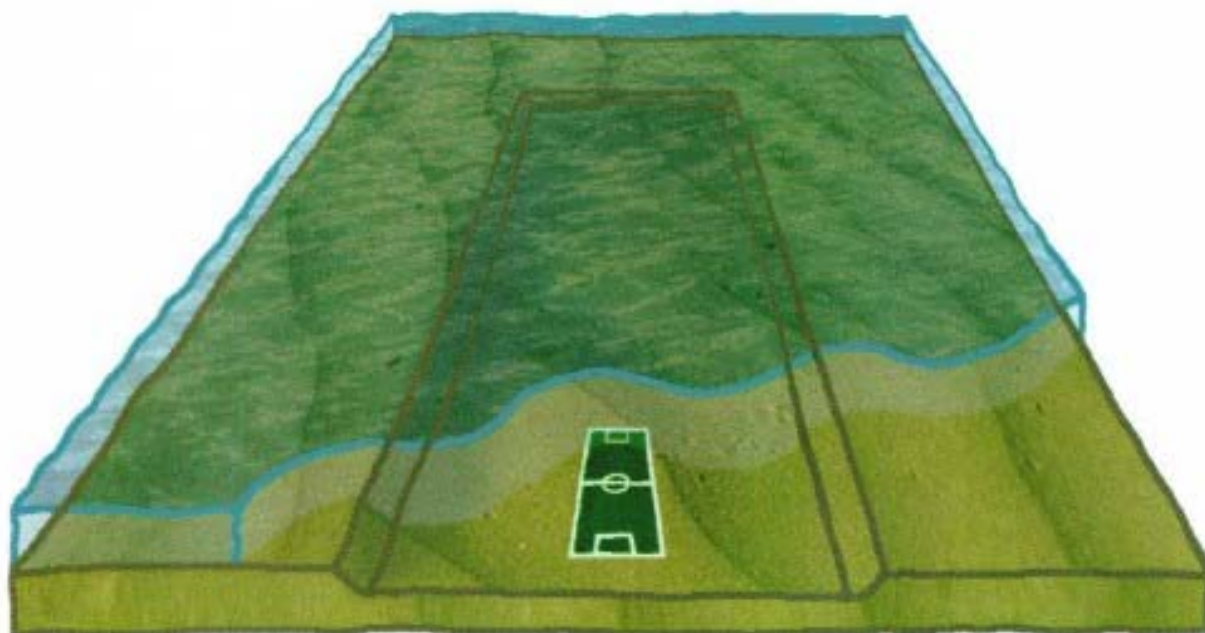
sd 20005

Figuur 4-2 De eerste kuil van de Verdiepte Loswal



De eerste kuil van de Verdiepte Loswal met de onderverdeling in vier compartimenten en de rand (A₃, B₃, C₃ en D₃)B, met opnieuw de meetlocaties M0 t/m M4. sd02002.cdr
sd02002

Figuur 4-3 'Artist impression' van de Verdiepte Loswal



Artist impression van de Verdiepte Loswal. De hoogte is niet op schaal weergegeven, omdat de diepte van de kuil en van de zee anders in de dikte van de tekenlijnen zou verdwijnen. Het voetbalveld is ingetekend om een idee van de grootte te geven

H. van Heuvel, sd02003

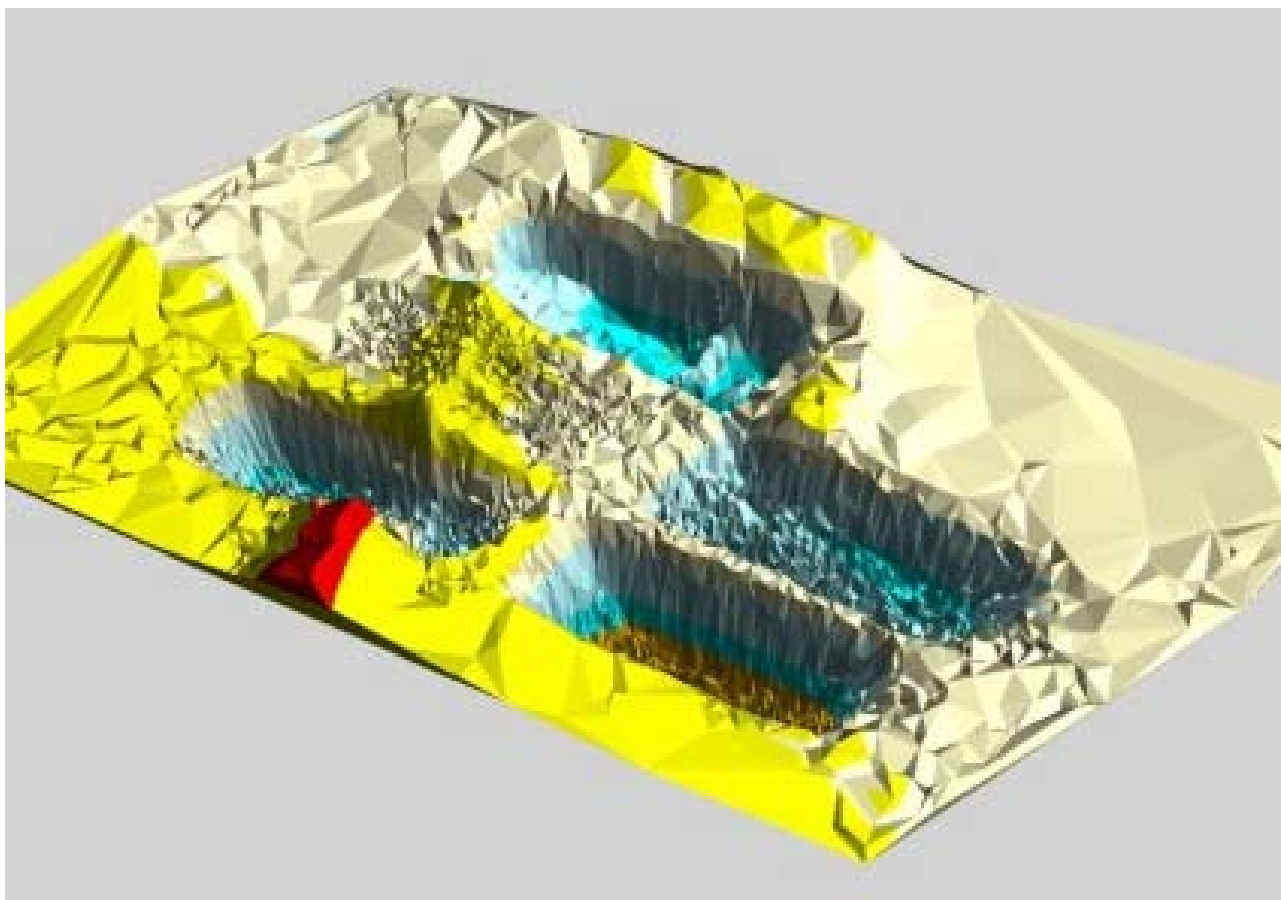
Figuur 4-4 laat een driedimensionaal plaatje van de situatie van de Verdiepte Loswal in december 2001 zien. Kuil 1 is gedeeltelijk gevuld, kuil 3 t/m 6 zijn al gedeeltelijk aangelegd. In rood is in het midden van kuil 5 nog een restje van de onderwaterdam te zien, het z.g. 'Dammetje van Wiersma'. Deze dam is destijds opgeworpen in een poging om de retourstroom vanaf Loswal Noord te verminderen. De eerste kuil wordt met meer detail in Figuur 4-5 getoond. Zowel in Figuur 4-4 en Figuur 4-5 is de diepte vergroot weergegeven. Het lijkt alsof de kuilen even diep als breed zijn. In het echt bedraagt de diepte echter ca. 0,5 % van de breedte.

4.2 Verandering bodemsamenstelling

Door baggerspecie in de kuil te storten, verandert de samenstelling van de zeebodem. De laag baggerspecie die in de kuil terecht komt, wordt in dit werkdocument 'stortlaag' genoemd.

Uiteraard komt door het storten de bodem hoger te liggen en gaat, in plaats van uit zand, uit slibrijk materiaal bestaan. Verder verandert de dichtheid van de bodem. Of beter gezegd, de dichtheid van de stortlaag is anders dan die van de oorspronkelijke bodem. De dichtheid is van belang voor het vaststellen van de massa van de stortlaag, en daarmee van het wegstroompercentage. Alle informatie in de rest van dit hoofdstuk, de §§ 4.3 en 4.5, is afkomstig van NITG/TNO en staat beschreven in vier rapporten van Van der Klugt, n.l. 2000-a, 2000-b, 2001 en 2002.

Figuur 4-4 De gedeeltelijk gevulde Verdiepte Loswal, driedimensionaal



Driedimensionaal plaatje van de Verdiepte Loswal met de zes kuilen en het restant van het 'Dammetje van Wiersma'. Deze opname is gemaakt op in december 2001, 5 maanden na aanvang van het storten.

Let op: de diepte is vergroot weergegeven. De diepte bedraagt ca 0,5 % van de breedte.

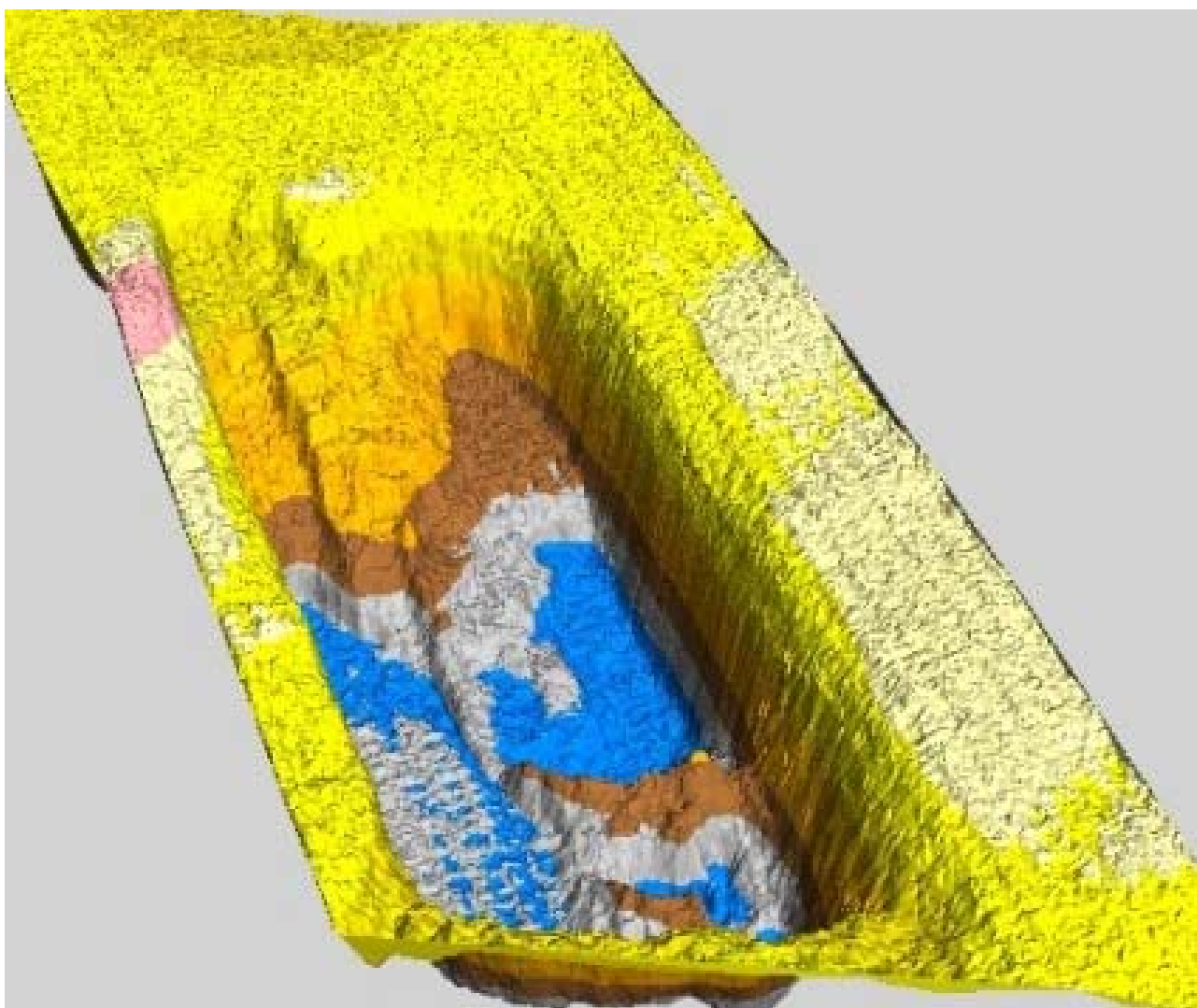
sd02004

4.3 Samenstelling van de oorspronkelijke zeebodem en van de stortlaag

Voordat er werd gestort, in augustus 2000, bestond de bodem van de kuil uit een zandige zeebodem. Het gemiddelde slibgehalte_{< 63 µm} was 0,16 % en de mediane korrelgrootte bedroeg 424 µm in augustus 2000.

Alle details van de bodemsamenstelling en dikte van de stortlaag staan in Tabel 4-1.

Figuur 4-5 De gedeeltelijk gevulde eerste kuil, driedimensionaal



Drie dimensionaal plaatje van de eerste kuil van de Verdiepte Loswal met de hoogte verschillen die aanleiding gaven tot de onderverdeling in compartimenten en het restant van het 'Dammetje van Wiersma'. Deze opname is gemaakt in december 2001, 5 maanden na aanvang van het storten.

Let op: de diepte is vergroot weergegeven. De diepte bedraagt ca 0,5 % van de breedte.

sd02005

De baggerspecie die gestort werd bestond gemiddeld voor 45,48 % uit slib_{<63µm} en voor 54,52 % uit zand.

De berekening is als volgt:

Slibgehalte in de beun met havenbaggerspecie 85,80 %

Slibgehalte in de beun met vaargeulbaggerspecie 27,77 %

Hoeveelheid baggerspecie gestort tussen

15 augustus 2000 en 5 juli 2002:

uit haven 2,140 MTDS

uit vaargeul 4,875 MTDS

→ Slibgehalte = $(85,80 * 2,140 / 7,014) + (27,77 * 4,875 / 7,014) = 45,48 \%$

(Bron: slibmeting NITG/TNO, brief dd. 6 september 2002).

Vier maanden na het starten van het storten, in **december 2000**, ligt er een laag baggerspecie van 0 tot 99 cm, gemiddeld 62 cm. De toplaag, de bovenste 50 cm, bestaat steeds uit 100 % slib_{< 63 μm}. Voor dit opvallende meetresultaat bestaat geen verklaring. In de laag eronder van 50 tot 100 cm, die deels uit baggerspecie en deels uit de oorspronkelijke zeebodem bestaat, varieert het slibgehalte_{< 63 μm} van 2,1 tot 100 %. Het gemiddelde slibgehalte over de hele stortlaag over de 5 locaties bedraagt 74,3 %.

De mediane korrelgrootte van deze laag bedraagt gemiddeld 129 μm. Uit deze gegevens blijkt dat gemeten gehalten slib_{< 63 μm} in de 50 cm-secties van de steekboringen (soms wel 100 %) aanzienlijk hoger kunnen zijn dan het gemiddelde slibgehalte in de beun. Gemiddeld zit er in havenbeunen 85,5 % slib_{< 63 μm}, dus minder dan de incidenteel gemeten 100 %.

In **november 2001**, zo'n 15 maanden na de aanvang van het storten, ligt er een laag baggerspecie van 0,35 tot 3,72 m, met een gemiddelde van 2,78 m. Het slibgehalte varieert van 19 tot 52 %, met een gemiddelde van 34,8 % en een standaarddeviatie van 12,8 %.

De mediane korrelgrootte varieert van 80 tot 177 μm, met een gemiddelde van 123 μm, en een standaarddeviatie van 42,4 μm.

In **februari 2002**, zo'n 18 maanden na de aanvang van het storten, ligt er een laag baggerspecie van 1,24 tot 3,90 m, met een gemiddelde van 3,0 m. Het slibgehalte varieert van 28 tot 42 %, met een gemiddelde van 30,5 % en een standaarddeviatie van 10,0 %.

De mediane korrelgrootte varieert van 102 tot 172 μm, met een gemiddelde van 124 μm, en een standaarddeviatie van 33,3 μm.

Het gemiddelde slibgehalte_{< 63 μm} in de stortlaag is afgenomen van 74,3 % in december 2000, via 34,8 % in november 2001 tot 30,5 % in februari 2002, hoewel er de hele periode wordt gestort.

4.4 Hoogte van de stortlaag

Zoals reeds vermeld in paragraaf 4.1, zijn bodemonsters van 3 tot 5 m lengte genomen. De steekdiepte is steeds groter geweest dan de dikte van de stortlaag zodat altijd de gehele stortlaag en een deel van de oorspronkelijke zeebodem is bemonsterd. De lege kuil is gemiddeld ruim acht meter diep, maar binnen de kuil zijn variaties in diepte. Het diepste punt is 10,56 m (M1) en het ondiepste 5,11 m (M2). De details staan in Tabel 4-2.

Locatie M2 ligt in een relatief ondiep stukje van de kuil, dat zo'n 5 m ondieper is dan locatie M1. Op locatie M2 is dan ook nauwelijks gestorte baggerspecie aanwezig in november 2001. In die maand, na 15 maanden storten is de dikte van de stortlaag pas 35 cm en na 18 maanden 1,24 m (zie Tabel 4-1).

Tabel 4-1 Bodemsamenstelling Verdiepte Loswal

Datum	Code	Monster-locatie	Slibgehalte $< 63\mu\text{m}$	Mediane korrelgrootte	Dikte hele stortlaag
			%	μm	m
Aug 2000	t_0	M0	0,18	391	0,00
(0 mnd)		M1	0,05	401	0,18
		M2	0,21	374	0,00
		M3	0,02	488	0,10
		M4	0,33	464	0,00
		Gemidd.	0,16	424	0,06
		Std. dev.	0,12	49,5	0,08
Dec 2000	t_1	M0	100	43,5	0,73
(na 4 mnd)		M1	77,9	62,2	0,65
		M2	geen stortlaag	geen stortlaag	0,00
		M3	67,4	324	0,75
		M4	52,1	86,9	0,99
		Gemidd.	74,3	129	0,62
		Std. dev.	20,1	131	0,37
Nov 2001	t_2	M0	37,7	128	3,35
(na 15mnd)		M1	51,7	79,9	2,85
		M2	39,9	81,5	0,35
		M3	18,8	178	3,62
		M4	25,8	148	3,72
		Gemidd.	34,8	123	2,78
		Std. dev.	12,8	42,4	1,40
Feb 2002	t_3	M0	28,0	133,6	2,75
(na 18mnd)		M1	36,3	85,8	3,90
		M2	41,7	101,7	1,24
		M3	31,4	136,2	3,75
		M4	42,3	172,3	3,45
		Gemidd.	30,5	124,2	3,0
		Std. dev.	10,0	33,3	1,1

Tabel 4-2 Diepte in de eerste lege kuil

Locatie	Diepte
	m
M0	9,30
M1	10,56
M2	5,11
M3	9,39
M4	7,60
Gemiddeld	8,39

Diepte in de eerste lege kuil van de Verdiepte Loswal op 5 locaties (M0 t/m M4) voor aanvang van het storten. De diepte is relatief ten opzichte van een punt, 140 m buiten de kuil. De diepte is niet ten opzichte van t_0 genomen omdat op deze wijze voor de veranderingen, die over het hele onderzoeksgebied plaatsvinden, gecorrigeerd kan worden.

De vulling in de kuil is in elk van de vier compartimenten afzonderlijk bepaald met behulp van lodingen. Figuur 4-6 laat de mate van vulling zien in de eerste kuil. Het verloop van de relatieve storthoogte in de tijd is weergegeven. Als 'aftelhoogte' is de gemiddelde hoogte genomen in de drie maanden, voorafgaande aan het begin van het storten, dus van mei, juni en juli 2000.

In de compartimenten 1, 3 en 4 is een nagenoeg continue toename van de storthoogte te zien. Alleen in compartiment 2 vindt de eerste anderhalf jaar nauwelijks verhoging van de bodem plaats. De verklaring hiervoor kan zijn dat dit compartiment circa 5 m hoger ligt dan de rest van de kuil. Verder is er niet regelmatig over het hele oppervlak van de kuil gestort. Zodra de stortlaag in de overige compartimenten dikker is geworden dan 5 m, na anderhalf jaar storten, is ook compartiment 2 opgevuld.

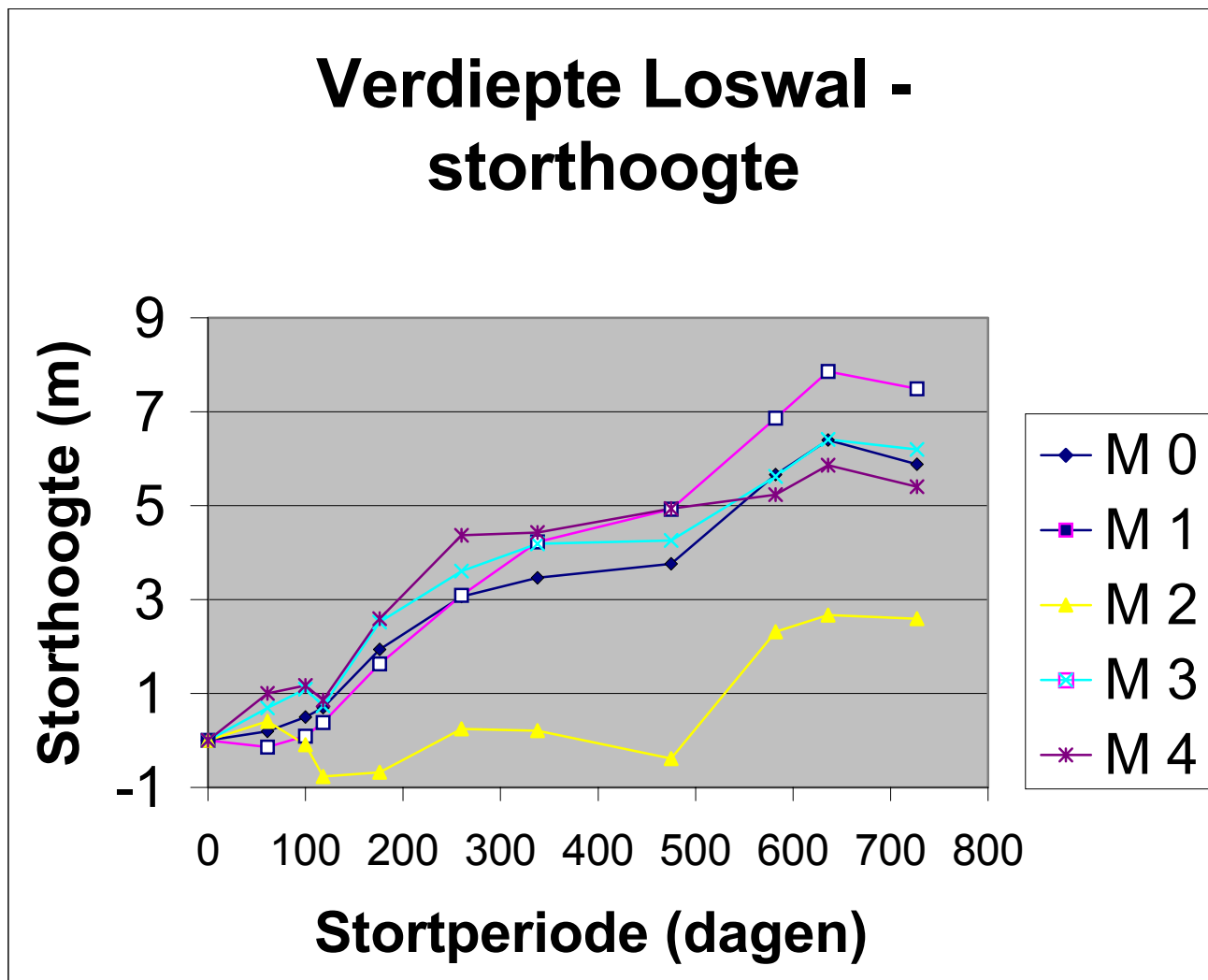
Opvallend is dat zo'n drie maanden na aanvang van het storten in compartiment 2 een bodemdaling van ongeveer een meter optreedt (zie Figuur 4-6). Als verklaring wordt gedacht aan een niet geregistreerde zandwinning of aan bodemverplaatsing door stormen. Compartiment 2 ligt zo'n 5 m hoger dan de rest van de kuil, zodat een bodemverschuiving, onder invloed van sterke stromingen, naar de andere compartimenten tot de mogelijkheden behoort. Het is mogelijk dat ook aan de rand dergelijke verschuivingen zijn opgetreden, maar dat valt niet na te gaan omdat daar geen steekboringen zijn verricht.

Vanaf 21 mei 2002 (dag 636), de op een na laatste dieptepeiling van Directie Zuid-Holland, vindt er een afname plaats van de dikte van de stortlaag. Vanaf die datum is er dus meer baggerspecie weggestroomd van de loswal dan gestort (0,32 miljoen ton baggerspecie op droge stof basis van 21 mei tot 24 juli 2002).

De gemiddelde dikte van de stortlaag bedraagt in augustus 2002, 24 maanden na aanvang van het storten (dag 727) 5,51 m (dieptepeiling DZH). Omdat de gemiddelde kuildiepte voor het storten 8,39 m was, is er in augustus 2002 nog gemiddeld 2,88 m ruimte tot de rand.

Een overzicht van de storthoogtes in de eerste kuil van de Verdiepte Loswal in de vier compartimenten en in de hele kuil (M0 t/m M4) vanaf augustus 2000 tot 20 augustus 2002 gemeten door Directie Zuid-Holland staat in bijlage 4.

Figuur 4-6 Vulling van de vier compartimenten



De vulling van de vier compartimenten van de eerste kuil van de Verdiepte Loswal. De eerste meting (loding) is op 23 augustus 2000 en de laatste, 11^e, meting is na 727 dagen op 20 augustus 2002. (bron: DZH)

bron: MAL\sandeh\werkdokumenten\dichtheid-diepe\dichtheid # dhVLdzh [DZH-dichtheidsmeting] A176.

4.5 Dichtheid van de stortlaag

De droge dichtheid van de stortlaag is op verschillende tijdstippen bepaald. Voor deze bepaling zijn de bodemonsters van 3 tot 5 m diep gebruikt (zie paragrafen 4.1 en 4.5). De dichtheid is bepaald in secties van 50 cm lengte van de steekmonsters. Het blijkt dat de dichtheid niet gelijk is over de hele stortlaag. De droge dichtheid wordt gebruikt om te bepalen hoeveel baggerspecie, uitgedrukt in tonnen droge stof, in de kuil ligt (= volume van de stortlaag maal de droge dichtheid).

In Tabel 4-3 staan de gegevens van de droge dichtheid, gemeten in augustus en december 2000, in november 2001 en in februari 2002.

Intermezzo

Natte dichtheid en droge dichtheid

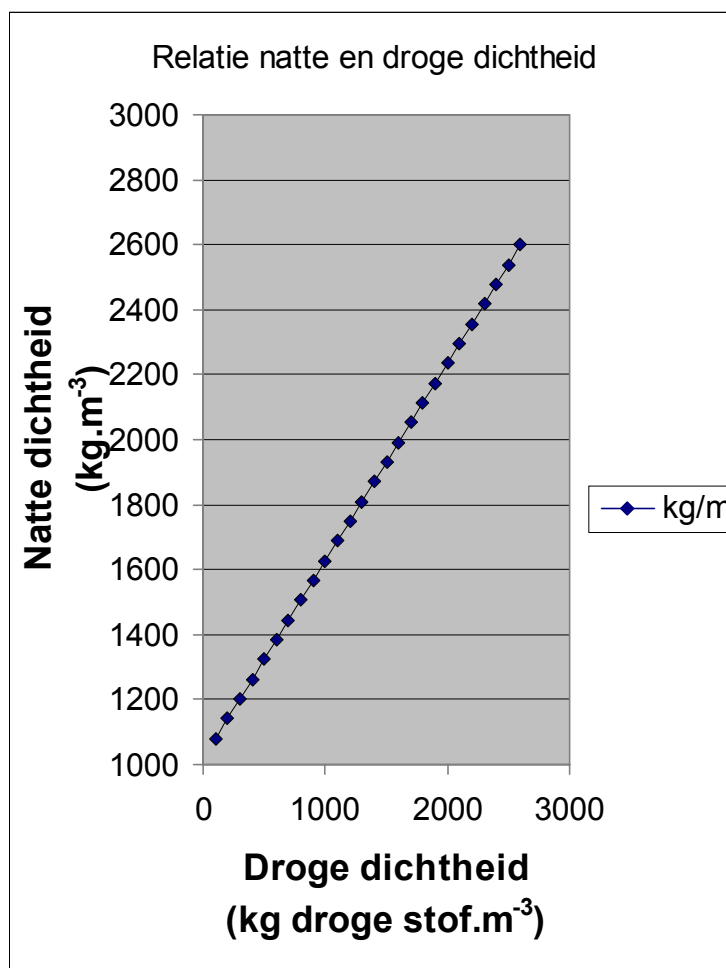
Het is van belang om onderscheid te maken tussen de natte dichtheid en de droge dichtheid.

De natte dichtheid is het gewicht van een kubieke meter baggerspecie, de droge dichtheid het gewicht van dezelfde kubieke meter nadat het water eruit verwijderd is. Voor de meting wordt het water verdampt door het bodemonmonster gedurende 24 uur bij 105°C te verwarmen.

Meestal wordt in de zeebodem de natte dichtheid bepaald. Hierdoor is van een vast volume, meestal één kubieke meter, het totale gewicht bekend, nl. de som van de vaste massa en het water. Om de droge dichtheid te bepalen wordt vervolgens een omrekenformule gebruikt. In de omrekenformule zit het soortelijk gewicht van de vaste massa ($2,6 \text{ g.cm}^{-3}$) en het soortelijk gewicht van zeewater ($1,02 \text{ g.cm}^{-3}$).

Bij dit onderzoek is direct de droge dichtheid gemeten. Hieruit bleek dat er een verschil zat tussen de direct gemeten droge dichtheid en de droge dichtheid die berekend was uit de natte dichtheid met behulp van de onderstaande formule.

Een probleem bij het vermelden van de droge dichtheid is dat vermoedelijk sommige lezers geen 'gevoel' hebben voor deze maat omdat meestal met de natte dichtheid wordt gewerkt. Vergelijk het probleem van guldens (bekend) en EURO's (nieuw, lastig). Om deze reden wordt af en toe bij de droge dichtheid de corresponderende natte dichtheid vermeld, die berekend is door de omrekenformule 'omgekeerd' te gebruiken. Deze 'teruggerekende natte dichtheid' wordt hier verder



'referentie natte dichtheid' genoemd.

(M:\Sandeh\monitoring\dichtheid\TDS-dichtheid.xls #A20)

Omrekenformule natte naar droge dichtheid

In het algemeen wordt de volgende formule gebruikt om de gemeten natte dichtheid om te rekenen naar de droge dichtheid:

$$\text{Droge dichtheid} = \left(\frac{\text{Gemeten natte dichtheid} - 1,02}{2,6 - 1,02} \right) * 2,6$$

De soortelijke dichtheid van het vaste materiaal is hierbij 2,6 en die van zeewater 1,02 g.cm⁻³. Bij dit onderzoek zijn de natte en droge dichtheid afzonderlijk gemeten. Dit biedt de mogelijkheid om de validiteit van deze formule te toetsen. De meetresultaten zijn ook gebruikt om de **soortelijke dichtheid** van het vaste materiaal te berekenen. Deze soortelijke dichtheid van het vaste materiaal varieerde in de metingen van december 2000 en november 2001 tussen 1,55 en 3,16 g.cm⁻³. De gemiddelde waarden van de soortelijke dichtheid van het vaste materiaal bedroegen in december 2000 2,83 en in november 2002 2,42 g.cm⁻³. Het gemiddelde hiervan - 2,63 g.cm⁻³ - zit dicht bij het veronderstelde soortelijk gewicht van 2,6 maar de onderlinge variaties zijn groot. Dit pleit ervoor om steeds de droge dichtheid te meten en niet te berekenen uit de gemeten natte dichtheid.

In **augustus 2000** was er nog nauwelijks baggerspecie gestort. De gemeten droge dichtheid bedroeg 1,55 TDS.m⁻³, met de bijbehorende referentie natte dichtheid van 1,96 TDS.m⁻³. Deze waarden geven de dichtheid van de ongestoorde bodem weer. Uit deze waarden kan de porositeit van het vaste materiaal in de zeebodem worden berekend. Aangenomen dat de vaste massa een dichtheid heeft van 2,6 TDS.m⁻³, bedraagt deze porositeit van de zeebodem 40 % (= 1 - 1,55/2,6).

In **december 2000**, als er gemiddeld een stortlaag van 62 cm ligt, bedraagt de droge dichtheid van de stortlaag 0,91 TDS.m⁻³ en de referentie natte dichtheid 1,57 ton.m⁻³. De dichtheid van de stortlaag is aanzienlijk lager dan die van oorspronkelijk zeebodem.

Opgemerkt dient te worden dat het meten van de dichtheid in de bovenste 50 cm van de steekboring lastig is vanwege de dunvloeibaarheid van deze laag.

In **november 2001**, als de gemiddelde dikte van de stortlaag is toegenomen tot 2,78 m, bedraagt de droge dichtheid van de stortlaag 1,15 TDS.m⁻³ en de referentie natte dichtheid 1,72 ton.m⁻³. De dichtheid is toegenomen ten opzichte van een jaar geleden. Dit kan duiden op een toegenomen consolidatie. De droge dichtheid van de eerste meter van de steekboring bedraagt gemiddeld voor 0 - 50 cm 1,18 en voor 50 - 100 cm 1,17 TDS.m⁻³. Dit is een lagere dichtheid dan die van de grotere dieptes van 100 tot 350 cm, nl. gemiddeld 1,24 met een variatie van 1,07 tot 1,33 TDS.m⁻³ (zie Tabel 4-3). Dit kan er op duiden dat in de onderste, oudere lagen reeds consolidatie heeft plaats gevonden.

Opmerkelijk is dat de droge dichtheid van het onderste deel van de steekboring op locatie M4 (3,00 - 3,50 m) erg laag is, nl. 0,56 TDS.m⁻³. Een verklaring hiervoor kan niet gegeven worden

In **februari 2002** is de gemiddelde dikte van de stortlaag verder toegenomen tot 3,0 m. De gemiddelde droge dichtheid bedraagt dan 1,18 TDS.m⁻³, overeenkomend met een referentie natte dichtheid van 1,74 ton.m⁻³. De gemiddelde droge dichtheid van de meetlocaties M0 t/m M4, van de secties van 50 cm lengte varieert in februari 2002 tussen 0,95 en 1,33 TDS.m⁻³. De variatie van alle gemeten waarden is groter, nl. van 0,71 tot 1,67 TDS.m⁻³.

In Figuur 4-7 staat de droge dichtheid, gemeten in februari 2002, uitgezet tegen de diepte van de steekmonsters. De droge dichtheid neemt toe met de diepte, nl. van 0,95 in de toplaag tot 1,33 TDS.m⁻³ op 3,5 m diepte. Alleen locatie M3 vormt hierop een uitzondering en voor locatie M2 zijn te weinig gegevens om een uitspraak te doen.

In dit werkdocument wordt het wegstroompercentage voor de periode augustus 2000 - juli 2002 berekend. In deze periode zijn 12 ladingen uitgevoerd en drie dichtheidsbepalingen. Voor de eerste vier ladingen is de eerste dichtheidsbepaling gebruikt (december 2000), voor de volgende zes ladingen de tweede dichtheidsbepaling (november 2001) en voor de laatste twee ladingen de dichtheid van februari 2002. De droge dichtheden zijn respectievelijk **0,91**, **1,15** en **1,18 TDS.m⁻³**. De bijbehorende referentie natte dichtheden bedragen respectievelijk 1,57 - 1,72 en 1,74 TDS.m⁻³.

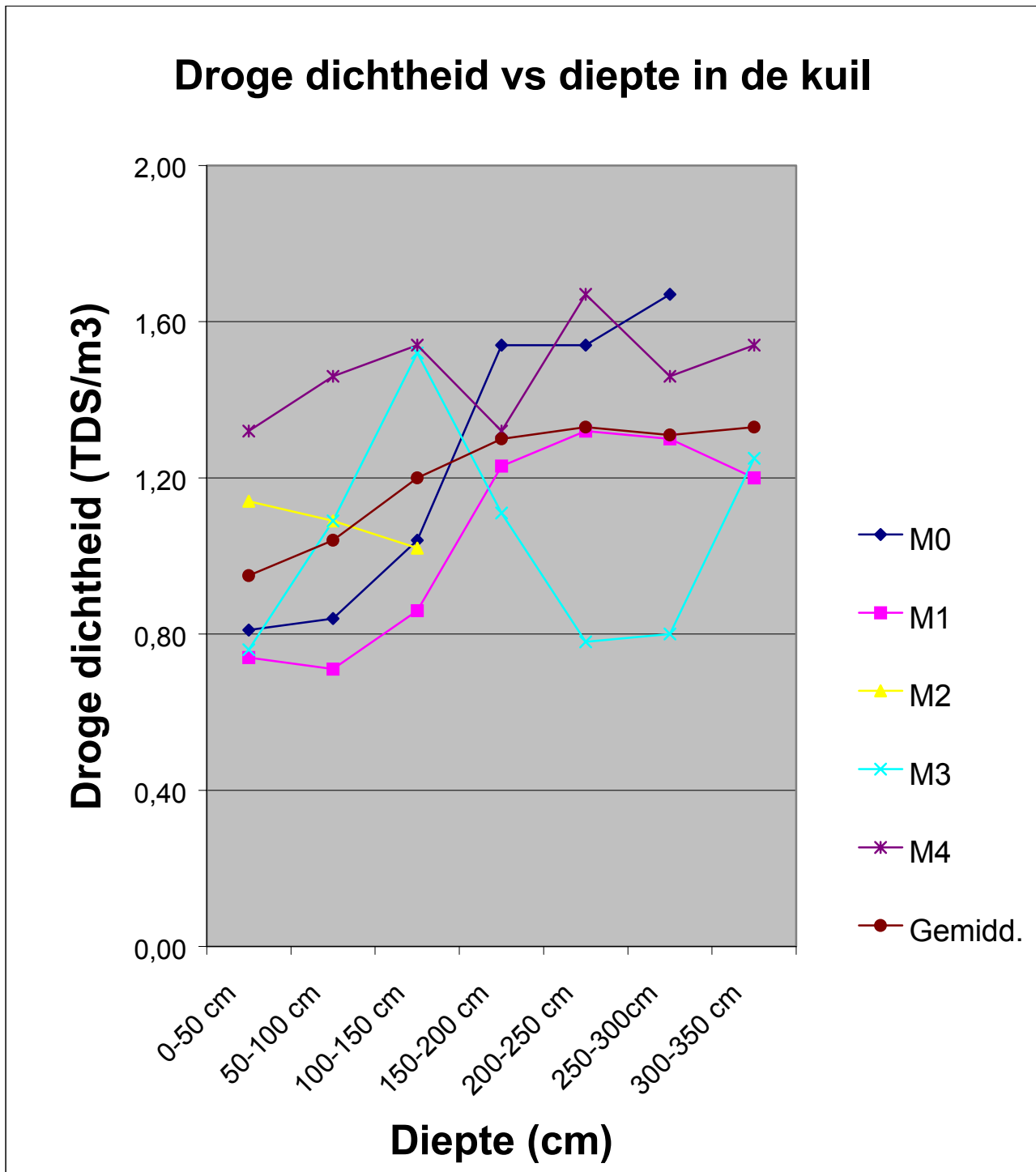
Tabel 4-3 Droge dichtheid van de stortlaag in de eerste kuil

	Stortlaag sectie	Droge dichtheid								Rfrntie natte dichtheid
		0-50 cm	50-100 cm	100 -150 cm	150-200 cm	200-250 cm	250-300 cm	300-350 cm	Gemiddeld hele stortlaag	Gemiddeld hele stortlaag
	Locatie	TDS.m ⁻³	TDS.m ⁻³	TDS.m ⁻³	TDS.m ⁻³	TDS.m ⁻³	TDS.m ⁻³	TDS.m ⁻³	TDS.m ⁻³	TDS.m ⁻³
Aug 2000 t₀ (na 0 mnd)	M0	(1,52)	(1,36)	(1,60)	(1,58)	(1,65)	-	-	1,54	1,96
	M1	(1,25)	(1,58)	(1,62)	(1,57)	(1,55)	-	-	1,51	1,94
	M2	(1,43)	(1,56)	(1,58)	(1,52)	(1,57)	-	-	1,53	1,95
	M3	(1,60)	(1,51)	(1,50)	(1,46)	(1,66)	-	-	1,55	1,96
	M4	(1,68)	(1,59)	(1,62)	(1,57)	(1,54)	-	-	1,60	1,99
	Gemiddeld	(1,55)	(1,51)	(1,53)	(1,55)	(1,60)	-	-	1,55	1,96
Dec 2000 t₁ (na 4 mnd)	M0	0,79	0,65	nvt					0,75	1,48
	M1	0,93	0,48	nvt					0,83	1,52
	M2	geen stort	geen stort	nvt					geen stort	geen stort
	M3	0,80	1,11	nvt					0,90	1,57
	M4	0,75	1,58	nvt					1,16	1,73
	Gemiddeld	1,00	0,95	nvt					0,91	1,57
Nov 2001 t₂ (na 15 mnd)	M0	1,02	1,27	0,87	0,73	0,81	1,22	1,41	1,03	1,65
	M1	0,85	1,05	1,51	1,24	0,88	1,14	nvt	1,11	1,69
	M2	0,95	(1,51)	(1,37)	(1,59)	(1,56)	(1,56)	nvt	0,95	1,60
	M3	1,37	0,85	1,46	1,28	1,43	1,17	1,24	1,32	1,82
	M4	1,70	1,15	1,44	1,64	1,70	1,12	0,56	1,35	1,84
	Gemiddeld	1,18	1,17	1,33	1,30	1,28	1,24	1,07	1,15	1,72
Feb 2002 t₃ (na 18 mnd)	M0	0,81	0,84	1,04	1,54	1,54	1,67	-	1,20	1,75
	M1	0,74	0,71	0,86	1,23	1,32	1,30	1,20	1,07	1,67
	M2	1,14	1,09	1,02	nvt	nvt	nvt	nvt	1,10	1,69
	M3	0,76	1,09	1,52	1,11	0,78	0,80	1,25	1,08	1,68
	M4	1,32	1,46	1,54	1,32	1,67	1,46	1,54	1,47	1,91
	Gemiddeld	0,95	1,04	1,20	1,30	1,33	1,31	1,33	1,18	1,74

De haakjes () bij augustus 2000 (t₀) en bij M2 in november 2001 (t₂) betekenen dat de droge dichtheid van de oorspronkelijke zeebodem is bepaald

m:\sandeh\werkdocumenten\dichtheid-diepte.xls # dhVL

Figuur 4-7 Droge dichtheid per dieptesectie in de kuil



De droge dichtheid (in TDS.m⁻³) voor de 5 monsterlocaties van de eerste kuil in februari 2002 (t₃) (Grafische weergave van een deel van Tabel 4-3).
(M:\Sandeh\werkdokumenten\dichtheid-diepte\diepte.xls#blad 1 [M27])

5 Wegstroompercentage Verdiepte Loswal

Om het wegstroompercentage van de Verdiepte Loswal te bepalen, moeten de hoeveelheden gestorte baggerspecie, het volume van de stortlaag in de kuil, de dichtheid ervan, en daarmee de achtergebleven hoeveelheid baggerspecie op de zeebodem, bekend zijn.

5.1 Hoeveelheid gestorte baggerspecie

De hoeveelheid gestorte baggerspecie is bekend uit de baggeradministratie. De stortgegevens uit de haven en van de vaargeul zijn op weekbasis verzameld van augustus 2000 t/m juli 2002.

De hoeveelheid baggerspecie uit de **haven** van Rotterdam is opgegeven in kubieke meters. Met de omrekenfactor (droge dichtheid) $0,4 \text{ TDS} \cdot \text{m}^{-3}$ is het volume omgerekend naar droge massa (tonnen droge stof = TDS).

Bij deze massa uit de haven is de gebaggerde hoeveelheid uit de **vaargeul**, die opgegeven is in TDS, opgeteld. De gesommeerde hoeveelheden worden getoond in Figuur 5-1, grafiek A. In de onderzoeksperiode van 15 augustus 2000 tot 12 juli 2002 is er 7,01 miljoen TDS baggerspecie gestort.

Volgens de overeenkomst (stuurgroep *Baggerdriehoek*) mag er 4,8 MTDS baggerspecie worden gestort. Er is dus 146 % van de toegestane hoeveelheid gestort.

Het storten van baggerspecie in de eerste kuil van de Verdiepte Loswal zal, volgens de overeenkomst binnen de stuurgroep *Baggerdriehoek* (in maart 2002), gestaakt worden zodra 4,8 miljoen ton droge stof (TDS) is gestort. Deze hoeveelheid is berekend door te veronderstellen dat het volume van de eerste kuil van de Verdiepte Loswal, 5 miljoen m^3 , geheel gevuld wordt met baggerspecie met een veronderstelde natte dichtheid van $1,6 \text{ ton} \cdot \text{m}^{-3}$. Deze natte dichtheid komt overeen met een referentie droge dichtheid van $0,954 \text{ ton} \cdot \text{m}^{-3}$. In deze redenering is de kuil vol als er:

$5 \text{ miljoen } \text{m}^3 * 0,954 \text{ ton} \cdot \text{m}^{-3} = 4,77 \text{ miljoen TDS}$

is gestort.

De resultaten van dit onderzoek laten zien dat de referentie natte dichtheid hoger is, nl. $1,74 \text{ ton} \cdot \text{m}^{-3}$ (Tabel 4-3) dan is aangenomen door de stuurgroep.

5.2 Lodingen en dichtheid

Het volume van de baggerspecie in de kuil is bepaald met behulp van **lodingen**. De procedure is als volgt geweest.

In de eerste plaats is het volume van de lege kuil bepaald vlak voordat de eerste storting van baggerspecie plaatsvond. Dit is de nul-loding van eind juli 2000. Vervolgens is meerdere malen per jaar het volume van de zich vullende kuil bepaald. Tussen augustus 2000 en augustus 2002 zijn 12 lodingen uitgevoerd (zie bijlage 3).

Het verschil in volume tussen de nul-loding en de partieel gevulde kuil geeft tijdens een vervolgloding de mate van vulling aan.

Daarnaast zijn ook twee referentievakken gelood. Het betreft de referentievakken 'oost' en 'west'. Deze referentievakken zijn gebruikt voor correcties. Er is verondersteld dat dezelfde hoogteveranderingen die in de loop van de tijd in de referentievakken plaatsvonden, ook in de kuil plaatsvonden. Op deze wijze is gecorrigeerd voor lokale gebiedsveranderingen en fouten in het reductievlak bij lodingen. Daarnaast wordt met deze rekenmethodiek ook bereikt dat gecorrigeerd wordt voor systematische lodingsfouten. Hierdoor blijft de standaardfout van de lodingen beperkt tot 0,12 m (Duin, 2001-b).

De gegevens uit de twaalf lodingen zijn omgerekend naar het **volume** van de eerste kuil op het moment van de loding. Deze omrekening, de kubering, is uitgevoerd op basis van een 5 x 5 m² grid met behulp van de *Spiral Search* methode. Dit is een methode waarbij de vele afzonderlijke dieptepeilingen in een grid van 5 bij 5 m worden omgerekend naar één waarde voor de diepte (Stutterheim, 2002-b). Op de rekentechniek wordt hier niet verder ingegaan.

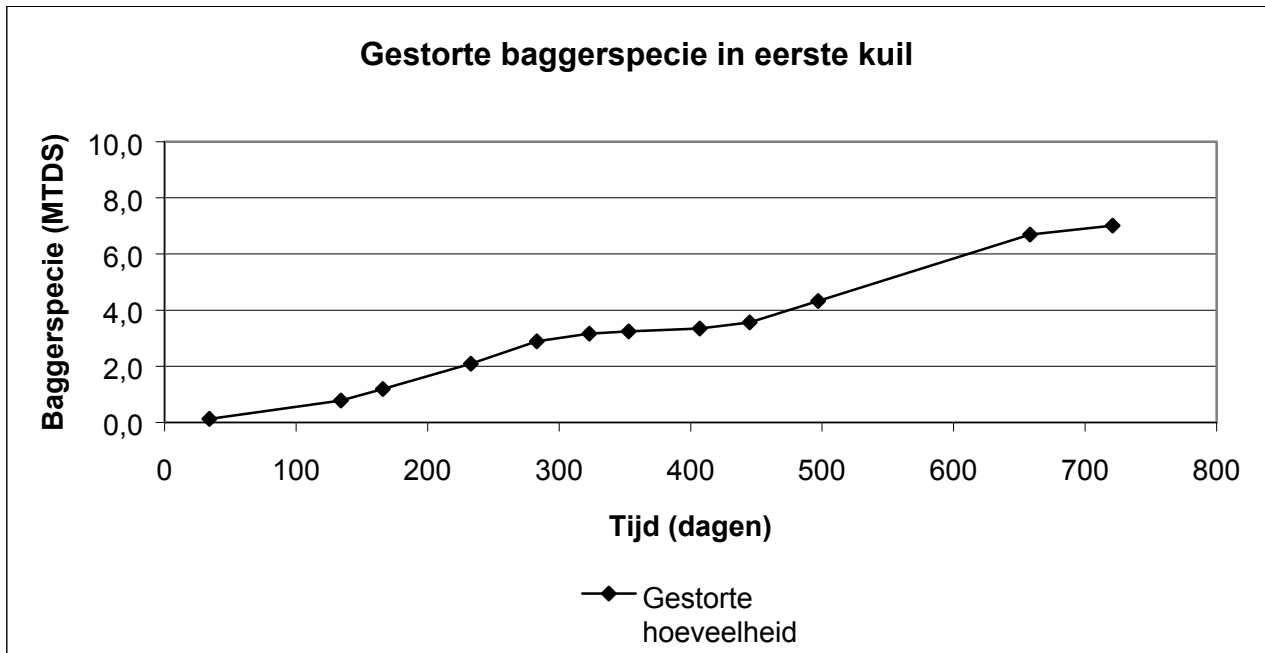
Vervolgens is de **dichtheid** van de gestorte baggerspecie in de kuil bepaald. De gemeten waarden van de droge dichtheid staan in § 4.5 in Tabel 4-3. Met behulp van de gemiddelde droge dichtheid is de massa baggerspecie op de bodem bepaald. De formule is als volgt:

$$\text{Massa achtergebleven baggerspecie op de zeebodem (TDS)} = \text{Volume baggerspecie op de bodem (m}^3\text{)} * \text{droge dichtheid (TDS.m}^{-3}\text{)}$$

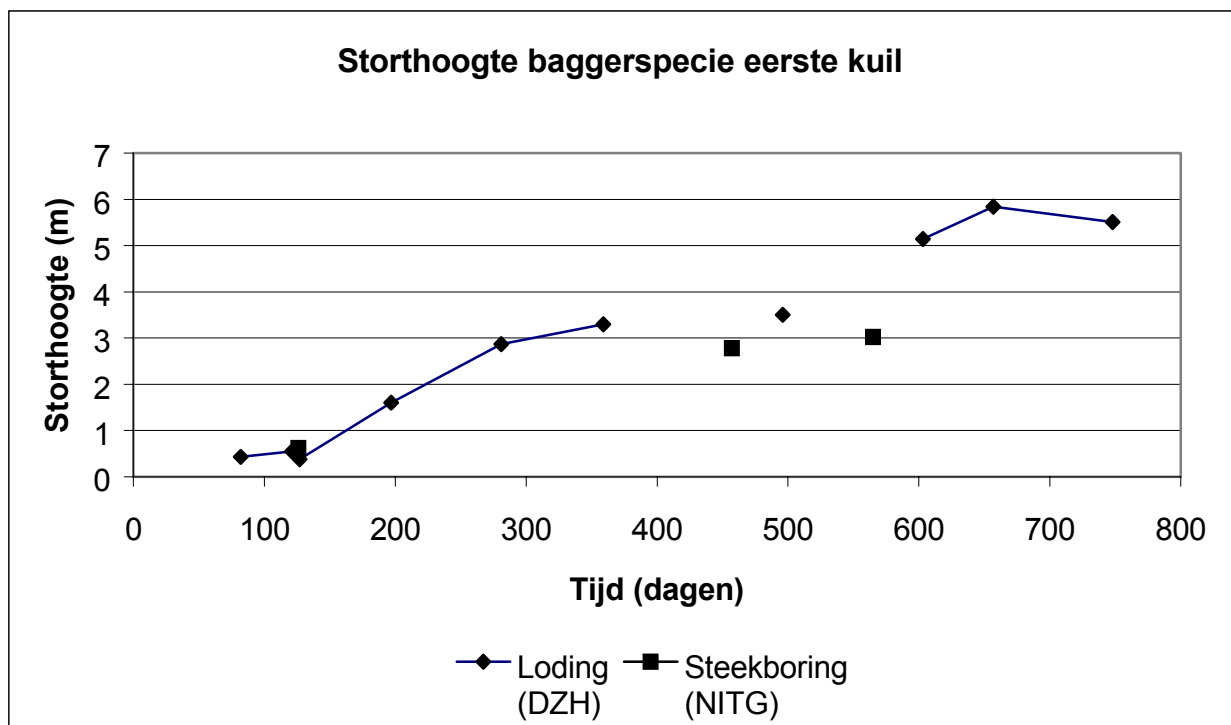
De **hoeveelheid baggerspecie** in de hele kuil is als volgt bepaald. De kuil is op grond van de hoogteverschillen in vier compartimenten verdeeld. Voor elk van deze compartimenten is het volume en de dichtheid bepaald, zodat de massa berekend kan worden. De som van deze massa's geeft de hoeveelheid baggerspecie in de eerste kuil. Door de hoogteverschillen in de kuil is het stortpatroon onregelmatig en daardoor de vulling met de baggerspecie. Indien het inklinken van de baggerspecie afhankelijk is van de tijd dat de baggerspecie op de zeebodem ligt en van de dikte van de stortlaag, dan zal de dichtheid van de baggerspecie niet constant zijn over de kuil.

Figuur 5-1 **Hoeveelheid baggerspecie en vullingsgraad eerste kuil**

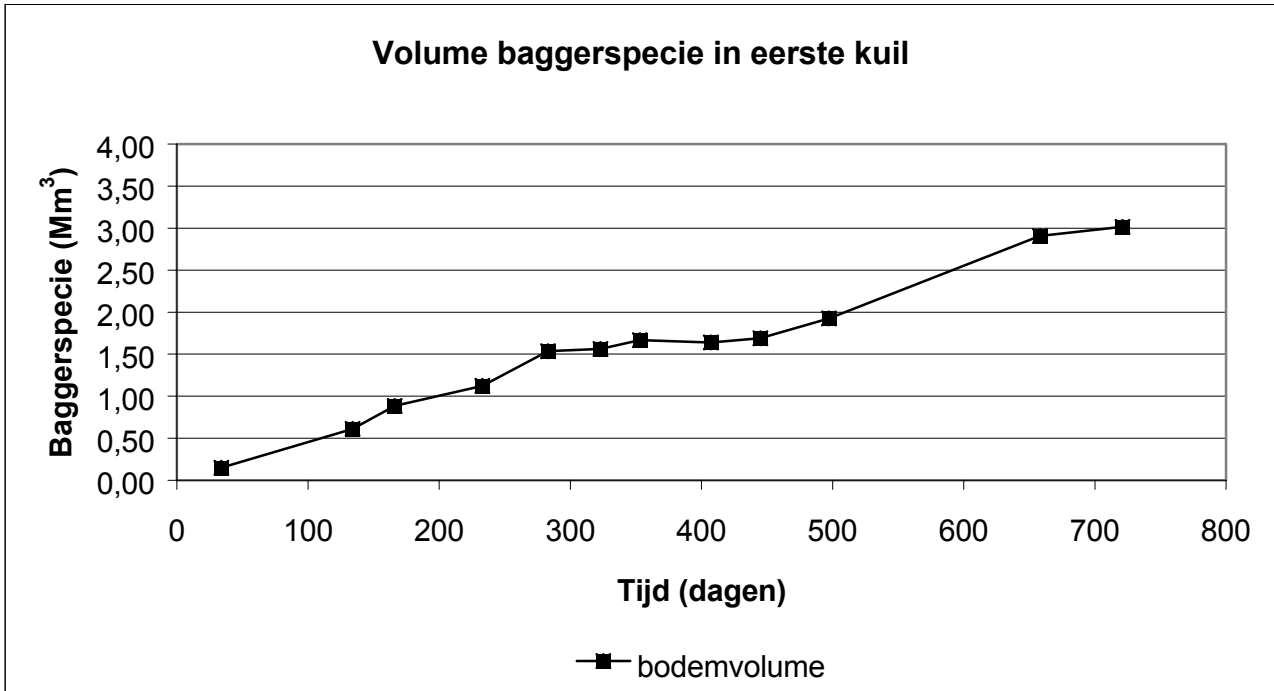
A



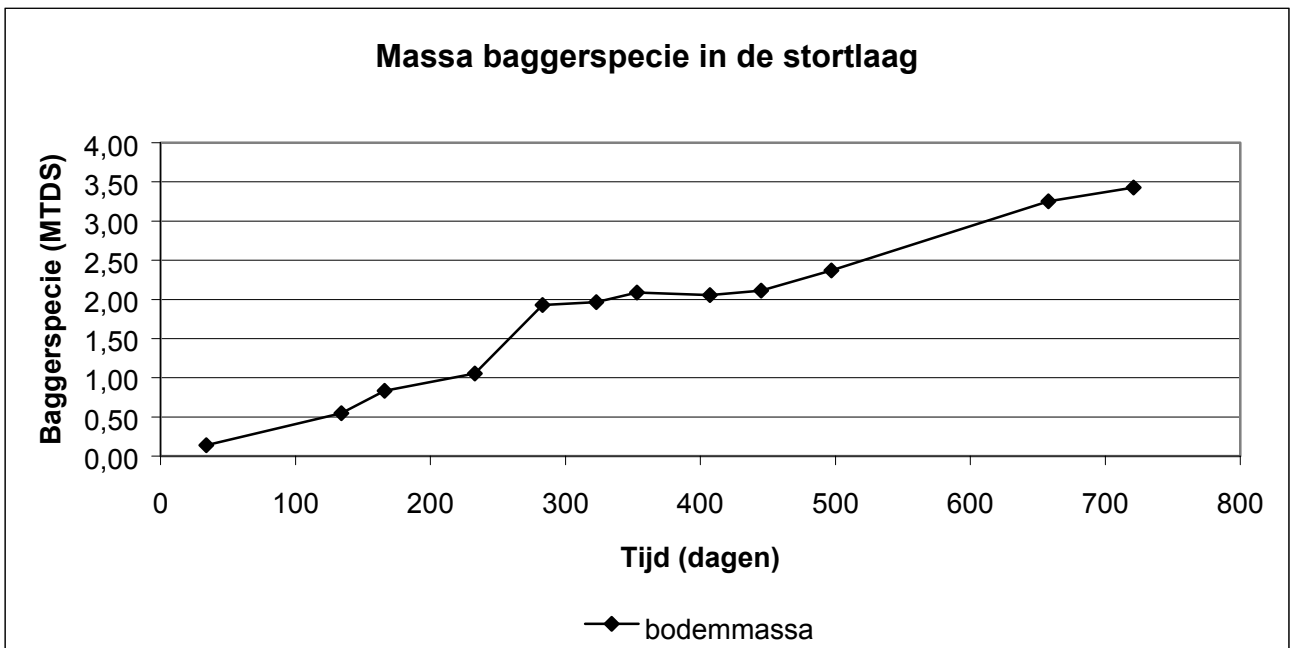
B



C



D



In de eerste kuil van de Verdiepte Loswal:

- A De hoeveelheid baggerspecie (TDS) die in de eerste kuil is gestort.
- B De hoogte (m) van de laag gestorte baggerspecie, de stortlaag.
- C Het volume (m³) van de stortlaag baggerspecie.
- D De massa baggerspecie van de stortlaag (miljoen ton droge stof, MTDS)

Sd02008

(bron: M:\Groos\mal\verdiepte\VL-eind-lod-slib.xls[graf z+s] #A1 # A703 # A271 #A649)

5.3 Vullingsgraad van de kuil

De mate waarin de eerste kuil van de Verdiepte Loswal is gevuld, de zg. vullingsgraad, is vastgesteld. Het betreft:

- hoogte van de laag gestorte baggerspecie, de stortlaag (Figuur 5-1, B)
- volume van de stortlaag (Figuur 5-1, C)
- massa van de stortlaag (Figuur 5-1, D)

De resultaten staan in Figuur 5-1, grafiek B, C en D. Het betreft steeds slib_{<63 µm} plus zand.

De kuil was bij aanleg gemiddeld 8,39 m diep. De gemiddelde dikte van de stortlaag bedroeg 5,51 m (zie Tabel 5-1) tijdens de loding van juli 2002, toen 7,01 miljoen TDS baggerspecie was gestort.

Het totale beschikbare volume van de eerste kuil bedroeg in juli 2000, vlak voor het vullen, $4,79 \cdot 10^6$ m³. Het volume van de stortlaag met baggerspecie bedroeg tijdens de loding van juli 2002 $3,01 \cdot 10^6$ m³. Hiermee is de kuil voor 62,3 % gevuld (zie Tabel 5-1).

Niet alle gestorte baggerspecie is in de kuil terechtgekomen of is er blijven liggen. Van de baggerspecie die van augustus 2000 tot en met juli 2002 is gestort, nl. $7,01 \cdot 10^6$ TDS, is $3,43 \cdot 10^6$ TDS op de bodem van de kuil teruggevonden (zie Tabel 5-1).

Tabel 5-1 Vulling van de kuil

		Lege kuil augustus 2000	Stortlaag juli 2002	Verandering
Volume	m ³	$4,79 \cdot 10^6$	$3,01 \cdot 10^6$	62,3 % gevuld
Hoogte	m	8,39	5,51	nog 1,88 m ruimte *)
Gestorte baggerspecie	TDS	-	$7,01 \cdot 10^6$	
Baggerspecie achtergebleven in de kuil	TDS	-	$3,43 \cdot 10^6$	51,1 % stroomt weg

Het oppervlak van de kuil is 570.654 m²

*) Er wordt volgens de overeenkomst gestort tot één meter onder de rand

5.4 Wegstroompercentage van baggerspecie op grond van lodingen

Een belangrijke parameter bij dit onderzoek is het wegstroompercentage. Het wegstroompercentage is het percentage van de gestorte baggerspecie dat niet in de Verdiepte Loswal terecht is gekomen, maar is teruggestroomd naar haven en vaargeul of is weggestroomd naar het noorden, richting Waddenzee. Met de formule voor het wegstroompercentage uit § 3.2, onder 'Massabalans'. is het wegstroompercentage berekend: 51,1 %. Hieronder staan de details.

Resultaten wegstroompercentage

Met behulp van de rekenwijze, die in § 5.2 is beschreven, is de resterende massa baggerspecie in de eerste kuil berekend (Figuur 5-1-D). Uit de baggeradministratie is de hoeveelheid gestorte baggerspecie bekend, zowel in TDS als in kuubs, die naar TDS zijn omgerekend, zie Figuur 5-1 A. Op grond van deze gegevens is het wegstroompercentage over de gehele onderzoeksperiode berekend.

In Figuur 5-2 staat het wegstroompercentage voor slib_{< 63µm} + zand weergegeven. Het wegstroompercentage is steeds berekend door de partieel gevulde kuil tijdens een van de lodingen te relateren aan het volume van de lege kuil op tijdstip t_0 , in augustus 2000.

De hoeveelheid gestorte baggerspecie en de restmassa op de zeebodem staan, voor elke periode, weergegeven als staafdiagrammen.

In de drie linker groene staafdiagrammen staat de gestorte massa. In de drie rechter blauwe staafdiagrammen staat de restmassa op de zeebodem. Van elk drietal staafdiagrammen geeft het linker het minimum, het middelste het gemiddelde en het rechter het maximum.

De doorgetrokken lijn toont het gemiddelde wegstroompercentage, de stippellijnen er boven en onder geven het minimum en het maximum, berekend volgens de standaardfout.

De eerste loding vond een maand na het begin van het storten plaats. Op dit moment is de dikte van de stortlaag nog zo gering (22 cm) dat de lodingsfout (12 cm) relatief groot is. Hierdoor is de fout in de bepalingen zo groot dat geen wegstroompercentage valt vast te stellen. Getalsmatig is het wegstroompercentage in de eerste periode is negatief (- 13 %) en de standaardfout bedraagt 48,5 %, wat een uitkomst is die in fysisch opzicht onwaarschijnlijk is.

Bij de tweede loding, na 4,5 maanden is het wegstroompercentage 30 % en varieert tussen 20 % en 39 %.

Bij de 11^e loding in juli 2002, 2 jaar na aanvang van het storten, is het wegstroompercentage opgelopen tot 51,1 %, met een standaard fout van 3,4 %. Het wegstroompercentage zit, statistisch gezien, tussen de 47,7 en 54,5 %. Deze loding is de laatste waar op dit moment, oktober 2002, gegevens over zijn.

In de grafiek van het wegstroompercentage in Figuur 5-2 valt af te lezen dat het wegstroompercentage vanaf de 2^e t/m de 12^e loding geleidelijk stijgt van 29,5 tot 51,1 %. Het maximale retourpercentage is bereikt in maart 2002, nl. 51,4 %. De stijging bedraagt over de hele periode 21,6 procentpunt. Wellicht kan deze toename in het wegstroompercentage verklaard worden uit de toename van de dikte van de stortlaag. Bij aanvang van het storten ligt de bovenkant van de stortlaag 8,39 m onder de top van de kuil, na de 12^e loding is dit afgenomen tot 2,88 m (= 8,39 - 5,51). De invloed van golven en stromen op de stortlaag wordt dan groter.

Het wegstroompercentage van baggerspecie vanaf de Verdiepte Loswal (51,1 %) is ongeveer even groot als dat vanaf Loswal Noordwest (50,4 %) (Stutterheim, 2002-b).

Er is echter tijdens één loding (maart 2001) één wegstroompercentage (49,7 %) berekend dat bijna even groot als het laatst gemeten wegstroompercentages van juli 2002 (51,1 %) en buiten de kromme van de gestaag stijgende wegstroompercentages ligt (zie Figuur 5-2). Voor deze relatief hoge waarde is geen verklaring.

Er kan berekend worden wat de theoretische bergingscapaciteit van de kuil kan zijn. Er wordt hierbij uitgegaan van het gemeten oppervlak van de kuil en van de gemiddelde diepte, en er wordt tot één meter onder de rand gestort.

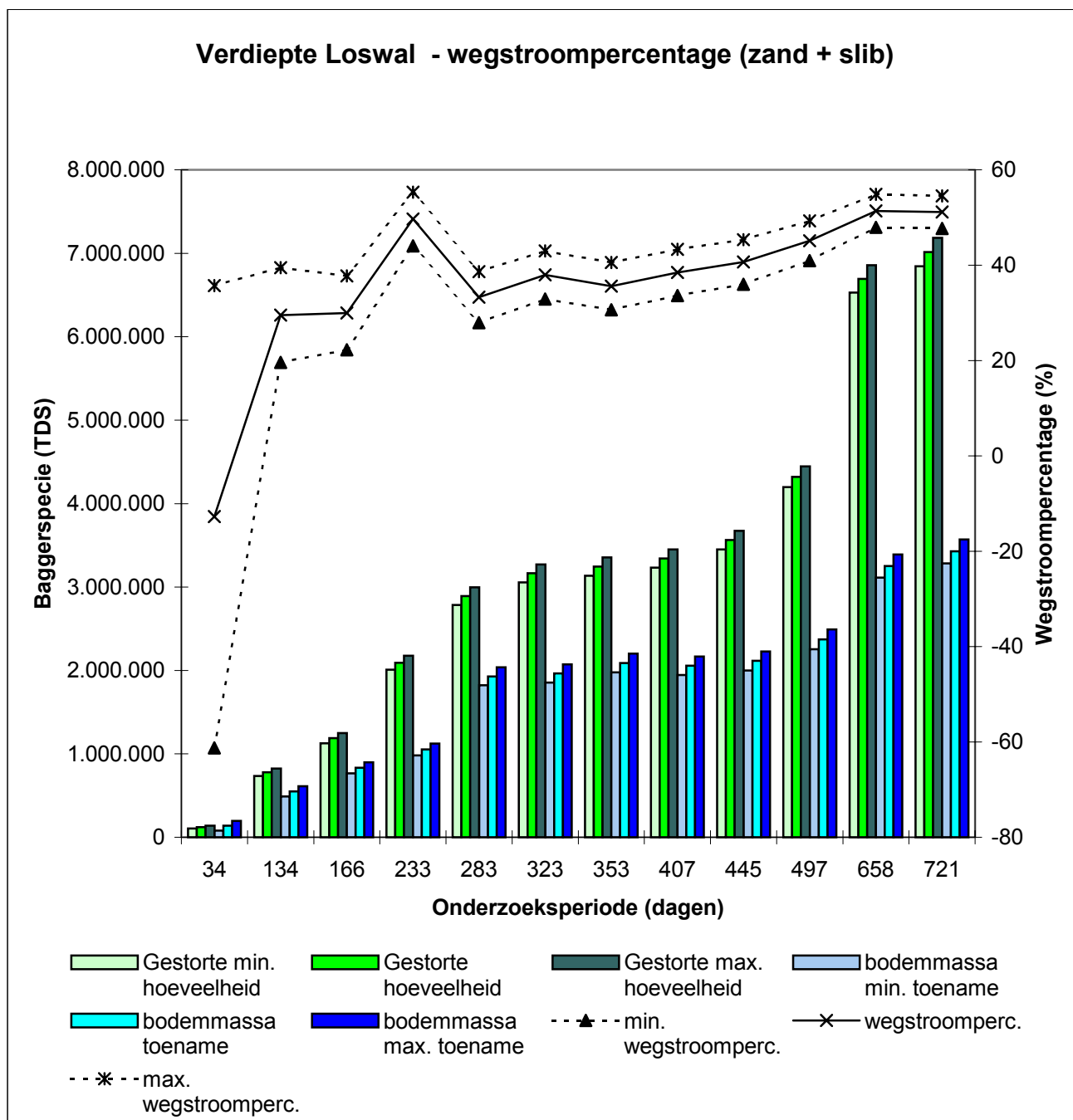
Oppervlak	570654 m ²
Diepte	8,39 m
Bruikbare diepte	7,39 m
→ Volume	4,22 10 ⁶ m ³
droge dichtheid	1,18 ton.m ⁻³
wegstroompercentage	51,1 %

De kuil is bij deze uitgangspunten maximaal benut als er 7,52 miljoen ton droge stof is gestort.

$$(4,22 \cdot 10^6 \text{ m}^3 * (1 + 0,511)) * 1,18 \text{ ton.m}^{-3} = 7,52 \cdot 10^6 \text{ TDS}$$

Dit zou een grotere capaciteit kunnen betekenen, nl. 2,72 miljoen TDS meer, dan waarvan de stuurgroep uitgaat, nl. 4,80 miljoen TDS (stuurgroepvergadering *Baggerdriehoek* maart 2002).

Figuur 5-2 Wegstroompercentage baggerspecie eerste kuil



Het wegstroompercentage en de gestorte en de teruggevonden baggerspecie. In de drie linker groene staafdiagrammen staat de gestorte massa. In de drie rechter blauwe staafdiagrammen staat de restmassa op de zeebodem, met, per drietal, links het minimum, in het midden het gemiddelde en rechts het maximum. De doorgetrokken lijn toont het gemiddelde wegstroompercentage, de stippellijnen er boven en onder geven het minimum en het maximum, berekend volgens de standaardfout.

(M:\Groos\mal\verdiepte\VL-eindlod-slib.xls [graf z+s #A803])

sd02009

5.5 Wegstroompercentage op grond van slibgehalte

Het is ook mogelijk om het wegstroompercentage te berekenen op grond van het slibgehalte. De baggerspecie die wordt gestort bevat 45,5 % slib_{<63µm} (§ 4.3) en het percentage slib_{<63µm} in de stortlaag bedraagt in februari 2002 30,5 %. Ervan uitgaande dat alleen slib_{<63µm} wegstroomt en het zand blijft liggen, bedraagt het wegstroompercentage **21,61 %**
[= (45,5 - 30,5) / (1 - 0,305)].

Dit resultaat wordt minder betrouwbaar geacht, zoals beschreven in Stutterheim, 2002-c.

5.6 Foutenschatting van het wegstroompercentage van baggerspecie

De uiteindelijke fout in het wegstroompercentage wordt veroorzaakt door de onderliggende fouten, zoals de foutenschatting in de beun, in de dieptebepaling, etc. Dit onderwerp staat beschreven in § 3.2 'Foutenschatting'. In onderstaande Tabel 5-2 staan de gebruikte foutenbronnen en de grootte ervan.

Tabel 5-2 Foutenbronnen wegstroompercentage

Relatieve fout beun Vaargeul	Relatieve fout beun Haven	Fout diepte-bepaling (loding)	Fout oppervlakte bepaling	Foutfactor m ³ → TDS	Fout droge dichtheids-bepaling
%	%	m	m ²	%	%
20	30	0,12	1000	15	6,8

De '**relatieve fout beun Vaargeul**' respectievelijk '**relatieve fout beun Haven**' slaan op de meetfout in de beun bij elke vaartocht. Aangezien in de hele vulperiode vele vaartochten zijn gemaakt, bedraagt de uiteindelijke fout van deze foutenbron hooguit enkele procenten, hoewel de fout per vaartocht 20 respectievelijk 30 % is.

De standaardfout van de **loding** bedraagt bij de hier gebruikte lodingstechniek en kuberingmethodiek 12 cm ("Berekening ruimtelijk fout lodingen *Verdiepte Loswal*", Duin, 2001-b).

De '**fout in de oppervlaktebepaling**' slaat op de meetfout van het oppervlak van de kuil.

De '**foutfactor m³ → TDS**' heeft betrekking op de fout waarbij het volume van de baggerspecie in de beun wordt omgerekend naar TDS.

De '**fout in de dichtheidsbepaling**' ten slotte is de fout die gemaakt wordt bij bepalen van de dichtheid volgens de methode van de diepe steekboringen. Hierbij wordt het gewicht van een exact bepaald volume uit een steekboring bepaald. De waarde van 6,8 % is berekend uit de droge dichtheidsmetingen in de lege kuil.

Alle details van de foutenschatting staan in Stutterheim, 2002-a.

Resultaten foutenschatting van het wegstroompercentage

De standaardfout van het wegstroompercentage bedraagt 9,9 % na 4,5 maanden storten. Deze standaardfout daalt tot 3,4 % na twee storten (Figuur 5-1 C). Dit komt doordat de lodingfout van 12 cm relatief steeds minder belangrijk wordt bij toenemende storthoogte. De standaardfout neemt over de hele onderzoeksperiode bezien, van augustus 2000 tot en met juli 2002, continu af.

5.7 Wegstroompercentage van slib_{< 63µm} op grond van lodingen

Het wegstroompercentage van slib_{< 63µm} is ook berekend, analoog aan de manier van baggerspecie (§ 5.4). Doordat het slibgehalte in baggerspecie in de beun bekend is, is berekend hoeveel slib_{< 63µm} in de onderzoeksperiode in de Verdiepte Loswal gestort is. Het slibgehalte bedroeg 45,5 %. Uit het slibgehalte in de stortlaag in de eerste kuil (30,5 %) is berekend hoeveel slib_{< 63µm} in de kuil aanwezig is.

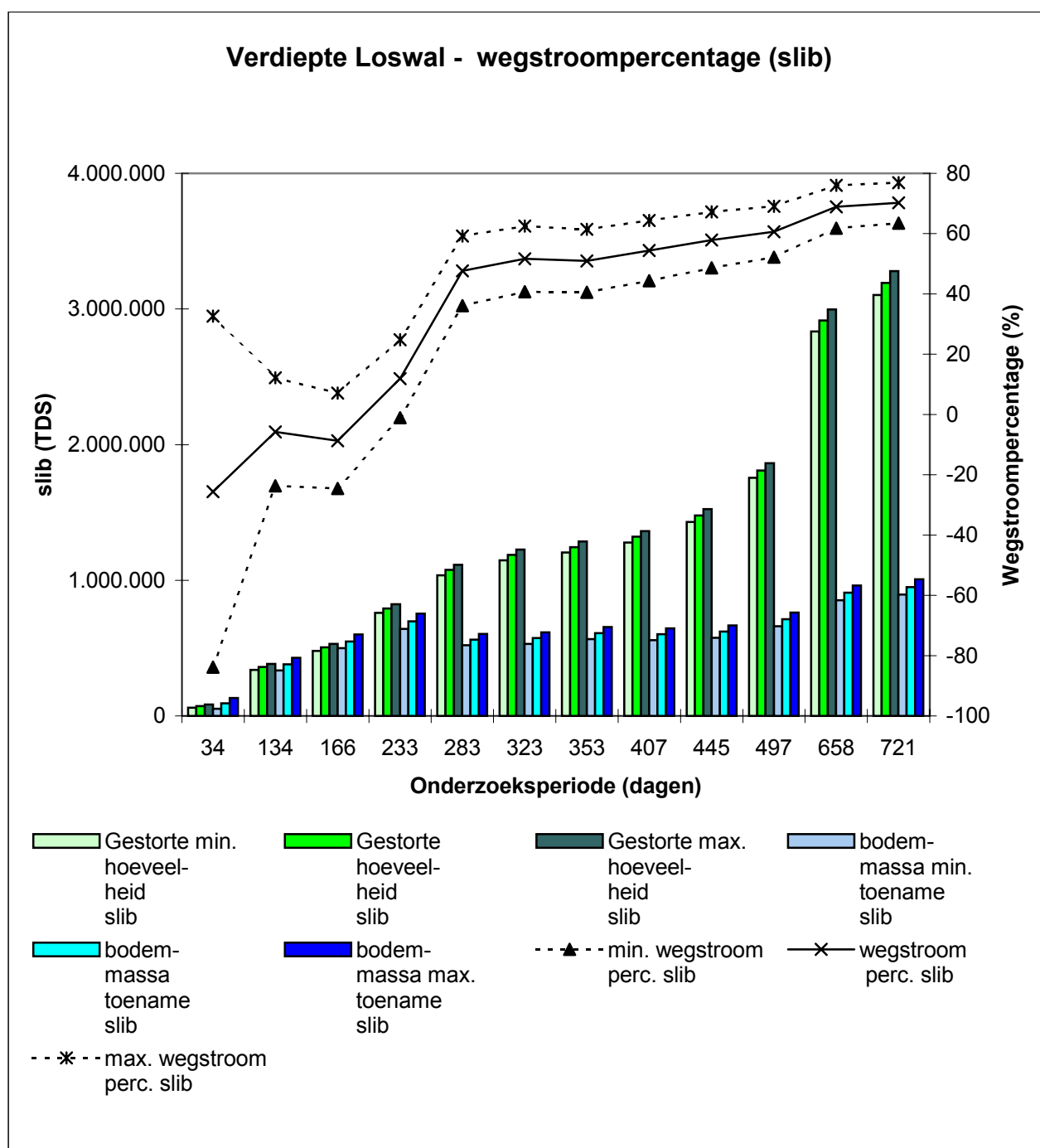
In Figuur 5-3 is het berekende wegstroompercentage van slib_{< 63µm} weergegeven.

Pas in maart 2001, 8 maanden na aanvang van het storten, wordt een positieve waarde voor het wegstroompercentage van slib_{< 63µm} gemeten (11,9 %), maar de ondergrens is dan nog negatief (-1,1 %). Het wegstroompercentage stijgt vervolgens continu tot 70,2 % in juli 2002, twee jaar na aanvang van het storten.

In deze periode daalde het absolute fout van 17,0 % tot 6,7 %. Dit betekent dat in juli 2002 het wegstroompercentage in de range 63,5 en 76,9 % ligt. Het wegstroompercentage stijgt de hele onderzoeksperiode, zodat het niet zeker is of in mei 2002 het maximale wegstroompercentage is bereikt.

Het wegstroompercentage van slib_{< 63µm} vanaf de Verdiepte Loswal (70,2 %) is ongeveer even groot als dat vanaf Loswal Noordwest (77,9 %) (Stutterheim, 2002-b)

Figuur 5-3 Wegstroompercentage slib_{<63µm} eerste kuil



Het wegstroompercentage en de gestorte en de teruggevonden slibmassa. In de drie linker groene staafdiagrammen staat de gestorte massa. In de drie rechter blauwe staafdiagrammen staat de restmassa op de zeebodem, met, per drietal, links het minimum, in het midden het gemiddelde en rechts het maximum. De doorgetrokken lijn toont het gemiddelde wegstroompercentage, de stippellijnen er boven en onder geven het minimum en het maximum, berekend volgens de standaardfout.

(M:\Groos\mal\verdiept\VL-eindlod-slib.xls [graf s #A1])

5.8 Stabiliteit van de rand van de kuil

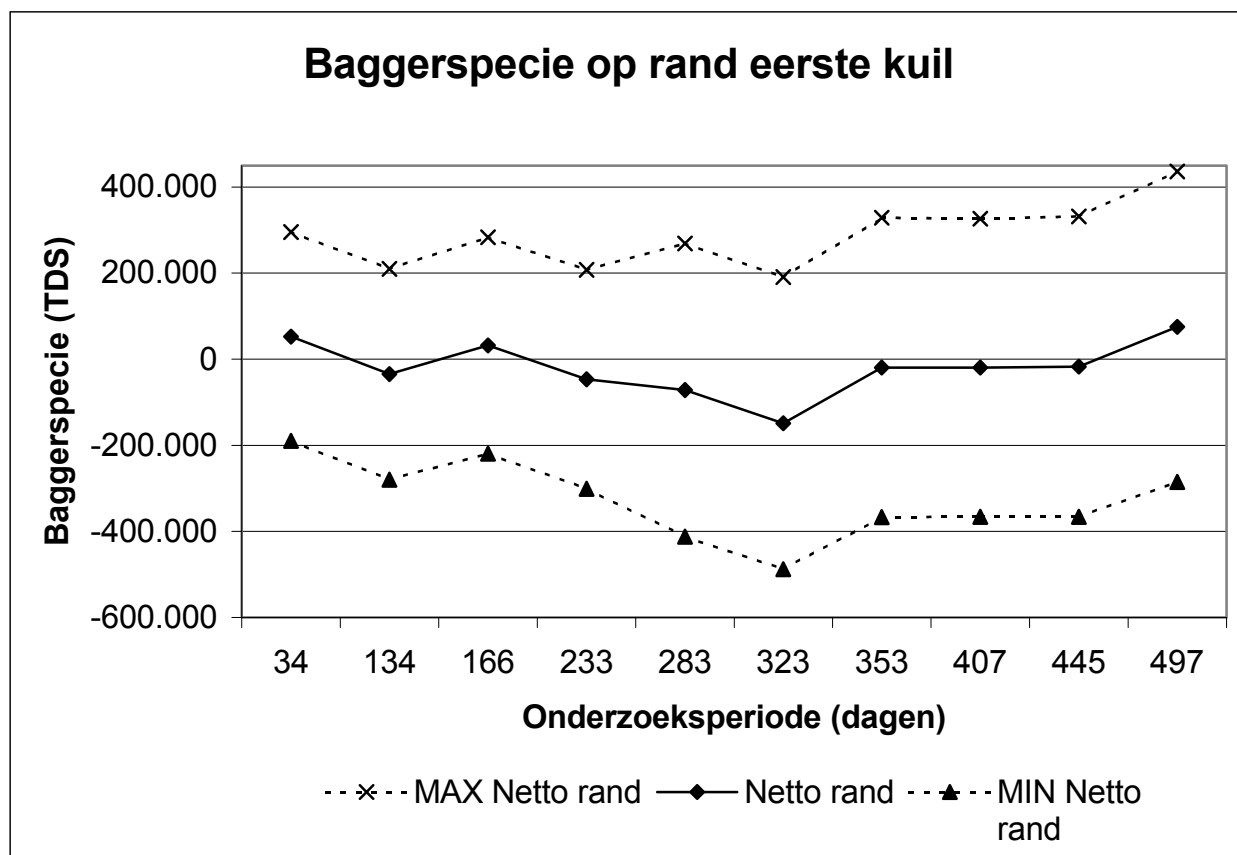
Er is ook gekeken naar de volumeveranderingen op de rand van de kuil. Als de rand niet stabiel is, zal het volume van de rand afnemen. Vindt er mors van baggerspecie plaats op de rand, dan zal het volume toenemen.

De lodingsresultaten van de rand van de kuil staan in Figuur 5-4. Deze rand is 100 m breed aan de lange kant van de kuil en 250 m breed aan de korte kant van de kuil en heeft een oppervlak van 213 % van dat van de kuil. De hoekpunten van de rand zijn A₃, B₃, C₃ en D₃ uit Figuur 4-2.

Uit de lodingsresultaten blijkt dat er een 75.000 TDS baggerspecie op de rand van de eerste kuil is bijgekomen in de periode augustus 2000 - december 2001. Deze hoeveelheid is gelijk aan 4,2 % van de gestorte hoeveelheid slib_{<63µm} in de kuil (1,86 MTDS slib_{<63µm} tot december 2001). De standaardfout bedraagt echter 360.000 TDS.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat de veranderingen aan de rand gering zijn: er is geen diepe trog of hoge dam ontstaan.

Figuur 5-4 Volumeveranderingen op de rand van de kuil



Volumeveranderingen van de rand van de kuil. De rondjes geven de volumeverandering en de vierkantjes tonen de standaardfout. Sd02010

(M:\Groos\mal\verdiept\VL-eindlod-slib.xls [graf. z+s #A758])

6 Retourpercentage Verdiepte Loswal

6.1 Opzet meting radiometrische kartering

Een belangrijke vraag van dit onderzoek is welk percentage van de gestorte baggerspecie weer terugstroomt naar het havengebied, het retourpercentage. Hiertoe is gekeken naar slijbsporen rondom de loswal op de zeebodem. Het idee achter deze aanpak is dat de slijbsporen rondom de loswal indicatief zijn voor het slijbtransport in de waterfase. Dezelfde opzet is gevolgd bij Loswal Noordwest (Stutterheim, 2002-b). Hierbij is verondersteld dat de relatieve hoeveelheid slijb_{<63µm} op de bodem in de richting van het havengebied, gelijk is aan het percentage van de weggestroomde hoeveelheid baggerspecie naar het havengebied. Voor deze veronderstelling bestaat enigszins een onderbouwing. Met behulp van radiometrische kartering is bepaald hoeveel slijb_{<63µm} waar op de zeebodem ligt. Bij de radiometrische kartering wordt de natuurlijke radioactiviteit van de zeebodemsedimenten gemeten, die een maat is voor het voorkomen van slijb_{<63µm} en andere bodemfracties. Er kunnen lagen van enkele millimeters dik worden gedetecteerd tot een maximum van 30 cm. Op twee tijdstippen is een kartering uitgevoerd, een vlak voor de Verdiepte Loswal in gebruik werd genomen en een ongeveer twee jaar later, nadat er 1½ jaar is gestort. Het verschil tussen deze twee opnames geeft de invloed van het storten van baggerspecie op de loswal aan. De details van deze onderzoekstechniek staan in Stutterheim, 2000-c.

6.2 Resultaten radiometrische kartering

Verspreidingspatroon

De radiometrische kartering is rondom de Verdiepte Loswal uitgevoerd. De vaarroute staat in Figuur 6-1. Zowel in januari 2000 als in februari 2002 is een opname gemaakt. Deze opnames laten, zoals reeds gesteld, het verspreidingspatroon van slijb_{<63µm} op de bodem zien (Koomans en Oosterhoff, 2002). Deze verspreidingspatronen staan weergegeven in Figuur 6-2 en Figuur 6-3.

Figuur 6-2 laat de slijbverspreiding op en rondom de Verdiepte Loswal zien in januari 2000 voor aanvang van het storten. De Verdiepte Loswal is niet te onderscheiden van de omringende zeebodem, waar een vlekkenpatroon van slijb_{<63µm} valt waar te nemen. Slijbpercentages variëren van 0 tot 60 %. In de figuur zijn de Verdiepte Loswal en Loswal Noord ingetekend.

In het gearceerde gebied in het zuidoosten liggen zware mineralen. Deze mineralen hebben dezelfde stralingskarakteristieken als slijb_{<63µm} zodat zij de slijbmeting verstoren. Deze mineralen zijn in afzonderlijke bodemonsters aangetoond.

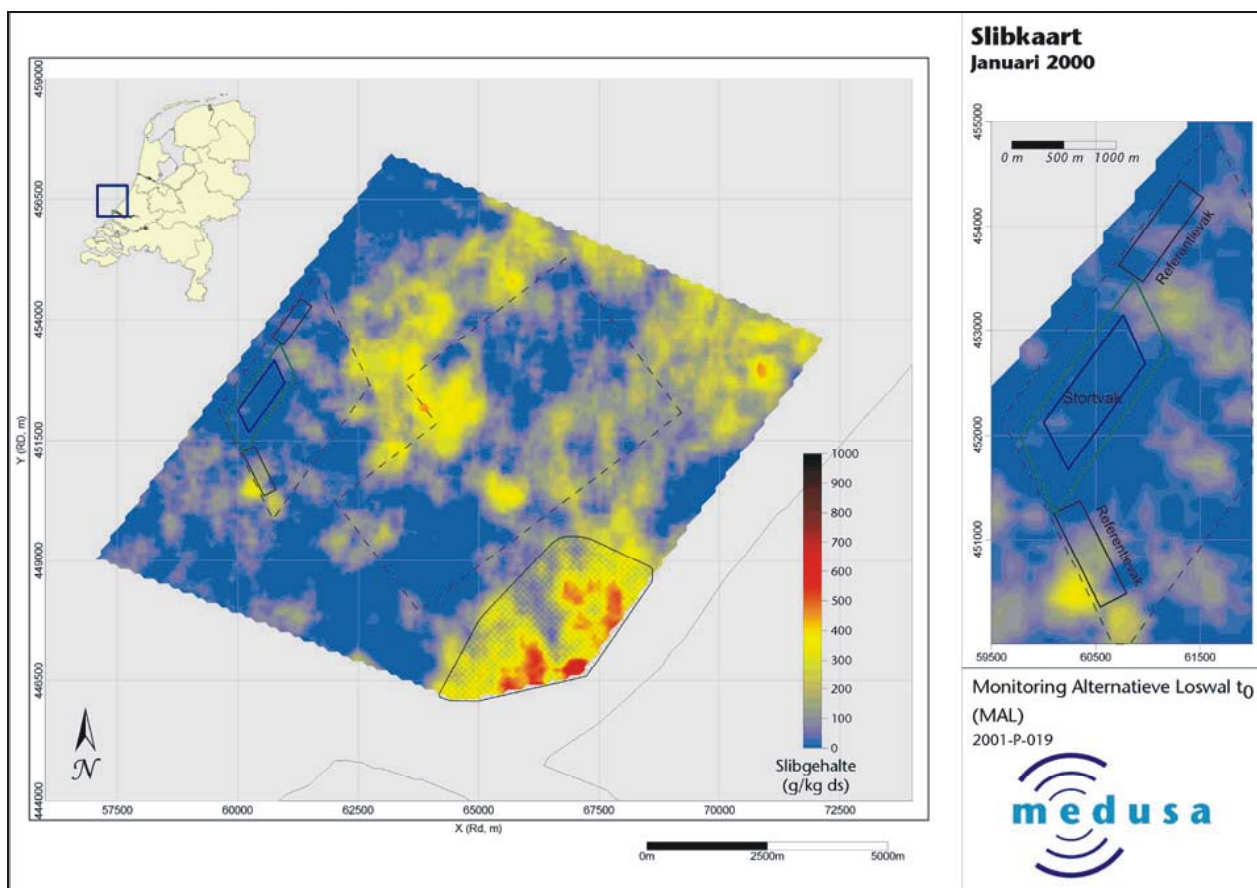
Figuur 6-1 De vaarroute van de radiometrische kartering



De vaarroute van de radiometrische kartering rondom de Verdiepte Loswal in februari 2002. De route in januari 2000 was grotendeels dezelfde.

sd02051

Figuur 6-2 Het verspreidingspatroon van slib_{<63µm} rondom de Verdiepte Loswal in januari 2000



Het verspreidingspatroon van slib_{<63µm} rondom de Verdiepte Loswal in januari 2000 gemeten met de radiometrische kartering.

sd02070

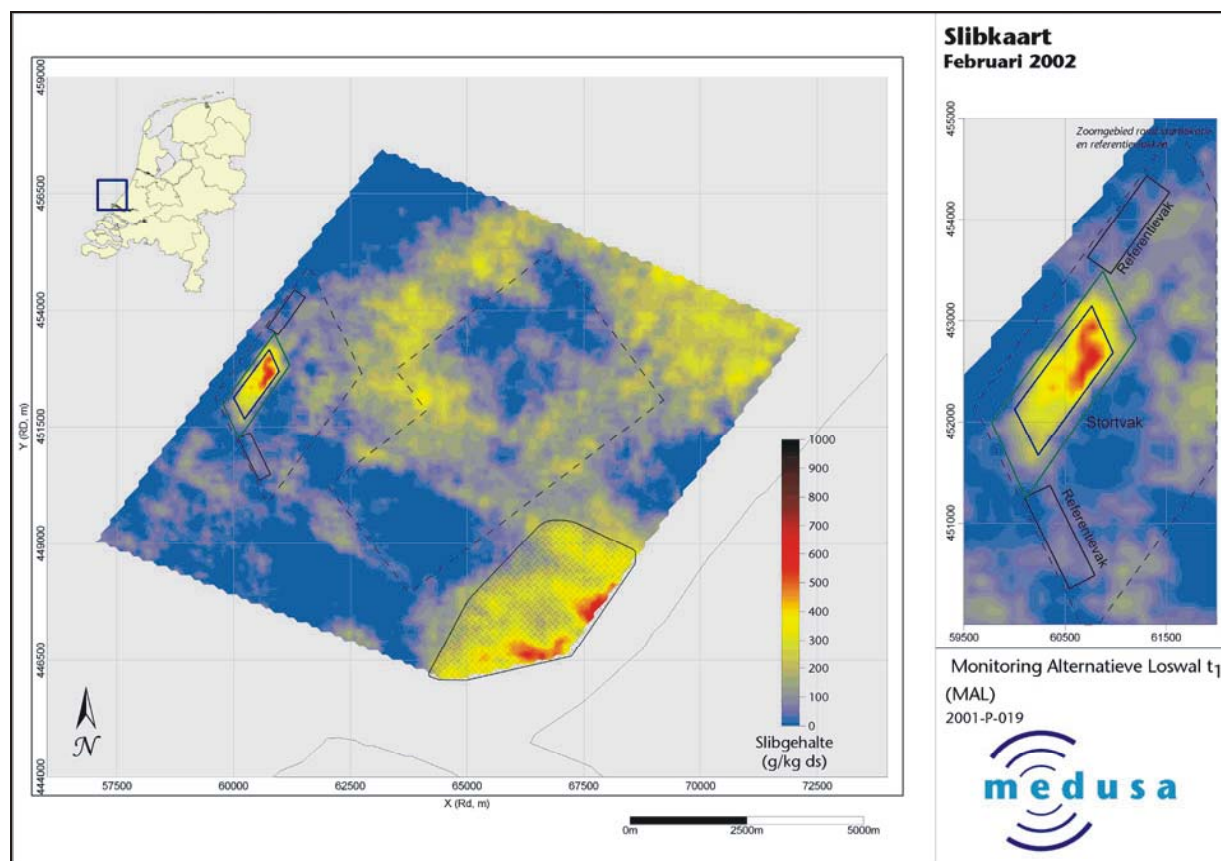
In Figuur 6-3 is de situatie na 2 jaar storten in februari 2002 weergegeven. De Verdiepte Loswal is nu duidelijk te zien aan de hel gele en rode vlekken. Het slijbpercentage ligt ruwweg tussen de 30 en 60 %.

In de volgende afbeelding, Figuur 6-4, is de invloed van het storten getoond door de verandering tussen de situatie in januari 2000 en februari 2002 te laten zien. Het betreft het verschil tussen Figuur 6-2 en Figuur 6-3. Het valt op dat alleen op de loswal zelf grote veranderingen zijn te zien. Hier liggen hoge slijbgehaltenes.

In de referentiegebieden ligt geen slib_{<63µm} zodat deze locaties terecht als referentiegebieden zijn gekozen.

Het slib_{<63µm} heeft zich tot een afstand van ongeveer 100 tot 250 m buiten de randen van de loswal verplaatst, zonder een duidelijke voorkeursrichting. Het geheel geeft het beeld van bord soep dat ruw gevuld is zodat om het bord heen soep op het tafelkleed ligt. Door het ontbreken van een voorkeursrichting kan er geen uitspraak worden gedaan over de richting waarheen de weggestroomde baggerspecie is gestroomd.

Figuur 6-3 Het verspreidingspatroon van slib_{<63µm} rondom de Verdiepte Loswal in februari 2002



Het verspreidingspatroon van slib_{<63µm} rondom Loswal Noordwest in januari 2002 gemeten met de radiometrische kartering.

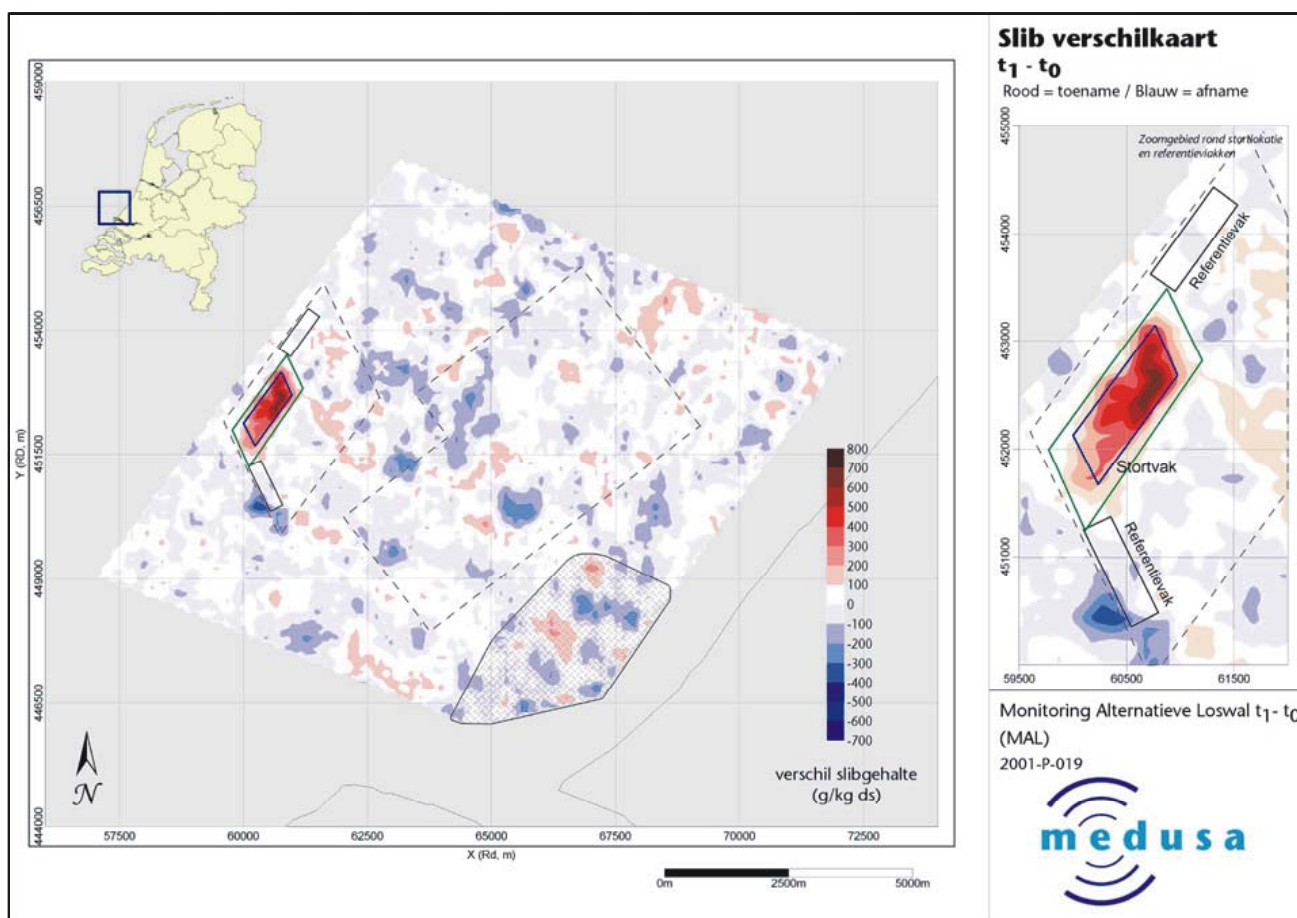
sd02071

6.3 Slibbalans en retourpercentage

Er is geprobeerd om het retourpercentage van baggerspecie vanaf de Verdiepte Loswal vast te stellen. Hiervoor moet ook de slibbalans rondom de Verdiepte Loswal bekend zijn, naast de lodingsgegevens. Hieronder wordt uiteengezet waarom het niet mogelijk was om het retourpercentage te bepalen.

Op grond van de gegevens uit de radiometrische kartering (zie Figuur 6-4) is berekend hoeveel slib_{<63µm} rondom de Verdiepte Loswal ligt. Op de rand ligt $0,046 \pm 0,006$ MTDS slib_{<63µm}. Dit is 0,001 % van de gestorte hoeveelheid slib_{<63µm} en 0,005 % van de resterende hoeveelheid slib_{<63µm} op de zeebodem. Ook is de slibhoeveelheid in 'vak c' en in 'vak d' bepaald. (zie Figuur 6-5). De grens tussen vak c en d is zodanig gekozen op grond van stromingsstudies dat verwacht mag worden dat materiaal dat vak c bereikt naar het noorden, dus richting Waddenzee, stroomt. Materiaal in vak d stroomt naar het zuiden, dus terug naar vaargeul en haven. De informatie over de hoeveelheid slib_{<63µm} in vak c en d is nodig om het retourpercentage te kunnen bepalen.

Figuur 6-4 De verandering in het slibpatroon Verdiepte Loswal



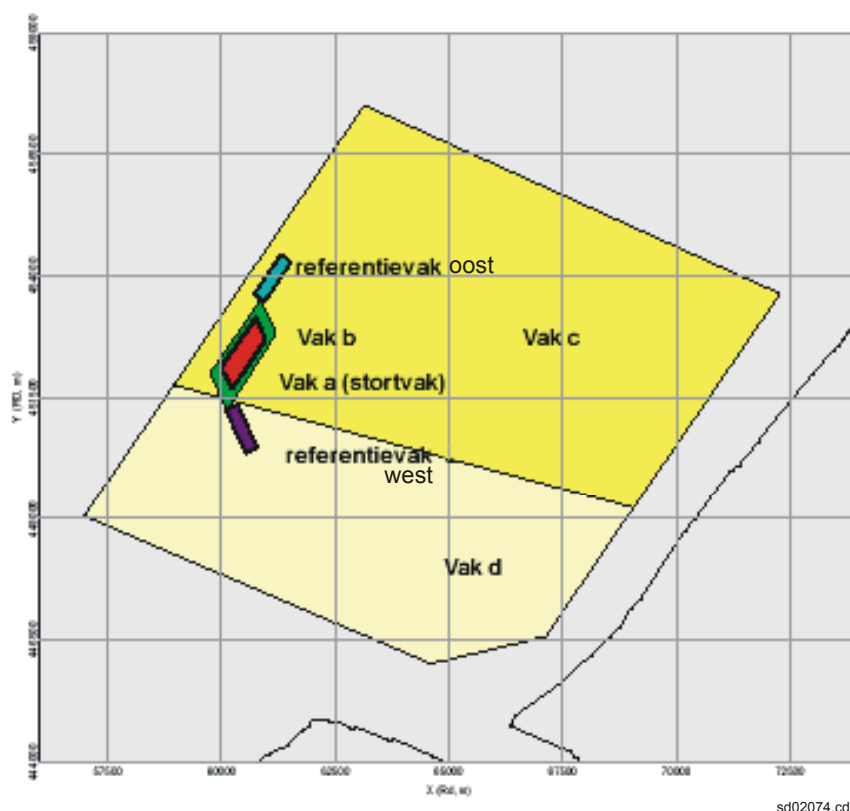
De verandering in het slibpatroon tussen januari 2000 en februari 2002 door het storten van baggerspecie.

sd02072

Echter, de hoeveelheid slib_{<63µm} in beide vakken is niet te bepalen. Dit komt enerzijds doordat de gevonden waarden negatief zijn, wat fysisch onmogelijk is en anderzijds is de fout in de bepaling 2 à 3 keer zo groot als de gemeten waarde.

Doordat zowel de preferentiële wegstroomrichting van slib_{<63µm} vanaf de loswal onbekend als de hoeveelheid slib_{<63µm} in vak c en d niet te bepalen valt, is het onmogelijk om het retourpercentage vast te stellen.

Figuur 6-5 Compartmentering in surveygebied



Het surveygebied voor de radiometrische kartering is onderverdeeld in compartimenten om de slibbalans op te stellen. De resultaten staan in Tabel 6-1.

Tabel 6-1 Kwantificering slibmassa op grond van radiometrische kartering

Compartiment		Massa slib<63 µm		Fout
		TDS	%	TDS
vak a	Eerste kuil	950.958	100	56.706
vak b	Rand	46	0,005	6
vak c	Richting Waddenzee	- 204	0,02	560
vak d	Richting vaargeul en haven (retour)	- 1.550	0,16	3.200
vak e	Referentievak oost	-6	0,000.6	3
vak f	Referentievak oost	3	0,000.2	3

De hoeveelheid slib_{<63 µm} rondom de Verdiepte Loswal is bepaald op grond van de radiometrische kartering. Het betreft de rand rondom de kuil, de beide referentievakken oost en west en het noordelijk en zuidelijk gebied.

6.4 Voorspellingen uit het Milieu-effectrapport

In het Milieu-effectrapport uit 1995 (Anonymous, 1995) is op grond van modelberekeningen voorspeld wat het wegstroom- en retourpercentage van de Verdiepte Loswal voor baggerspecie en slib_{<63µm} zou worden.

Het voorspelde wegstroompercentage voor baggerspecie en slib_{<63µm} is respectievelijk 8,4 en 20 %.

Het voorspelde retourpercentage voor baggerspecie en slib_{<63µm} is respectievelijk 2,9 en 7 %.

Een overzicht staat in Tabel 6-2.

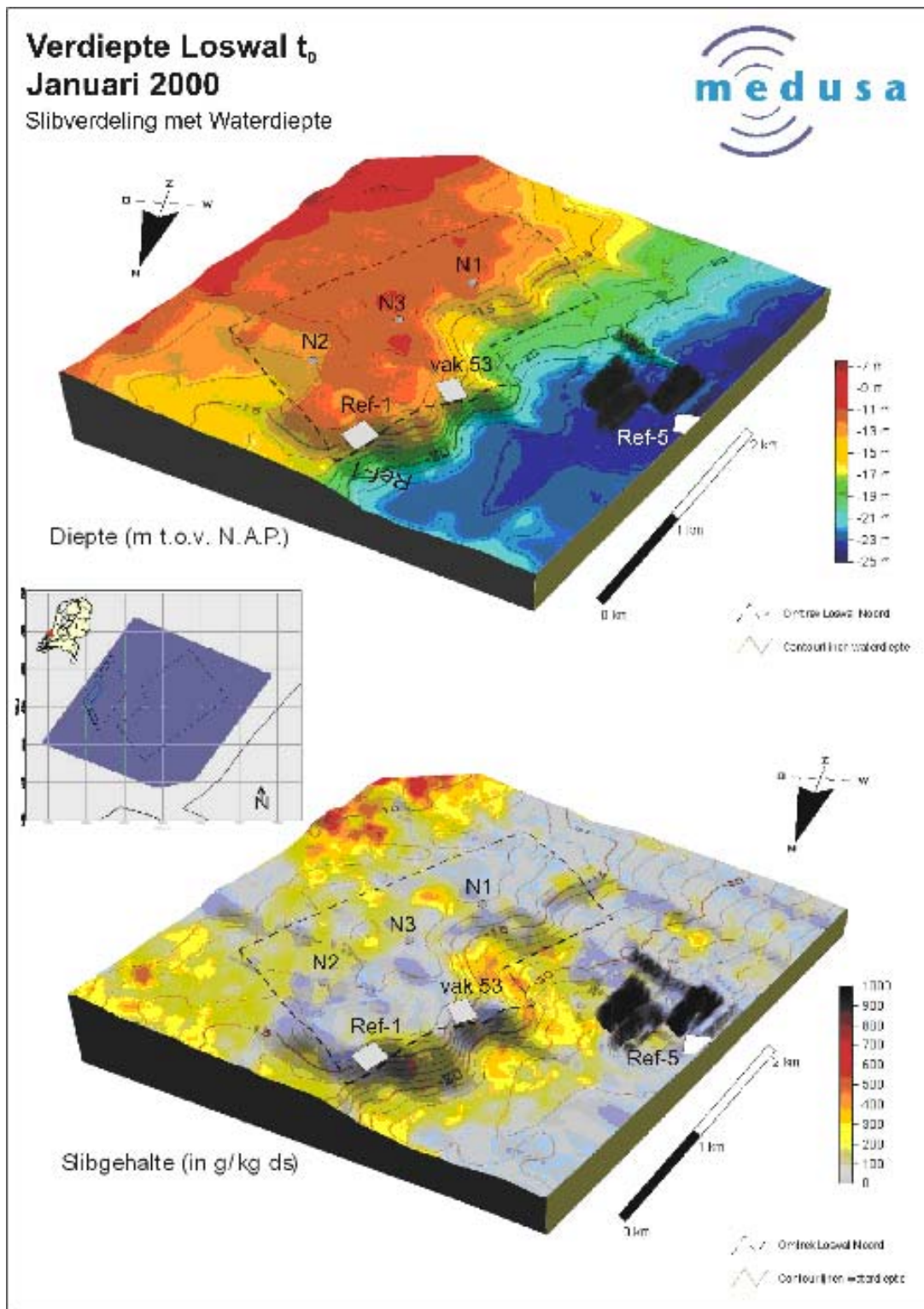
6.5 Overzicht wegstroom- en retourpercentages

In de onderstaande tabel staan de wegstroom- en retourpercentages van de verschillende loswallen uit diverse metingen en modelberekeningen samengevat. Voor de volledigheid zijn ook de resultaten weergegeven die niet in dit rapport zijn vermeld of besproken.

De resultaten zijn beschreven in de volgende rapporten:

- ❖ Retourpercentage van Loswal Noordwest (Stutterheim, 2002-b)
- ❖ Van Noord tot Noordwest (Stutterheim, 2002-c)

Figuur 6-6 Diepte en slibgehalte op Loswal Noord



Het slibgehalte, gemeten in februari 2002, 6 jaar na het staken van het storten van baggerspecie op Loswal Noord, is op een dieptekaart geprojecteerd. Let op noordrichting: PLAATJE STAAT OP ZIJN KOP!

sd02050

Tabel 6-2 Overzicht van de retour- en wegstroompercentages

Methode	Bron	Wegstroompercentage		Retourpercentage	
		baggerspecie (zand + slib _{< 63µm})	slib _{< 63µm}	baggerspecie (zand + slib _{< 63µm})	slib _{< 63µm}
Verdiepte Loswal					
<i>MODEL</i>					
(MER)-Model 1991 Gemiddelde omstandigheden	MER	8,4	20	2,9	7
<i>METING</i>					
Loding	5.4-6-7	51,1 ± 3,4	70,2 ± 6,7		
Slibgehalte	5.5	21,6			
Loswal Noord					
<i>MODEL</i>					
(MER)-Model 1991 Gemiddelde omstandigheden	MER	50 %	80 %	32 %	44 %
1999-MODEL					
Model 1999 Gemiddelde omstandigheden				44 ± 22 %	
Loswal Noordwest					
<i>MODEL</i>					
(MER)-Model 1991 Gemiddelde omstandigheden	MER	29 %	68 %	0 %	0 %
Model – 1999					
- Gemiddelde omstandigheden		24 à 48 %	42 à 84 %	16 ± 6 %	32,5 %
- Noordwesterstorm				28 %	59 %
- Zuidwesterstorm				0 %	0 %
- Storm + gemiddelde omstandigheden				13 ± 6,5 %	22 ± 11 %
Afname baggerinspanning					
- model 1991				32 - 0 = 32	
- model 1999				44 - 13 = 31	
<i>METING</i>					
Afname baggerinspanning					
- haven				55,4 %	
- vaargeul				38,2 %	
- totaal				42,3 %	
Slibgehalte					
- beun		24,5 %			
- bodem vaargeul		45,8 %			
Loding		50,4 ± 4,5 %	77,9 ± 3,2 %		
Loding + kartering				17,4 %	27,0 %

6.6 Loswal Noord

In het karteringsgebied valt ook de oude Loswal Noord. Omdat tijdens de kartering in februari 2002 ook de diepte gepeild is, is er een kaart gemaakt waar de diepte tegen het slibgehalte is uitgezet (Figuur 6-6).

In Figuur 6-6 is te zien dat de hoge delen nauwelijks slib_{<63µm} bevatten terwijl de lage delen slibrijk zijn. Waarschijnlijk is door inwerking van golven het slib_{<63µm} losgewoeld van de hoge delen. Dit slib_{<63µm} is of weggespoeld of in de lage delen terecht gekomen.

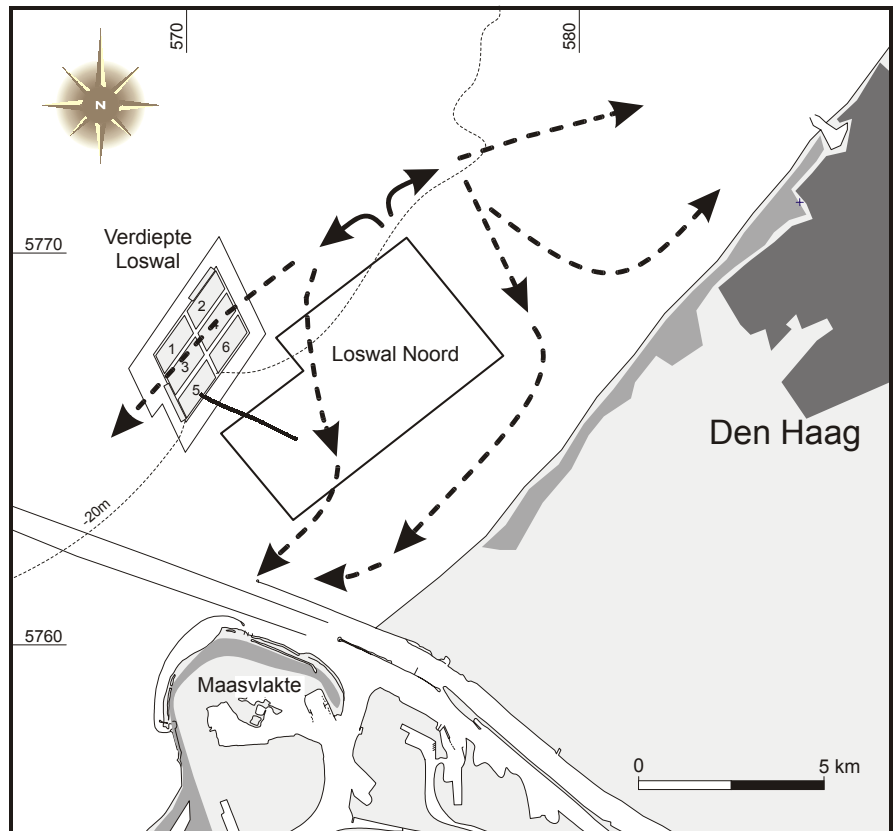
6.7 Discussie

Uit de resultaten van de baggeradministratie en lodingen is berekend dat 51,1 % van de baggerspecie wegstroomt van de Verdiepte Loswal en 70,2 % van het slib_{<63µm}. Uit de metingen blijkt dat dit materiaal geheel wegspoelt en niet voor een deel rondom de loswal ligt. Dit was wel het geval bij Loswal Noordwest. Door het ontbreken van een slibspoor op de bodem is er ook geen indicatie in welke richting het materiaal is weggestroomd.

Het is niet mogelijk om het retourpercentage te berekenen: er is geen preferentieel transportpad voor slib_{<63µm} op de zeebodem te zien en de slibmassa op de bodem rondom de loswal valt niet te kwantificeren.

Uit ander onderzoek blijkt dat de Verdiepte Loswal in een gebied ligt waar de transportpaden naar het zuiden gericht zijn (McLaren, 1989). Dit patroon is weergegeven in Figuur 6-7. In dezelfde studie (McLaren) is ook het slibpatroon getoond op en rondom Loswal Noord, zie Figuur 6-8. Dit patroon komt redelijk overeen met de slibpatronen uit deze studie uit de radiometrische kartering (Figuur 6-3).

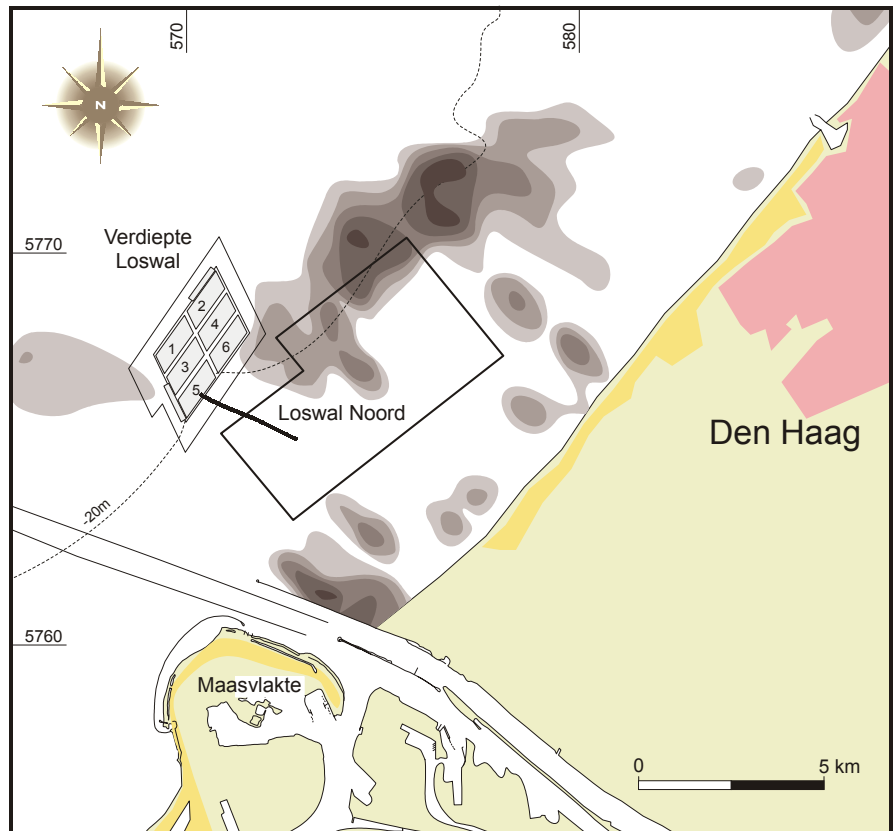
Figuur 6-7 Transportpaden bij Loswal Noord en de Verdiepte Loswal



Schematische weergave van de transportpaden vanaf Loswal Noord en de Verdiepte Loswal (McLaren, 1989).

sd02069

Figuur 6-8 Slibpatronen op en rondom Loswal Noord



Percentage slib_{<63µm} in de bovenste 3 cm van de bodem op en rondom Loswal Noord (McLaren, 1989).

sd02073.cdr

sd02073

7 Discussie en conclusie

Wegstroompercentage op grond van lodingen

In deze studie is het wegstroompercentage voor baggerspecie, dus voor slib_{<63µm} + zand, berekend op grond van lodingen. Dit wegstroompercentage bedraagt voor de hele onderzoeksperiode $51,1 \pm 3,4$ %.

In het milieu-effectrapport was op grond van modelberekeningen voorspeld dat het wegstroompercentage van baggerspecie 8,4 % zou bedragen. Dit is een veel te lage schatting geweest.

Deze waarde van 51,1 % ligt wel in de range van het percentage dat met modelsimulaties voor Loswal Noord in 1999 berekend is, nl. 44 ± 22 % onder gemiddelde weercondities [de Kok, 2002]. Dit is niet zo verwonderlijk omdat deze loswallen vlak bij elkaar liggen, nl. op zo'n 3 km afstand. Verder is de diepte van de kuil gering ten opzichte van de lengte en breedte ervan. Op de volgende manier kan een indruk worden verkregen van de relatieve maten van de kuil. Neem een A4-tje en vouw dit in de lengte door. De dubbele papierdikte ten opzichte van de lengte en breedte van het papier geeft de verhoudingen van de kuil weer. Het blijft inderdaad de vraag of een dergelijke, relatief geringe, verondieping in de zeebodem het wegstroompercentage van de baggerspecie significant zou kunnen beïnvloeden, zoals voorspeld in het milieu-effectrapport (Anonymous, 1995).

Over de gehele onderzoeksperiode van bijna twee jaar bezien stijgt het wegstroompercentage continu van 29,5 tot 51,4 % in maart 2002 en daalt dan tot 51,1 % in juli 2002. Het wegstroompercentage is steeds berekend vanaf de lege kuil, de t_0 , tot de partiel gevulde kuil tijdens een van de lodingen. Het ligt voor de hand dat het wegstroompercentage groter wordt naarmate de bovenkant van de stortlaag dichter onder het wateroppervlak komt te liggen, waardoor de invloed van golven en getij groter wordt.

Er is echter één uitschieter gevonden in de wegstroompercentages. Dit percentage is bijna even groot als het maximale wegstroompercentages en ligt buiten de kromme van de gestaag stijgende wegstroompercentages (zie Figuur 5-2). Over de periode augustus 2000 tot maart 2001 (8 maanden) bedraagt het wegstroompercentage in dit geval 49,7 %, met een standaardfout van 5,6 %punt. Voor deze relatief hoge waarde is geen verklaring. Mogelijk kan deze verklaring gevonden worden als het wegstroompercentage op een andere wijze wordt berekend. Het is nl. ook mogelijk om het wegstroompercentage voor de periode tussen twee opeenvolgende lodingen te berekenen. Dit percentage kan dan vergeleken worden met de weersomstandigheden in die periode, in de verwachting dat hiertussen een correlatie gevonden kan worden.

Fout in het wegstroompercentage

De standaardfout van het wegstroompercentage daalt in de onderzoeksperiode continu van 9,9 % na 4,5 maand storten tot 3,4 % na twee jaar storten. De beperkte omvang van de standaardfout maakt het mogelijk om conclusies te verbinden aan het berekende wegstroompercentage.

Wegstroompercentage van baggerspecie op grond van slibgehalte

Het wegstroompercentage, dat berekend is op grond van het verschil in slibgehalte (<63µm) tussen enerzijds de beuninhoud en anderzijds de stortberg, bedraagt 21,6 %. Deze waarde ligt lager dan de 51,1 % berekend op grond van de lodingen. Het is mogelijk dat het slibgehalte van de te storten baggerspecie onjuist is. Indien de baggerspecie in de beun 66,0 % slib_{<63µm} bevat zou hebben (en niet de gemeten 45,5 %), dan zou in dat geval het wegstroompercentage gelijk zijn geweest aan 51,1 %. Uit dit rekenvoorbeeld blijkt dat de gevoeligheid van deze rekenmethode groot is. Een toename van 1 % slib_{<63µm} geeft een verhoging van 1,5 % punt in het wegstroompercentage. Om deze reden wordt de rekenwijze, waarbij het wegstroompercentage op grond van het slibpercentage wordt berekend, minder betrouwbaar geacht dan de berekening op grond van lodingen.

Wegstroompercentage van slib_{<63µm}

In dit rapport is berekend dat het wegstroompercentage vanaf de Verdiepte Loswal van slib_{<63µm} 70,2 % bedraagt. Dit betekent dat driekwart van het slib_{<63µm} wegstroomt van de loswal.

In het milieu-effectrapport was op grond van modelberekeningen voorspeld dat het wegstroompercentage van slib_{<63µm} 20 % zou bedragen. Dit is een veel te lage schatting geweest.

Stabiliteit van de rand van de kuil

Uit de lodingsresultaten blijkt dat er een massatoename is geweest op de rand van de kuil van 75.000 TDS baggerspecie in de periode augustus 2000 - december 2001. Deze hoeveelheid is gelijk aan 4,1 % van de gestorte hoeveelheid baggerspecie. De standaardfout bedraagt echter 360.000 TDS zodat geconcludeerd kan worden dat er geen grote veranderingen zijn opgetreden: er is geen trog en ook geen hoge dam ontstaan op de rand van de eerste kuil.

Uit de radiometrische karteringen bleek dat 46 TDS slib_{<63µm} op de rand van de kuil lag, 0,0015 % van de gestorte hoeveelheid.

Vorm van de kuil

Er is een hoogteverschil van ruim 5 meter tussen het laagste en het hoogste punt van de kuil, nl. de bodem van compartiment II, gevonden. In het begin van het storten komt er nauwelijks baggerspecie in compartiment II terecht. Na twee tot drie maanden daalt de bodem van compartiment II zelfs bijna een meter. Er kunnen drie mogelijke oorzaken genoemd worden:

- er schuift materiaal, hetzij zand hetzij gestorte baggerspecie, uit compartiment II naar lager gelegen delen;
- er vindt niet geregistreerde zandwinning plaats;
- de bodem is zo onregelmatig dat geringe wijzigingen in de meetlocatie tot grote wijzigingen in de diepte leiden.

Op grond van de huidige kennis kan geen van de mogelijkheden worden uitgesloten.

Het verdient aanbeveling om bij metingen in een 2^e kuil te zorgen voor een vlakke bodem. Dit voorkomt een onregelmatige vulling en meetproblemen met diepte, volume en dichtheid.

Dichtheid

In december 2001 bedraagt de droge dichtheid van de stortlaag 0,91 TDS.m⁻³ (referentie natte dichtheid 1,57 ton.m⁻³) en deze dichtheid is een jaar later toegenomen tot 1,15 TDS.m⁻³ (referentie natte dichtheid 1,72 ton.m⁻³). Drie maanden later, in februari 2002, bedraagt de droge dichtheid 1,18 TDS.m⁻³

(referentie natte dichtheid $1,74 \text{ ton}\cdot\text{m}^{-3}$). Deze toename kan duiden op consolidatie. Dit vermoeden kan bevestigd worden als meer meetgegevens van de komende jaren bekend zijn.

Bij het begin van deze studie werd verwacht dat de droge dichtheid in de stortlaag zou toenemen bij grotere diepte. Dit is ook gevonden toen de stortlaag dikker werd. Bij een dunnere stortlaag ($< 3 \text{ m}$) ontbreekt het verband.

In deze studie is zowel de natte als de droge dichtheid gemeten. Uit deze metingen is gebleken dat de natte dichtheid **niet** uit de droge dichtheid berekend kan worden met behulp van de formule die hier meestal voor gebruikt wordt. Over grote aantallen meetwaarden uitgemiddeld 'werkt' de formule wel, maar voor afzonderlijke metingen is de uitkomst onbetrouwbaar. Centraal in deze omrekenformule staat het soortelijk gewicht van de vaste massa, nl. $2,6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Om toch de omrekenformule te kunnen gebruiken, zouden waarden voor het soortelijk gewicht gebruikt moeten worden die variëren tussen $1,55$ en $3,16 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, zoals volgt uit de resultaten van deze studie naar het wegstroompercentage. De waarde van $3,16$ is onwaarschijnlijk hoog. Een verklaring hiervoor kan niet gegeven worden. Het verdient derhalve aanbeveling om uitsluitend te werken met de gemeten droge dichtheid.

Retourpercentage

In deze studie is het wegstroompercentage berekend. Hiermee is echter nog niet de vraag beantwoord hoeveel van de gestorte baggerspecie weer terugstroomt naar vaargeul en haven van Rotterdam. Om dit retourpercentage te berekenen, moet gebruik worden gemaakt van de gegevens van de radiometrische kartering. Deze karteringen zijn in januari 2000 en in februari 2002 uitgevoerd. Op grond van de gevonden resultaten is het niet mogelijk om een retourpercentage vast te stellen. Vermoedelijk is het gebied dermate turbulent dat opgewoeld slib_{<63 μm} in de waterkolom blijft en niet sedimenteert. Op grond van andere studies is de dominante transportrichting van slib_{<63 μm} naar het zuiden gericht, zodat verondersteld wordt dat een aanzienlijk deel van de weggestroomde baggerspecie terugstroomt naar vaargeul en haven.

8 Conclusie en aanbevelingen

8.1 Conclusies

Om het wegstroompercentage te bepalen hoeft er pas één jaar na aanvang van het storten begonnen te worden met de lodingen. Voor die tijd geven lodingen onvoldoende nauwkeurige resultaten voor het wegstroompercentage.

Het is voldoende als twee keer per jaar een loding wordt uitgevoerd.

Het lijkt er op dat het wegstroompercentage van baggerspecie zijn maximum heeft bereikt, terwijl dat van slib_{<63µm} waarschijnlijk nog stijgt.

Het is kennelijk zo turbulent in het gebied op en rondom de Verdiepte Loswal dat opgewoeld slib_{<63µm} niet meer sedimenteert. Met de radiometrische kartering is ook geen patroon van slibvlekken zichtbaar gemaakt dat het gevolg was het storten van baggerspecie.

Aangezien de dichtheid toeneemt in de tijd, treedt er waarschijnlijk consolidatie op in de stortlaag.

Zodra er gestopt wordt met het storten van baggerspecie kan er eventueel een natuurlijke afdekking met zand plaatsvinden. Dit moment wordt pas later bereikt als er langer wordt doorgegaan met storten.

Aangezien er geen grote veranderingen optreden aan de rand van de kuil, is de kuil vermoedelijk stabiel.

Bij de oude Loswal Noord is het slib_{<63µm} uit de hoge gedeeltes verdwenen, maar ligt nog wel in de lagere delen. De hoogte van de stortlaag is dus van belang voor het al dan niet uitspoelen van slib_{<63µm}.

8.2 Aanbevelingen

Indien er in een volgende kuil onderzoek wordt gedaan is het raadzaam als:

1. de bodem van de 2^e kuil waarin gemeten gaat worden, vlak is, dus zonder grote hoogte verschillen.
2. de droge dichtheid gemeten wordt en niet de natte dichtheid van de resterende baggerspecie in de stortlaag.

9 Literatuurlijst

ANONYMOUS (1995)

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

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

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

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

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

KLUGT, P.C. VAN DER (2000-a)

Project 'Verdiepte Loswal'. Lithologie, watergehalte- en volumieke massa bepalingen van 5 steekboringen (eerste serie, augustus 2000). Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen NITG-TNO, projectnummer 005.60125/01.01; NITG-226-B

KLUGT, P.C. VAN DER (2000-b)

Project 'Verdiepte Loswal'. Lithologie, watergehalte- en volumieke massa bepalingen van 7 steekboringen (eerste serie, december 2000). Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen NITG-TNO, projectnummer 005.60125/01.01; NITG 00-333-B

KLUGT, P.C. VAN DER (2001)

Steekboringen Verdiepte Loswal, Loswal Noord en Loswal Noordwest, oktober-november 2001. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen NITG-TNO, projectnummer 005.60125/01.01; NITG 02-022-B

KLUGT, P.C. VAN DER (2002)

Steekboringen Verdiepte Loswal, februari 2002. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen NITG-TNO, projectnummer 005.32005/01.01; NITG 02-087-B

KOK, J.M. DE (2001)

Getijafhankelijk storten van baggerspecie. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee
RIKZ werkdocument OS/2001.027

KOOMANS, R.L., OOSTERHOFF, E. (2002)

Monitoring Verdiepte Loswal t₁, sedimentbalans.
MEDUSA explorations, Groningen. Rapport 2001-P-019-R3

MCLAREN, P. (1989)

The dispersal of dredged material and near shore sediment transport between Rotterdam and Scheveningen.

Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren

STUTTERHEIM, S. (2002-a)

Werkwijze voor de berekening van het wegstroompercentage van baggerspecie 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.

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

Werkdocument RIKZ/AB/2002.115x

STUTTERHEIM, S. (2002-c)

Van Noord tot Noordwest. Een studie naar de berging van baggerspecie op loswallen.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee

Rapport RIKZ/2002.047

STUTTERHEIM, S. (2002-d)

Opleg-notitie. Conclusies naar aanleiding van onderzoek naar de 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

10 Bijlagen

Bijlage 1	Lijst met tabellen en figuren
Bijlage 2	Coördinaten Verdiepte Loswal
Bijlage 3	Lodingen en steekboringen
Bijlage 4	Overzicht storthoogtes
Bijlage 5	Wegstroompercentages Verdiepte Loswal, baggerspecie en slib

Bijlage 1 - Lijst met tabellen en figuren

Lijst met tabellen

Tabel 4-1	Bodemsamenstelling Verdiepte Loswal.....	26
Tabel 4-2	Diepte in de eerste lege kuil.....	26
Tabel 4-3	Droge dichtheid van de stortlaag in de eerste kuil.....	31
Tabel 5-1	Vulling van de kuil.....	37
Tabel 5-2	Foutenbronnen wegstroompercentage.....	41
Tabel 6-1	Kwantificering slibmassa op grond van radiometrische kartering.....	50
Tabel 6-2	Overzicht van de retour- en wegstroompercentages.....	53
Tabel 10-1	Wegstroompercentage van baggerspecie (zand + slib) en standaardfout op de Verdiep[te Loswal.....	72
Tabel 10-2	Wegstroompercentage en standaardfout van slib _{< 63 µm} op de Verdiepte Loswal.....	72

Lijst met figuren

Figuur 1-1	De loswallen op de Noordzee	10
Figuur 4-1	De Verdiepte Loswal	20
Figuur 4-2	De eerste kuil van de Verdiepte Loswal	21
Figuur 4-3	' <i>Artist impression</i> ' van de Verdiepte Loswal	22
Figuur 4-4	De gedeeltelijk gevulde Verdiepte Loswal, driedimensionaal	23
Figuur 4-5	De gedeeltelijk gevulde eerste kuil, driedimensionaal	24
Figuur 4-6	Vulling van de vier compartimenten	28
Figuur 4-7	Droge dichtheid per dieptesectie in de kuil	32
Figuur 5-1	Hoeveelheid baggerspecie en vullingsgraad eerste kuil	35
Figuur 5-2	Wegstroompercentage baggerspecie eerste kuil	40
Figuur 5-3	Wegstroompercentage slib _{< 63µm} eerste kuil	43
Figuur 5-4	Volumeveranderingen op de rand van de kuil	44
Figuur 6-1	De vaarroute van de radiometrische kartering	46
Figuur 6-2	Het verspreidingspatroon van slib _{< 63µm} rondom de Verdiepte Loswal in januari 2000	47
Figuur 6-3	Het verspreidingspatroon van slib _{< 63µm} rondom de Verdiepte Loswal in februari 2002	48
Figuur 6-4	De verandering in het slibpatroon Verdiepte Loswal	49
Figuur 6-5	Compartimentering in surveygebied	50
Figuur 6-6	Diepte en slibgehalte op Loswal Noord	52
Figuur 6-7	Transportpaden bij Loswal Noord en de Verdiepte Loswal	55
Figuur 6-8	Slibpatronen op en rondom Loswal Noord	56

Bijlage 2 - Coördinaten Verdiepte Loswal

VERDIEPTE LOSWAL

Hieronder staan de coördinaten van de hoekpunten:

- de Verdiepte Loswal (Vak Q 16 C)
- eerste kuil
- rand A van de eerste kuil
- rand B van de eerste kuil
- referentievak west van de eerste kuil
- referentievak oost van de eerste kuil
- compartiment I van de eerste kuil
- compartiment II van de eerste kuil
- compartiment III van de eerste kuil
- compartiment IV van de eerste kuil
- meetlocaties M0 t/m M4 in de eerste kuil

Verdiepte Loswal

		Noord-Zuid	Oost-west
		opgegeven	opgegeven
1	I	5 767 808.4	571 544.6
2	II	5 770 065.1	570 344,8
3	III	5 767 224.4	568 423.3
4	IV	5 764 969.3	569 624.4

Eerste kuil van de Verdiepte Loswal / eerste kuil / hoekpunten

Hoek-punt	Noord-Zuid	Oost-West
A	5 766 755	569 069
B	5 767 791	569 774
C	5 768 248	569 548
D	5 767 205	568 820

Rand A van de eerste kuil van de Verdiepte Loswal (152%) (hier niet gebruikt)

Hoek-punt	Noord-Zuid	Oost-West
A2	5 766 575	569 018
B2	5 767 865	569 890
C2	5 768 425	569 600
D2	5 767 130	568 715

Rand B van de eerste kuil van de Verdiepte Loswal (213%)

hier gebruikt: A₃, B₃, C₃ en D₃

Hoek-punt	Noord-Zuid	Oost-West
A3	5 766 392	568 964
B3	5 767 935	570 000
C3	5 768 595	569 650
D3	5 767 065	568 600

Oppervlak van:

eerste kuil 450m x 1 260m = 567.000m² (100%)
Rand A (vergroete kuil) 555m x 1 555m = 863.025 m² (152%)
Rand B (2x vergroete kuil) 655m x 1 850m = 1 211 750 m² (213%)

Referentievak 'West' van de Verdiepte Loswal

Hoek-punt	Noord-Zuid	Oost-West
K	5 766 333	568 945
L	5 766 461	569 194
M	5 765 586	569 667
N	5 765 448	569 420

Referentievak 'Oost van de Verdiepte Loswal

Hoek-punt	Noord-Zuid	Oost-West
E	5 768 725	569 490
F	5 769 554	570 050
G	5 769 395	570 280
H	5 768 570	569 724

Compartment I van de 1^e kuil van de Verdiepte Loswal

Hoek-punt	Noord-Zuid	Oost-West
R	5 767 355	569 204
T	5 768 020	569 660
B	5 767 791	569 774
U	5 767 130	569 327

Compartment II van de 1^e kuil van de Verdiepte Loswal

Hoek-punt	Noord-Zuid	Oost-west
P	5 767 900	569 300
C	5 768 248	569 548
T	5 768 020	569 660
S	5 767 675	569 425

Compartiment III van de 1° kuil van de Verdiepte Loswal

Hoek-punt	Noord-Zuid	Oost-west
D	5 767 205	568 820
P	5 767 900	569 300
S	5 767 675	569 425
Q	5 766 977	568 950

Compartiment IV van de 1° kuil van de Verdiepte Loswal

Hoek-punt	Noord-Zuid	Oost-west
Q	5 766 977	568 950
R	5 767 355	569 204
U	5 767 130	569 327
A	5 766 755	569 069

Monsterlocaties voor diepe steekboringen en boxcore bodemmonsters in de eerste kuil van de Verdiepte Loswal

Punt	Noord-zuid	Oost-west
M0	5 767 500	569 303
M1	5 767 615	569 516
M2	5 767 950	569 516
M3	5 767 412	569 145
M4	5 767 228	569 220

Bijlage 3 - Lodingen en steekboringen

De lodingen in de Verdiepte Loswal zijn uitgevoerd op de volgende data:

Lodings-code	Startdatum	Einddatum	Tijdstip	Dag No.
VL 2000-005	20-06-2000	28-06-2000	t_{-1}	
VL 2000-006	31-07-2000	04-08-2000	t_0	0
VL 2000-007	31-08-2000	12-09-2000	t_1	34
VL 2000-008	06-12-2000	22-12-2000	t_2	134
VL 2001-001	14-02-2001	16-02-2001	t_3	166
VL 2001-002	20-03-2001	26-03-2001	t_4	233
VL 2001-003	9-05-2001	15-05-2001	t_5	283
VL 2001-004	19-06-2001	21-06-2001	t_6	323
VL 2001-005	17-07-2001	25-07-2001	t_7	353
VL 2001-006	06-09-2001	19-09-2001	t_8	407
VL 2001-007	18-10-2001	23-10-2001	t_9	445
VL 2001-008	12-12-2001	14-12-2001	t_{10}	497
(VL 2002-001)	(04-03-2002)	(05-03-2002)	mislukt	
VL 2002-002	21-05-2002	23-05-2002	t_{11}	658
VL 2002-003	23-07-2002	25-07-2002	t_{12}	721

Voor de berekeningen is als lodingsdatum het gemiddelde van start- en einddatum genomen.

Datum steekboringen (NITG)

Code	Tijdstip	No	Datum steekboring
Augustus 2000	t_0	2	
December 2000	t_1	3	4 tot 8-12-2000
November 2001	t_2	4	29-10 tot 2-11-2001
Februari 2002	t_3	5	18 tot 22-03-2002
Oktober 2002	t_4	6	28-10-2002
Oktober 2003	t_5	7	nog uit te voeren in oktober 2003

Stortperiode

eerste stort	15 augustus 2000	dag 0
laatste stort	12 juli 2002	dag 696

Bijlage 4 - Overzicht storthoogtes

Overzicht storthoogtes in de eerste kuil van de Verdiepte Loswal in de vier compartimenten en in de hele kuil (M0 t/m M4) vanaf augustus 2000 tot 20 augustus 2002 gemeten door Directie Zuid-Holland.

Overzicht storthoogte										
Storthoogte										
No.	Datum	Dag No	Delta-dag	M 0	M 1	M 2	M 3	M 4	M0 t/m M4	M0,1,3,4
No.	dd mm jj	n	n	m	m	m	m	m	m	m
1,2,3,4	23-aug-00	36761	0	0	0	0	0	0	0	0
5	23-okt-00	36822	61	0,20	-0,14	0,41	0,69	1,00	0,43	0,44
6	01-dec-00	36861	100	0,50	0,09	-0,09	1,09	1,17	0,55	0,71
7	19-dec-00	36879	118	0,70	0,38	-0,77	0,74	0,86	0,38	0,67
8	15-feb-01	36937	176	1,94	1,63	-0,68	2,52	2,59	1,60	2,17
9	10-mei-01	37021	260	3,06	3,09	0,24	3,60	4,37	2,87	3,53
10	27-jul-01	37099	338	3,46	4,23	0,21	4,19	4,43	3,30	4,08
11	11-dec-01	37236	475	3,76	4,93	-0,39	4,26	4,94	3,50	4,47
12	28-mrt-02	37343	582	5,66	6,86	2,31	5,62	5,24	5,14	5,85
13	21-mei-02	37397	636	6,40	7,86	2,67	6,41	5,86	5,84	6,63
14	20-aug-02	37488	727	5,88	7,49	2,59	6,20	5,40	5,51	6,24

Bijlage 5 - Wegstroompercentages Verdiepte Loswal, baggerspecie en slib

Tabel 10-1 Wegstroompercentage van baggerspecie (zand + slib) en standaardfout op de Verdiep[te Loswal

Periode	Van 15 aug 2000 tot ...	Aantal dagen na start storten	Gestorte massa (zand+slib $b_{<63\mu m}$)	Relatieve fout	Massatoename op loswal (zand+slib $<63\mu m$)	Relatieve fout	Minimum wegstroom percentage	Wegstroompercentage (zand+slib $<63\mu m$)	Maximum wegstroom percentage
No.	datum	N	MTDS	%	MTDS	%	%	%	%
1	sep 2000	34	0,12	12,7	0,14	41,5	-61,2	-12,8	35,7
2	dec 2000	134	0,78	5,8	0,55	11,2	19,6	29,5	39,5
3	feb 2001	166	1,19	5,2	0,83	7,9	22,3	30,0	37,7
4	mrt 2001	233	2,09	4,1	1,05	6,7	44,1	49,7	55,3
5	mei 2001	283	2,89	3,7	1,93	5,6	27,9	33,3	38,7
6	juni 2001	323	3,16	3,4	1,96	5,6	32,9	38,0	43,0
7	juli 2001	353	3,24	3,3	2,09	5,4	30,6	35,6	40,6
8	sep 2001	407	3,34	3,3	2,06	5,4	33,6	38,5	43,3
9	okt 2001	445	3,56	3,2	2,11	5,4	36,0	40,7	45,3
10	dec 2001	497	4,32	2,9	2,37	5,0	40,9	45,1	49,3
11	mei 2002	658	6,70	1,9	3,25	4,3	47,9	51,4	54,9
12	juli 2002	721	7,01	1,8	3,43	4,2	47,7	51,1	54,5

M:\Groos\mal\verdiepte\VL-eind-lod-slib-a.xls

Tabel 10-2 Wegstroompercentage en standaardfout van slib $<63\mu m$ op de Verdiepte Loswal

Periode	Datum loding	Aantal dagen na start storten	Gestorte massa (slib)	Relatieve fout	Massatoename op loswal (slib)	Relatieve fout	Minimum wegstroom percentage	Wegstroompercentage	Maximum wegstroom percentage
No.	datum	N	MTDS	%	MTDS	%	%	%	%
1	sep 2000	34	0,07	16,3	0,09	42,9	-32,6	-25,6	83,79
2	dec 2000	134	0,36	6,1	0,38	12,1	-12,2	-5,75	23,66
3	feb 2001	166	0,51	5,2	0,55	9,3	-7,13	-8,69	24,51
4	mrt 2001	233	0,79	4,0	0,70	8,2	-1,08	11,88	24,84
5	mei 2001	283	1,08	3,6	0,56	7,5	36,1	47,64	59,20
6	juni 2001	323	1,19	3,3	0,57	7,5	40,8	51,61	62,46
7	juli 2001	353	1,25	3,3	0,61	7,3	40,6	50,97	61,38
8	sep 2001	407	1,32	3,2	0,60	7,3	44,4	54,39	64,39
9	okt 2001	445	1,48	3,2	0,62	7,3	48,6	57,88	67,18
10	dec 2001	497	1,81	3,0	0,71	7,1	52,2	60,63	69,09
11	mei 2002	658	2,92	2,8	0,91	6,0	61,7	68,86	75,98
12	juli 2002	721	3,19	2,8	0,95	6,0	63,5	70,20	76,93

M:\Groos\mal\verdiepte\VL-eind-lod-slib-a.xls

Overzicht

Bestand en werkbladen met de invoergegevens en de berekeningen voor het wegstroompercentage uit de eerste kuil van de *Verdiepte Loswal*

In elk werkblad is ook de foutenschatting opgenomen

Bestand	groos\mal\verdiepte\VL-eind.lod.slib.xls	
Werkblad	inv.dh	Invoer slibgehalte en droge dichtheid (zowel gemeten als 'expert-judgement') en foutenbronnen
	balans	Uitvoer voor rapport van de laatste lading en van de kartering
	dzh-beun	Invoer opgebaggerde hoeveelheid (m ³ en TDS) uit vaargeul
	ghr-beun	Invoer opgebaggerde hoeveelheid (m ³ en TDS) uit haven
	sommatie	Totale opgebaggerde hoeveelheid, per lodingsperiode
	kartering	(Later) Resultaten van de kartering, t ₀ en t ₁ (dec 1999 en maart 2002)
	kubering	Resultaten ladingen, omgezet in m ³ Bron: Directie Noordzee
	volume	Voor elke lading het gemeten volume. Voor alle compartimenten
	bodemmassa	Voor alle periodes de massatoename in de stortlaag, voor alle compartimenten
	wegstroompercentage	Voor alle periodes het wegstroompercentage, voor alle compartimenten
	verzamel	Alle resultaten bij elkaar gezet zodat de grafieken gemaakt kunnen worden
	grafiek	Alle grafieken

Terugvindbaarheid

Tekst: M:\MAL\Sandeh\werkdokument\VerdiepteLoswal\tussenrapport\Storten-VL.doc

Rekenbladen

(M:\Groos\mal\verdiept\VL-eindlod-slib.xls

~graf. z+s #A758 #A803 #A1 # A703 # A271 #A649 # A703 # A271 #A649 #A1

M:\Sandeh\werkdokument\dichtheid-diepte\dichtheid.xls [diepte] #178 ; dhVL # dhVLdzh [DZH-dichtheidsmeting] A176.

M:\Sandeh\werkdokument\dichtheid-diepte\diepte.xls#blad 1 [M27]

M:\Sandeh\monitoring\dichtheid\TDS-dichtheid.xls #A20