

van Noord tot Noordwest

**Een studie naar de berging van baggerspecie op
loswallen**

november 2002

van Noord tot Noordwest

**Een studie naar de berging van baggerspecie op
loswallen**

November 2002

Auteur
Rapport

Sandeh Stutterheim
RIKZ/2002.047

Voorwoord

Wat gebeurt er met baggerspecie uit de haven van Rotterdam die op de loswallen wordt gestort? Wat is het effect van het storten op het bodemecosysteem? Het Rijksinstituut voor Kust en Zee van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat geeft in dit rapport antwoord op deze vragen. Vele onderzoekers en instituten waren betrokken bij dit onderzoek waarvan u de weerslag in dit rapport vindt. In veel opzichten wijken de gevonden resultaten af van de denkbeelden die bestonden voordat dit onderzoek van start ging. Dit rapport vormt samen met drie werkdocumenten een uitgebreide beschrijving van het gedrag van baggerspecie. Als zodanig kan het ook gebruikt worden binnen de m.e.r.-procedure die in 1995 gestart is om aan de wettelijke vereisten voor de alternatieve loswallen te voldoen.

Korte inhoudsopgave

1	INLEIDING	29
2	DOEL VAN DIT RAPPORT	35
3	AANPAK VAN HET ONDERZOEK	41
4	MASSATransport EN GEBIEDSontwikkeling	53
5	Loswal Noord	65
6	Loswal Noordwest	81
7	DISCUSSIE VERSCHILLENDE METHODES VOOR BEPALING RETOURSTROOMPERCENTAGE	129
8	GEMETEN WATER- EN SLIBSTROMEN OP LOSWAL NOORDWEST 131	
9	EVALUATIE RADIOMETRISCHE KARTERING	139
10	VERONTREINIGENDE STOFFEN IN HET SEDIMENT	149
11	ECOTOXICOLOGISCHE EFFECTEN VAN GESTORTE BAGGERSPECIE	163
12	EFFECTEN OP BODEMECOSYSTEEM	167
13	LITERATUURSTUDIE: EFFECTEN VAN BAGGERSPECIE OP BODEMECOSYSTEEM	203
14	INTEGRATIE RESULTATEN LOSWAL NOORD	227
15	INTEGRATIE RESULTATEN LOSWAL NOORDWEST	231
16	ANTWOORD OP VRAGEN UIT HET MER	235
17	DISCUSSIE / CONCLUSIE	237
18	AANBEVELINGEN	241
19	LITERATUURLIJST	243

20	BIJLAGEN	251
----	----------------	-----

Inhoudsopgave

Deel I	Inleidend deel	hoofdstuk 1 t/m 3
Deel II	Fysica	hoofdstuk 4 t/m 9
Deel III	Ecologische effecten	hoofdstuk 10 t/m 13
Deel IV	Integratie resultaten	hoofdstuk 14 t/m 18

1	INLEIDING	29
2	DOEL VAN DIT RAPPORT	35
2.1	Doelstelling.....	35
2.2	Wettelijk kader van het milieu-effectrapport	35
2.2.1	Formele procedure van de milieu-effectrapportage	35
2.2.2	Gang van zaken bij deze milieu-effectrapportage voor de loswallen	37
2.3	Te beantwoorden vragen	38
2.4	Projectorganisatie 'Monitoring Alternatieve Loswallen'	39
3	AANPAK VAN HET ONDERZOEK	41
3.1	Bodemsamenstelling.....	41
3.2	Retourstroom Loswal Noord	43
3.3	Retourstroom Loswal Noordwest	43
3.4	Chemie	48
3.5	Ecotoxicologie	48
3.6	Het bodemecosysteem van Loswal Noord en Loswal Noordwest.....	48
3.7	Opname gegevens in data-opslagsysteem	50
4	MASSATransport EN GEBIEDSontwikkeling	53
4.1	Zand- en slibstromen	53
4.1.1	Kwantificering zand- en slibstromen.....	53
4.1.2	Sedimentstromen in het onderzoeksgebied	54
4.1.3	Sedimentbalans voor Loswal Noord	56
4.1.4	Stromingen rond de loswallen	60
4.2	Gebiedsontwikkelingen.....	62
4.2.1	Baggerinspanning in de haven	62
4.2.2	Invloed op Loswal Noord.....	62

4.2.3	Invloed op Loswal Noordwest	63
5	LOSVAL NOORD	65
5.1	Bodemopbouw van Loswal Noord	65
5.1.1	Meetmethode bodemsamenstelling Loswal Noord	65
a)	Uitvoeren loding.....	65
b)	Uitvoeren korrelgrootteanalyse	65
c)	Uitvoeren dichtheidsmetingen.....	65
d)	Onderzoek bodemecosysteem (NIOZ en AquaSense)	65
e)	Uitvoeren radiometrische kartering	66
5.1.2	Resultaten bodemopbouw Loswal Noord.....	67
a)	Storten op de loswal	67
b)	Dichtheid	67
c)	Bodemsamenstelling - biologie-onderzoek	69
d)	Bodemsamenstelling - steekboringen (NITG).....	72
e)	Bodemsamenstelling radiometrische kartering.....	72
5.1.3	Discussie	77
5.2	Retourpercentage Loswal Noord	77
5.2.1	Resultaten uit Milieu-effectrapport	77
5.2.2	Rekenmodellen uit 1991 en 1999	77
5.2.3	Berekende retourpercentages Loswal Noord op grond van modelberekeningen	78
5.2.4	Discussie	78
6	LOSVAL NOORDWEST.....	81
6.1	Bodemopbouw van Loswal Noordwest.....	81
6.1.1	Meetmethode vorm en opbouw	81
a)	Uitvoeren loding.....	81
b)	Uitvoeren korrelgrootteanalyse	81
c)	Uitvoeren dichtheidsmetingen.....	81
d)	Onderzoek bodemecosysteem (NIOZ en AquaSense)	82
e)	Uitvoeren radiometrische kartering	82
6.1.2	Resultaten bodemopbouw Loswal Noordwest	85
a)	Vorm van de stortberg.....	85
b)	Dichtheid	88
c)	Bodemsamenstelling - biologie-onderzoek	89
d)	Bodemsamenstelling - steekboringen (NITG).....	94
e)	Bodemsamenstelling radiometrische kartering.....	95
6.1.3	Discussie	101
6.2	Verandering in retourpercentage op grond van baggerinspanning.....	102
6.2.1	Hoeveelheid verwijderde baggerspecie	102
6.2.2	Verandering in baggerinspanning na ingebruikneming Loswal Noordwest 103	
6.2.3	Discussie	104
6.3	Wegstroompercentage Loswal Noordwest op grond van korrelgrootteverdeling.....	105
6.3.1	Slibgehalte in haven en vaargeul.....	105
6.3.2	Korrelgrootteverdeling Loswal Noordwest.....	106
6.3.3	Wegstroompercentage	106

6.3.4	Discussie	106
6.4	Wegstroompercentage Loswal Noordwest op grond van lodingen	108
6.4.1	Hoeveelheid gestorte baggerspecie	108
6.4.2	Lodingen en dichtheid	108
6.4.3	Massaberekening en foutenschatting	111
6.4.4	Wegstroompercentage met foutenschatting op grond van lodingen	113
a)	Wegstroompercentage voor baggerspecie (zand + slib)	114
b)	Wegstroompercentage voor slib	118
6.4.5	Discussie	119
6.5	Retourpercentage Loswal Noordwest op grond van lodingen en radiometrische kartering	121
6.5.1	Gebruik van de resultaten van de radiometrische kartering	121
6.5.2	Retourpercentage	121
6.5.3	Discussie	122
6.6	Retourpercentage Loswal Noordwest op grond van modelstudie	123
6.6.1	Standaardomstandigheden	123
a)	Gebruikt rekenmodel voor standaardomstandigheden	123
b)	Modelresultaten voor standaardomstandigheden	123
6.6.2	Stormomstandigheden	123
a)	Gebruikt rekenmodel voor stormomstandigheden	124
b)	Modelresultaten voor stormomstandigheden	124
6.6.3	Discussie	128
7	DISCUSSIE VERSCHILLENDE METHODES VOOR BEPALING RETOURSTROOMPERCENTAGE	129
8	GEMETEN WATER- EN SLIBSTROMEN OP LOSWAL NOORDWEST 131	
8.1	Opzet meting	131
8.2	Resultaten water- en slibstromen	131
8.3	Discussie	136
9	EVALUATIE RADIOMETRISCHE KARTERING	139
9.1	Sterke punten	139
9.2	Zwakke punten	139
9.3	Toepassing van de radiometrische kartering	141
9.4	Nauwkeurigheid van het eindresultaat	142
9.5	Conclusie	144
10	VERONTREINIGENDE STOFFEN IN HET SEDIMENT	149
10.1	Uitvoering metingen op Loswal Noord en Noordwest	149

10.2	Resultaten verontreiniging sediment op Loswal Noord	150
10.3	Resultaten verontreiniging sediment op Loswal Noordwest.....	155
10.4	Conclusie en discussie	159
11	ECOTOXICOLOGISCHE EFFECTEN VAN GESTORTE BAGGERSPECIE	163
11.1	Uitvoering ecotoxicologische metingen op Loswal Noord	163
11.2	Resultaten ecotoxicologische effecten rond Loswal Noord	164
11.3	Discussie	166
12	EFFECTEN OP BODEMECOSYSTEEM	167
12.1	Resultaten macrobenthos	170
12.1.1	Macrobenthos 1995 en 1996	170
12.1.2	Macrobenthos 1997	176
12.1.3	Macrobenthos 1998	178
12.1.4	Macrobenthos 1999	180
12.1.5	Macrobenthos ontwikkeling 1995-1999	181
12.2	Resultaten Megafauna	189
12.2.1	Megafauna 1996	189
12.2.2	Megafauna 1997	191
12.2.3	Megafauna 1998	195
12.2.4	Megafauna 1999	196
12.2.5	Megafauna ontwikkeling 1995-1999	198
12.3	Samenvatting	200
12.3.1	Macrobenthos	200
12.3.2	Megafauna	201
12.3.3	Macrobenthos en Megafauna	202
13	LITERATUURSTUDIE: EFFECTEN VAN BAGGERSPECIE OP BODEMECOSYSTEEM	203
13.1	Storting en baggerspecie	203
13.2	Effecten van baggerspecie, een overzicht	204
13.3	Vergelijking met andere studies	210
13.4	Het verdwijnen van bodemleven	211
13.5	De kolonisatie van een stortlocatie	215
13.6	Het effect van slib op de omgeving van stortlocaties	220
14	INTEGRATIE RESULTATEN LOSWAL NOORD	227

14.1	Gedrag gestorte baggerspecie.....	227
14.2	Retourpercentage	227
14.3	Verband bodemsamenstelling en bodemorganismen	227
15	INTEGRATIE RESULTATEN LOSWAL NOORDWEST	231
15.1	Gedrag gestorte baggerspecie.....	231
15.2	Retourpercentage Loswal Noordwest.....	231
15.3	Verband bodemsamenstelling en bodemorganismen	231
16	ANTWOORD OP VRAGEN UIT HET MER	235
17	DISCUSSIE / CONCLUSIE	237
17.1	Resultaten van het onderzoek	237
17.1.1	Loswal Noord.....	237
17.1.2	Loswal Noordwest	238
18	AANBEVELINGEN	241
19	LITERATUURLIJST.....	243
20	BIJLAGEN	251

Dit rapport bevat een uitgebreide studie naar de effecten van het storten van baggerspecie op Loswal Noord en Loswal Noordwest. Dit rapport kan gebruikt worden om te voldoen aan de eisen uit het milieu-effectrapport 'Een nieuwe Loswal Noord voor het storten van baggerspecie in zee? Verplaatst of verdiept?' uit 1995 (Anonymous, 1995-a). Voor dit rapport is 8 jaar lang, van 1995 tot 2002, onderzoek uitgevoerd in twee loswallen, Loswal Noord en Loswal Noordwest. Het betreft biologisch, chemisch, toxicologisch en fysisch onderzoek. Het gaat om veel onderzoek en dit rapport is dan ook omvangrijk geworden en is daarom voor de overzichtelijkheid onderverdeeld in 4 delen. Dit rapport is een samenvatting van 41 onderliggende documenten, rapporten etc., welke vermeld staan in hoofdstuk 19, de Literatuurlijst onder 'rapporten geproduceerd voor het project *Monitoring Alternatieve Loswallen*'.

Het eerste deel, '**inleidend deel**' (hoofdstuk 1 t/m 3), geeft een algemeen beeld van de vraagstelling en opzet. Daarna komt het deel '**fysica**' (hoofdstuk 4 t/m 7). Dit deel geeft een algemene beschrijving en de resultaten van het fysische onderzoek. Het derde deel is het deel '**ecologische effecten**' (hoofdstuk 10 t/m 13), met het chemische, ecotoxicologische en biologische onderzoek. Het vierde en laatste deel, '**integratie resultaten**' (hoofdstuk 14 t/m 18) geeft de resultaten van beide loswallen. Het betreft de integratie van de biologische resultaten en de bodemsamenstelling en van de fysische resultaten. In dit deel staan ook de discussie, conclusie en aanbevelingen.

De allerkortste samenvatting van één bladzijde staat in het hoofdstuk '**Vogelvlucht**' (blz. 17). Een samenvatting van gebruikelijke lengte staat in '**Samenvatting**' (blz. 19).

In de **Inleiding** wordt het kader geschetst van het onderzoek en het hoofdstuk '**Doel van het rapport**' (hoofdstuk 2) geeft het wettelijk kader van de procedure voor het milieu-effectrapport met informatiebehoefte en de monitoringsverplichting van het milieu-effectrapport (MER). Verder staat hier een overzicht van de te beantwoorden vragen en een schets van de projectorganisatie.

Omdat het onderzoek vele aspecten omvat en omdat de aanpak van het onderzoek halverwege gewijzigd is, is een verantwoording van de opzet van het onderzoek in het hoofdstuk '**Aanpak van het onderzoek**' (hoofdstuk 3) gegeven.

De **uitvoering van het onderzoek** en de werkwijzen staan in de bijlagen (hoofdstuk 20) en vormen dus geen onderbreking van de hoofdtekst.

Hoofdstuk 4 geeft een algemeen beeld van het **massatransport** in de kustzone en haven en geeft de **ontwikkeling van het gebied**. Het betreft zowel de historische situatie als de beoogde veranderingen die het effect kunnen zijn van het verplaatsten van de loswal.

Hoofdstuk 5 geeft de fysische meetresultaten van **Loswal Noord**. Het betreft zowel de bodemopbouw als het retourpercentage, dat uit modelstudies volgt.

De resultaten van **Loswal Noordwest** staan in hoofdstuk 6. Het betreft ook de bodemopbouw en het wegstroom- en retourpercentage. Deze percentages zijn berekend op grond van (1) korrelgrootteverdelingen op de loswal, op grond van (2) lodingen, dichtheden en de baggeradministratie en op grond van (3) de

slibverdeling rondom de loswal. Dit laatste is gemeten met de nieuwe techniek, de radiometrische kartering.

Een beschrijving van het daadwerkelijke **transport van water en slib** < 63 µm vlak boven de bodem van Loswal Noordwest staat in hoofdstuk 8.

Om de nieuwe techniek van de **radiometrische kartering** op waarde te kunnen schatten wordt een kritische beschouwing van deze techniek in hoofdstuk 9 gegeven.

Om het overzicht te behouden, wordt in hoofdstuk 7 een **overzicht van de resultaten van het wegstroom- en retourpercentage** gegeven, met een evaluatie van de resultaten.

Hiermee is het fysische onderdeel afgesloten en volgt het 'milieu-deel'. In hoofdstuk 10, 11 en 12 worden respectievelijk de **chemische, toxicologische en biologische resultaten** gegeven. Omdat het bodemecosysteem aanzienlijk wordt beïnvloed door het storten van baggerspecie, is het biologie-hoofdstuk (12) uitgebreid en is er ook een **literatuurstudie** gedaan naar dit onderwerp (hoofdstuk 13). Deze laatste twee hoofdstukken met de biologie-resultaten maken het tezamen met de fysische resultaten mogelijk om een integratie van deze resultaten te geven in hoofdstuk 14 en 15, over respectievelijk Loswal Noord en Loswal Noordwest.

De gevonden resultaten maken het mogelijk om een deel van de **vragen uit het MER** te beantwoorden in hoofdstuk 16.

Een **discussie** van de resultaten, de getrokken **conclusies** en de **aanbevelingen** staan in hoofdstuk 17 en 18.

Het geheel wordt gecomplementeerd met een **literatuurlijst** in hoofdstuk 19 waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen de rapporten, werkdocumenten etc. die voor deze studie zijn geproduceerd en de literatuur die geraadpleegd is.

In de **bijlagen** tot slot (hoofdstuk 20), staan alle gevolgde werkwijzen en ook de onderdelen van de studie die geen bruikbare resultaten hebben opgeleverd. In de bijlagen staan verder de projectorganisatie, een begrippen- en afkortingenlijst en een lijst met alle figuren en tabellen. Hier vindt u verder de website en de wijze waarop dit rapport kan worden nabesteld.

Onderliggende rapporten

Naast dit rapport bestaan er nog drie andere uitgaven die ondersteunend of aanvullend zijn op dit eindrapport. Het betreft:

- 1) *De werkwijze voor de berekening van het wegstroompercentage van baggerspecie en de standaardfout ervan voor Loswal Noordwest en de Verdiepte Loswal (Stutterheim, 2002-a).*
Dit werkdocument beschrijft de gevolgde rekenprocedure voor het wegstroompercentage. Verder staat hierin op welke de manier de standaardfout is berekend en hoe groot de foutenbronnen zijn.
- 2) *Retourpercentage van Loswal Noordwest (Stutterheim, 2002-b).*
In dit werkdocument wordt in detail de manier besproken waarop het wegstroom- en retourpercentage is berekend. Ook de aanpak die uiteindelijk geen resultaat opleverde wordt behandeld.

3) *Het storten van baggerspecie in de Verdiepte Loswal (Stutterheim, 2002-c)*

In dit rapport wordt het effect van het storten van baggerspecie in de Verdiepte Loswal beschreven, zoals bodemopbouw en wegstroom- en retourpercentage.

Daarnaast is een managementsamenvatting gemaakt in de 'Opleg-notitie' (Stutterheim, 2002-d).

Tot juni 1996 werd baggerspecie uit het Rijnmondgebied op **Loswal Noord** gestort. Deze baggerspecie heeft het al bodemleven op de loswal bedolven dat daardoor grotendeels verdwenen is. In de vier jaar na juni 1996 is het bodemleven grotendeels teruggekeerd, vooral wat betreft de kleinere organismen. Het bodemleven is echter nog niet op hetzelfde niveau als in de referentiegebieden.

Van de hogere gebieden van Loswal Noord is het slib $< 63 \mu\text{m}$ grotendeels verdwenen. Zoals verwacht mag worden voldoet de resterende baggerspecie op de loswal aan de norm, die gesteld is aan baggerspecie die op zee gestort mag worden, de zg. Uniforme Gehalte Toets (UGT). De resterende baggerspecie heeft geen toxische effecten op bodemorganismen.

Het retourpercentage van baggerspecie vanaf Loswal Noord is volgens modelonderzoek uit 1999 $44 \pm 22 \%$.

In 1995 is een nieuwe locatie aangewezen als toekomstige stortlocatie, nl.

Loswal Noordwest, omdat het retourpercentage hier lager zou zijn dan vanaf Loswal Noord. Voordat op Loswal Noordwest werd gestort, was dit deel van de zeebodem niet te onderscheiden van de omringende zeebodem. Nadat in juni 1996 begonnen werd met het storten van baggerspecie, verdween het leven op de zeebodem van de stortlocatie grotendeels. Tot op 4 km afstand van de stortplaats was invloed op het zeebodemleven merkbaar. Op een stortvak waar niet meer gestort werd, keerden sommige organismen weer terug. Ook hier voldoet, uiteraard, de resterende baggerspecie op de loswal aan de norm.

Voor de kosten van het baggeren is de omvang van het wegstroompercentage en retourpercentage van belang. Deze stromen zijn gekwantificeerd.

Het wegstroom- en retourpercentage van baggerspecie vanaf Loswal Noordwest bedraagt 50,4 respectievelijk 17,4 %. Voor slib $< 63 \mu\text{m}$ zijn deze percentages 77,9 en 27,0 %.

Deze waarden liggen hoger dan in het milieu-effectrapport uit 1995 verondersteld was. Er werd destijds voorspeld dat er geen retourtransport naar vaargeul en haven zou plaatsvinden. De gemeten waarden in dit rapport worden grotendeels ondersteund door latere modelberekeningen.

Na het verplaatsen van de loswal 'van Noord tot Noordwest' is een afname van de baggerinspanning in vaargeul en haven geconstateerd van ongeveer 40 % van de opgezogen hoeveelheid baggerspecie, hoewel ook andere ingrepen invloed hebben gehad op de baggerinspanning.

Samenvatting

De havens van Rotterdam en de vaargeul er naar toe slibben voortdurend aan, onder invloed van o.a. golven, getij en rivieraanvoer. Omdat dit aanslibben problemen oplevert voor de scheepvaart moet stelselmatig worden gebaggerd en moet de baggerspecie verwijderd worden. Sinds 1961 worden dan ook grote hoeveelheden van deze baggerspecie in de Noordzee gestort op een loswal die ten noorden van de monding van de Nieuwe Waterweg gelegen is, de oude Loswal Noord, ter hoogte van Ter Heijde. De stortingen op deze loswal zijn per 1 juli 1996 beëindigd omdat toen de oude loswal nagenoeg vol was en om de 'retourstroom' (zie volgende alinea) te beperken. Vanaf die datum is ten noorden van de oude Loswal Noord een nieuw stortgebied in gebruik genomen, de nieuwe Loswal Noordwest, die 9 km meer naar het noorden is gelegen. Daarnaast wordt vanaf zomer 2000 gebruik gemaakt van een Verdiepte Loswal. De locaties staan in Figuur 1-1.

Voordat nieuwe loswallen geselecteerd konden worden, zijn in een Milieu-effectrapport (MER) verscheidene alternatieve loswallen op hun mogelijke effecten beoordeeld. Op grond van verwachtingen, aannames, prognoses en voorspellingen is de keus gevallen op bovengenoemde Loswal Noordwest en de Verdiepte Loswal. Het vermoeden bestond dat bij de oude loswal een aanzienlijk deel van de gestorte baggerspecie, mogelijk zo'n 32 %, weer terugstroomde naar het havengebied onder invloed van zuidwaartse gerichte stromen, de z.g. retourstroom. Bij het zoeken naar een nieuwe loswal is gezocht naar locaties waarbij deze retourstroom minimaal zou zijn bij een nog aanvaardbare vaarafstand. Volgens de berekeningen uit het MER zal de retourstroom bij de gekozen nieuwe Loswal Noordwest praktisch nihil zijn. Daarnaast is gestreefd naar een minimale verstoring van het ecosysteem en van andere functies op de Noordzee. De nieuwe Loswal Noordwest is net buiten de - 20 meter dieptelijn gesitueerd om het kwetsbare milieu van de kustzone te ontzien.

Nadat de nieuwe Loswal Noordwest op 1 juli 1996 in gebruik is genomen, worden de effecten van de verplaatsing bestudeerd om te bezien of de verwachtingen uit het MER zijn uitgekomen. De hoofdvragen, waarop een antwoord moet worden gegeven, zijn:

- is er een retourstroom vanaf Loswal Noordwest naar het havengebied, en zo ja hoe groot?
- hoe snel verloopt het herstel van het ecosysteem op de oude Loswal Noord en wat is de eindsituatie?
- hoe snel verloopt de achteruitgang van het ecosysteem op de nieuwe Loswal Noordwest en tot welke afstand zijn de effecten van de stortingen merkbaar?

In dit rapport worden de onderzoeksresultaten van het monitoringsprogramma gepresenteerd, dat uitgevoerd is om bovenstaande vragen te beantwoorden. Voor het biologische onderdeel zijn de ecotoxicologische effecten onderzocht, is de verontreinigingsgraad van Loswal Noord en noordwest plus omgeving bepaald en zijn de bodemdieren op en rond deze loswallen geïnventariseerd. Verder zijn de troebelheid van het zeewater rond deze loswallen, de bodemsamenstelling van de monding van de Nieuwe Waterweg en de bodemsamenstelling in een groot gebied rondom de nieuwe loswal onderzocht. Om de omvang van de retourstroom van de baggerspecie, het retourpercentage, te kunnen bepalen, is onderzoek verricht naar de baggerinspanning en het volume en de dichtheid van de zeebodem op de loswal na het storten. De resultaten staan hieronder.

Loswal Noord

Macrobenthos (bodemfauna >1 mm)

De storting van baggerspecie op Loswal Noord tot in juni 1996 leidde tot plekken tot een sterke verarming van het aantal soorten wormen en andere benthische infauna alsmede tot een verlaging van de dichtheid en biomassa daarvan. Het ecologisch herstel leek bijzonder snel te verlopen: in 1997, één jaar na het beëindigen van de storting, was er bij de genoemde parameters al geen verschil meer te zien met de andere stations op Loswal Noord. Wel is het de vraag of deze andere stations wel een echte referentie vormen omdat ze mogelijk ook onder invloed (hebben ge)staan van de storting van baggerspecie. De afstand tussen de referentiestationen en de stortlocaties bedraagt maar een paar kilometer. Een clusteranalyse toont echter een verwantschap aan van de stortlocatie op de nog ongestoorde Loswal Noord met referentiestationen op en nabij Loswal Noordwest, wat een duidelijke indicatie is voor een daadwerkelijk herstel binnen een jaar.

In 1998 waren de soortenrijkdom, dichtheid en biomassa op de stortlocatie zelfs hoger dan in de omgeving zodat nog niet van een stabiele eindsituatie kon worden gesproken. Deze ontwikkeling hield waarschijnlijk verband met sedimentologische karakteristieken. De simultane aanwezigheid van grof en fijn sediment kan in beginsel namelijk tot een groot aantal soorten leiden. In 1999 nam het verschil tussen de stortlocatie en de omgeving weer af.

Alhoewel het slibgehalte en de mediane korrelgrootte zich aan het sedimentoppervlak leken te herstellen bleek dit allerm minst het geval te zijn voor de verticale bodemopbouw van de stortlocatie. Dit staat een volledig herstel in de weg.

Megafauna (bodemfauna >10 mm en vissen)

In 1996 was de megafaunagemeenschap in het laatst gebruikte stortvak eveneens sterk verarmd qua diversiteit en dichtheid.

Eén jaar na het staken van de baggerspeciéstortingen vertoonde de megafauna duidelijk tekenen van herstel. Het aantal soorten per monsternamenam toe van 4 tot 12, maar dat was nog wel lager dan op de referentielocatie (18 soorten). Het aantal vissoorten was wel vergelijkbaar met de referentielocaties. Echter, het herstel van 1997 zette in de twee jaren daarna niet door. Op een referentiestation op Loswal Noord, waar al veel langer niet gestort was, stagneerde het herstel eveneens. De soorten die verschenen op Loswal Noord behoren overwegend tot mobiele kreeftachtigen en vissen. Ingegraven soorten, die voor herstel vooral afhankelijk zijn van de kolonisatie door larven, keerden nauwelijks terug. Mogelijk staat de kwaliteit van het (diepere) sediment een succesvolle vestiging en/of metamorfose van deze larven in de weg.

Een uitstralingseffect manifesteert zich waarschijnlijk tot op enkele kilometers van de stortlocatie, maar is niet goed te onderscheiden van een mogelijk effect dat gerelateerd is aan de afstand tot de kust. De bemonsteringen bij Loswal Noordwest leverden namelijk sterke aanwijzingen op voor een toename van het slibgehalte richting de kust.

Chemie

Op Loswal Noord is van 1961 tot 1996 baggerspecie gestort. Van 1996 tot en met 1998 zijn de effecten hiervan op bodemsamenstelling en de verontreinigingsgraad onderzocht.

Het slibgehalte op de oude Loswal Noord is in het laatste jaar van storten tien keer hoger dan op de referentielocaties en bedraagt 17 % wat halveert in de

twee opeenvolgende jaren. Het percentage organisch koolstof is twee keer zo laag als op de referentielocaties, nl. zo'n 2 % in plaats van bijna 5 % en verandert niet in de loop van de onderzoeksperiode.

Als referentielocaties zijn plekken gekozen op 5 à 10 km afstand van de loswal die nauwelijks beïnvloed worden door het storten van baggerspecie.

De gehalten zware metalen cadmium en kwik en organische microverontreinigingen PCB's en PAK's zijn 2 tot 3 keer hoger dan op de referentielocaties. Alleen voor kwik en PAK's lijkt een lichte afname waarneembaar in de onderzoeksperiode 1997 en 1998. Voor de overige componenten is geen herstel waar te nemen. De metalen lood, koper, zink, chroom en nikkel, vertoonden geen verhoogde gehalten ten opzichte van de referentielocatie. Alle gehalten zijn gemeten in de fijne fractie ($< 63 \mu\text{m}$) en gestandaardiseerd. Zoals verwacht 'voldoet' de resterende baggerspecie op de zeebodem van de loswal 'aan de Uniforme Gehalte Toets (UGT)'. Alleen baggerspecie die voldoet aan de 'UGT' mag nl. op zee worden gestort. Gezien het geringe verschil in de gehalten verontreinigende stoffen tussen de loswal en de omgeving en het feit dat in de onderzoeksperiode nauwelijks verandering is opgetreden in deze gehalten, met uitzondering van kwik en PAK's, is besloten deze metingen niet na 1998 voort te zetten.

Ecotoxicologie

Er zijn vier types ecotoxicologische testen op Loswal Noord in 1996 uitgevoerd, nl. verontreinigingen in zeesterren, bioassays met verontreinigd sediment, visziekte-onderzoek en biomarkers in zeesterren. Met de gebruikte technieken en de gekozen organismen werden geen significante verschillen aangetoond met de lokale referentielocaties, met uitzondering van de bioaccumulatie van lood, zink, kwik en PCB's. Deze bioaccumulatie heeft niet tot toxische effecten geleid. Op grond hiervan is besloten om dit onderzoek niet verder voort te zetten en om het niet uit te voeren op de verplaatste Loswal Noordwest of op de Verdiepte Loswal.

Retourstroom

Modelberekeningen uit 1991 ter berekening van het retourpercentage gaan uit van een wegstroompercentage voor slib $_{< 63 \mu\text{m}}$ van 80 % en voor zand van 20 %. De aangenomen zand/ slib $_{< 63 \mu\text{m}}$ verhouding is 50/50. Het wegstroompercentage van baggerspecie bedraagt 50 %.

De hoeveelheid **baggerspecie** die na storting op Loswal Noord terugstroomde naar vaargeul en haven, het zg. **retourpercentage**, kon niet met metingen vastgesteld worden omdat de stortingen beëindigd waren. Modelstudies uit 1991 en 1999 lieten een retourpercentage van baggerspecie zien van 32 respectievelijk 44 % met een fout van 22 procentpunt.

Het **retourpercentage van slib $_{< 63 \mu\text{m}}$** bedraagt, volgens het model uit 1991, 44 % (toevallig dezelfde waarde 44).

Loswal Noordwest

Ook op Loswal Noordwest is er een duidelijk effect van het storten. Het storten van baggerspecie in zee tast de zeebodem aan van de loswal en van een gebied hier omheen, tot zo'n 3 kilometer afstand van het stortvak. De bodemsamenstelling wordt veel slibrijker en het bodemleven wordt aangetast. Dit komt door bedelving van de bodemdieren en niet zozeer door vergiftiging door het slib $_{< 63 \mu\text{m}}$.

Macrobenthos (bodemfauna >1 mm)

In juli 1997, elf maanden na de aanvang van het storten in het eerste stortvak, waren de soortenrijkdom, de dichtheid en de biomassa aanzienlijk afgenomen. Ook het storten in een tweede stortvak resulteerde in een sterke achteruitgang van het macrobenthos. Qua soortensamenstelling leek deze stortlocatie erg op Loswal Noord toen daar nog gestort werd. Op beide stortlocaties was de macrobenthossamenstelling zowel tijdens de storting als daarna aan relatief grote veranderingen onderhevig.

Tot op één kilometer afstand van de stortlocaties (in de richting van de reststroom) traden (bescheiden) uitstralingseffecten op in de vorm van een lage soortenrijkdom, dichtheid en biomassa. Op twee kilometer afstand en verder stroomafwaarts en stroomopwaarts waren er geen veranderingen te zien in het macrobenthos.

Ook op Loswal Noordwest leek aanvankelijk een snel herstel op te treden: in 1998, twee maanden na het beëindigen van de stortingen in het eerste stortvak, verdubbelde de soortenrijkdom ten opzichte van het jaar ervoor. De dichtheid en de biomassa bleven in 1998 en 1999 echter laag. Mogelijk stond het eerste stortvak in 1999 nog onder invloed van de stortingen op het tweede, naastgelegen, stortvak.

Megafauna (bodemfauna >10 mm en vissen)

Een jaar storten van baggerspecie leidde tot een sterke verarming van de megafauna in beide stortvakken. Zowel het aantal soorten als de dichtheid namen drastisch af. Het nonnetje, een tweekleppige, profiteerde van de storting van baggerspecie en bereikte alleen hoge dichtheden op en rond de stortlocaties.

Ook hier is een uitstralingseffect aantoonbaar, zowel in de sedimentsamenstelling als in de samenstelling van de megabenthosgemeenschap op een afstand van zeker 3 km van de stortlocatie, met name in de richting van de reststroom. Het effect manifesteerde zich in een sterk verarmde soortenrijkdom, een geringe dichtheid (relatieve abundantie) en een zeer geringe gelijkenis van de fauna met overige stations.

In 1999 waren de stortvakken nog steeds sterk verarmd en van een teken van herstel was geen sprake. Dit betekent dat de megafauna slechter rekoloniseert dan het kleine macrobenthos. Op Loswal Noordwest duurde het onderzoek te kort om harde uitspraken over een hersteltijd te doen.

Ook zijn er consistente ruimtelijke patronen. Opvallend is vooral de lage soortenrijkdom - in alle jaren - op de meest oostelijke raai bij Loswal Noordwest. Omdat deze noord-zuid raai het dichtst bij de kust ligt is dit een indicatie voor een afname van de soortenrijkdom in de richting van de kust. De aard van deze temporele en ruimtelijke patronen kunnen de extreme effecten van de storting van baggerspecie niet verhullen. De mogelijke natuurlijke kustwaartse afname van zowel soortenrijkdom als dichtheid vormt wel een probleem bij de interpretatie van uitstraaleffecten op Loswal Noord. Op Loswal Noordwest vormt deze natuurlijke variatie echter geen belemmering om uitstraaleffecten te onderscheiden.

Chemie

Voordat in juli 1996 baggerspecie gestort werd op Loswal Noordwest waren de gehaltes aan slib, organische koolstof, zware metalen en organische microverontreinigingen ruwweg gelijk aan die van de nabij gelegen referentielocatie. In 1997, één jaar na het storten, is het slibpercentage 80 keer hoger geworden en bedraagt dan 50 %. Het percentage koolstof is gehalveerd. Het gehalte cadmium en kwik en organische microverontreinigingen is drie keer hoger geworden. Het gehalte tributyltin is 5 keer hoger. De gemiddelde

gehaltes lood, koper, zink, chroom en nikkel van die van de belaste gebieden wijken nauwelijks af van die van de referentiegebieden. Na nog een jaar storten zijn nauwelijks meer veranderingen opgetreden. Omdat de verschillen met de omgeving vrij gering zijn en er op grond van het onderzoek op Loswal Noord met de gebruikte meettechnieken ook geen relevante ecotoxicologische effecten te verwachten zijn, zijn de metingen van de verontreinigingsgraad na 1998 niet voortgezet.

De bodem van Loswal Noordwest voldoet, net als die van Loswal Noord, aan de Uniforme Gehalte Toets voor het storten van baggerspecie. Aan de milieunorm is dus voldaan.

Ecotoxicologie

Er is geen ecotoxicologisch onderzoek uitgevoerd op de nieuwe Loswal Noordwest omdat op de oude Loswal Noord geen aantoonbare ecotoxicologische effecten werden gevonden zoals hierboven is beschreven.

Wegstroompercentage

De hoeveelheid baggerspecie die wegstroomt vanaf Loswal Noordwest, het zg. **wegstroompercentage van baggerspecie**, was in de modelberekeningen uit 1991 en 1999 (zie § 5.2.2) geraamd op 29 %, respectievelijk 24 à 48 %, bij gemiddelde weersomstandigheden. Metingen die gebaseerd zijn op lodingen laten een wegstroompercentage zien van gemiddeld 50,4 %, terwijl het kan variëren tussen 45,9 en 55,0 %. Dit wegstroompercentage vertoont 6 jaar na aanvang van het storten nog steeds een stijgende lijn.

Het wegstroompercentage kan ook berekend worden door uit te gaan van het verschil in slibgehalte tussen de opgezogen baggerspecie en het slibgehalte in de resterende stortberg op de loswal. De wegstroompercentages variëren in dat geval tussen de 25 en 46 %.

De conclusie is dat grofweg de helft van de gestorte baggerspecie wegstroomt van de loswal.

Het **wegstroompercentage van slib_{< 63 µm}** was in modelberekeningen uit 1991 en 1999 geraamd op 68 %, respectievelijk 42 à 84 %. Metingen op grond van lodingen laten een hoger wegstroompercentage zien, nl. 77,9 % met een fout van 3,2 procentpunt.

Retourpercentage

Uit economisch oogpunt is vooral het retourpercentage van belang. Het retourpercentage bepaalt, naast onder andere de vaarafstand, de baggerkosten.

Het **retourpercentage van baggerspecie** vanaf Loswal Noordwest was in modelberekeningen uit 1991 en 1999 geraamd op 0 % respectievelijk 16,6 %, bij gemiddelde weersomstandigheden. Als van meer realistische omstandigheden wordt uitgegaan waarbij ook noord- en zuidwesterstormen worden betrokken, daalt het berekende retourpercentage van baggerspecie tot 13 % met een absolute fout van 6,5 procentpunt, indien vergeleken wordt met de gemiddelde weersomstandigheden.

Metingen op grond van lodingen laten een retourpercentage van baggerspecie van 17,4 % zien.

Het **retourpercentage van slib_{< 63 µm}** is ook bepaald. Modelresultaten uit 1991 voorspelden dat geen slib_{< 63 µm} zou terugstromen naar de haven. In 1999 lieten modelberekeningen voor gemiddelde weersomstandigheden een retourpercentage zien van 32,5 % en onder gemiddelde omstandigheden

waarbij ook rekening wordt gehouden met stormen, 22 %, met een fout van 11 procentpunt.

Metingen die gebaseerd zijn op lodingen, lieten een retourpercentage van slib_{< 63 µm} van 27,0 % zien.

Een indicatie van het **retourpercentage van baggerspecie** kan ook verkregen worden als wordt nagegaan met hoeveel procent de baggerinspanning is afgenomen na ingebruikneming van Loswal Noordwest. Voor de haven is dit 55 %, voor de vaargeul 38 % en gemiddeld 42 %. De haven profiteert het meest van de verplaatsing van de loswal omdat de retourstroom van slib_{< 63 µm} is afgenomen dat vooral in de haven sedimenteert.

Er zijn echter ook andere ontwikkelingen in het havengebied geweest, zoals het doorsteken van de Beerdam op twee plaatsen en het aanleggen van een nevengeul, die ook invloed op de baggerinspanning hebben. Verder zijn er in 1994 en 1995 zeer hoge baggerinspanningen geweest.

Modelberekeningen uit 1991 en 1999 voorspelden een afname van de baggerinspanning met 32 respectievelijk 31 %.

Omdat voorspeld was dat na de ingebruikneming van Loswal Noordwest geen baggerspecie zou terugkeren naar haven en vaargeul, is onderzoek gedaan naar **slibtransport** op 15 en 55 cm boven de zeebodem op Loswal Noordwest. In 38 % van de tijd is de momentane stroomrichting van het water naar het zuiden gericht. De resttransportvector van slib_{< 63 µm} is naar de zuidelijke sector gericht. Van het slibtransport treedt dan ook 63,1 % in zuidelijke richting op. Er kan dus retourtransport naar de haven en vaargeul plaatsvinden. Opmerkelijk is dat 62,4 % van het transport in 6 % van de tijd plaatsvond. Het retourtransport tijdens stormen speelt een belangrijke rol, naast het meer gestage aanslibben onder gemiddelde omstandigheden.

In deze studie is een belangrijke plaats ingeruimd voor de nieuwe techniek om slibpatronen van dunne lagen slib op de zeebodem waar te nemen, de zg. **radiometrische kartering**. Hierbij wordt van de natuurlijke straling van bodemmateriaal gebruik gemaakt om slib_{< 63 µm} te kunnen detecteren en kwantificeren. Het blijkt dat de verdeling van slib_{< 63 µm} goed is waar te nemen. Ook kan de toename of afname van slib_{< 63 µm} over een zekere tijdperiode goed worden bepaald. De absolute kwantificering van slib_{< 63 µm} was echter niet bruikbaar voor het opstellen van een massabalans. Daarentegen bleek de relatieve kwantificering van slib_{< 63 µm} voldoende betrouwbaar. Op grond van de slibpatronen rondom Loswal Noordwest en op grond van de relatieve kwantificering van slib_{< 63 µm} is het retourpercentage bepaald. De resultaten staan hierboven vermeld.

Bij de berekening van het retourpercentage is verondersteld dat het percentage slib_{< 63 µm} op de bodem rondom de loswal gelijk is aan het percentage slib_{< 63 µm} dat in zuidelijke richting naar haven en vaargeul is gestroomd. Voor deze aanname bestaat de volgende onderbouwing.

Uit de radiometrische kartering volgt dat 35 % van het slib_{< 63 µm} dat zich rondom Loswal Noordwest bevindt, in de zuidelijke sector van het survey-gebied is te vinden. Deze waarde (35 %) wordt gebruikt om het retourpercentage uit het wegstroompercentage te berekenen. Uit het stromingsonderzoek van slib_{< 63 µm} volgt dat 39 % in zuidelijke richting, een richting die overeenkomt met de zuidelijke sector, is weggestroomd.

Het kwantificeren van het wegstroom- en retourpercentage blijkt een ingewikkelde puzzel te zijn. De verkregen antwoorden zijn met onzekerheden

omgeven. Aangezien verschillende benaderingen zijn gebruikt, nl. modellen en diverse metingen, die alle ongeveer dezelfde orde van grootte in de uitkomsten laten zien, is de verwachting gerechtvaardigd dat deze studie een redelijke schatting voor het wegstroom- en retourpercentage heeft gegeven.

Overzicht wegstroom- en retourpercentages

Een overzicht van de berekende en gemeten wegstroom- en retourpercentages staat in Tabel 7-1 in hoofdstuk 7 op blz. 129.

Storten van baggerspecie in zee

Het bodemleven sterft door bedelving onder dikke lagen baggerspecie en niet door de toxische effecten van baggerspecie. Het verdient de voorkeur de baggerspecie in de toekomst zodanig over de Noordzee te verspreiden dat slechts zulke dunne lagen baggerspecie op de bodem komen die door het bodemleven verdragen kunnen worden en waaraan zij door ontgraving kunnen ontsnappen.

Uit modelonderzoek van *de Kock* blijkt dat de kosten van het baggeren beperkt kunnen worden met enkele miljoenen als steeds op die plek in de Noordzee gestort wordt waar op dat moment de stroomrichting naar het Noorden gericht is.

Deel I

Inleidend deel

1 Inleiding

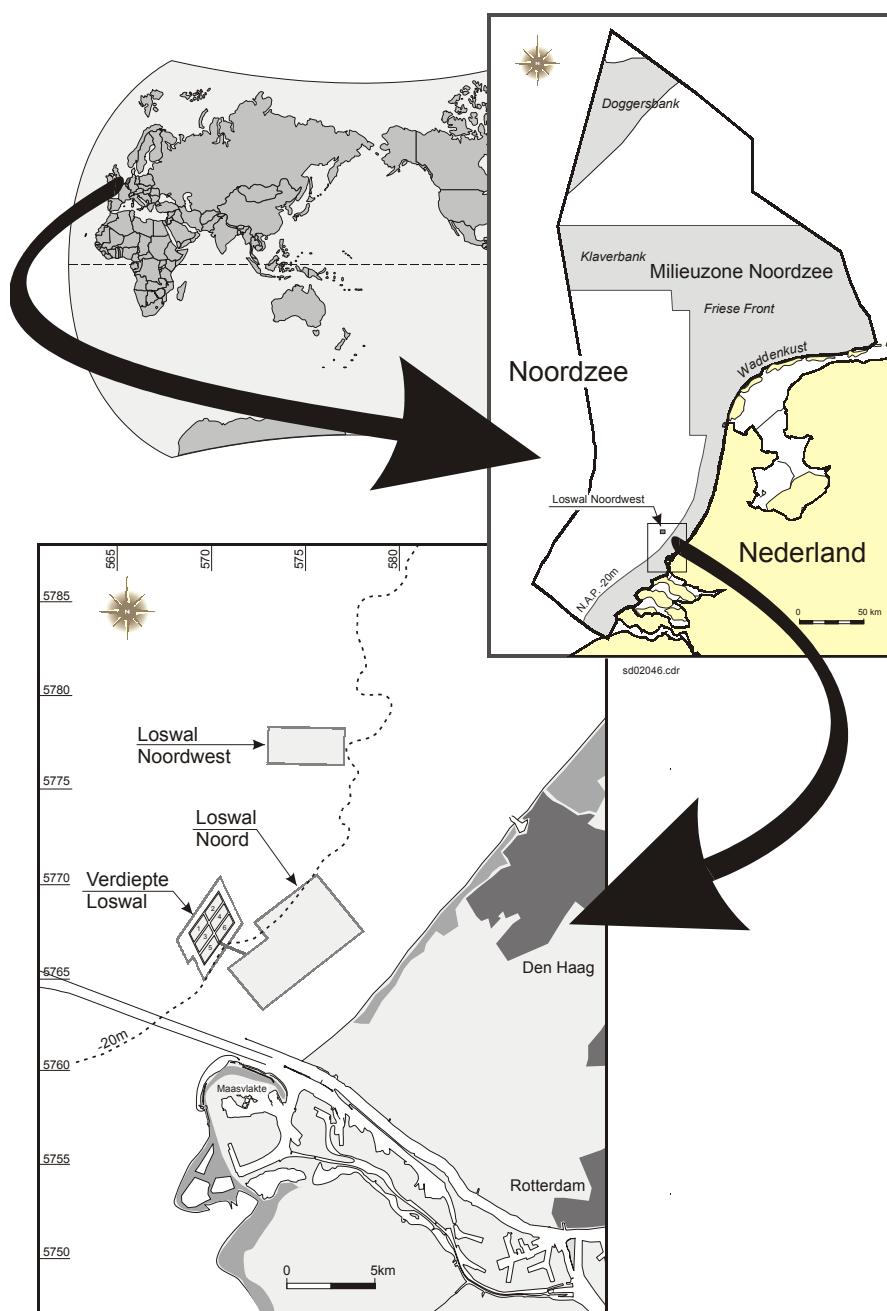
Rotterdam heeft de grootste haven ter wereld. Deze haven vormt een kunstmatige put in de Nederlandse kustzone en slibt voortdurend aan onder invloed van het getij. Om de haven te kunnen blijven gebruiken wordt het aangeslibde materiaal dagelijks weggebaggerd. De verkregen baggerspecie wordt deels op land geborgen en deels in zee gestort. Sinds 1961 worden grote hoeveelheden van deze baggerspecie in de Noordzee gestort op een loswal die ten noorden van de monding van de Nieuwe Waterweg gelegen is, de oude Loswal Noord, ter hoogte van Ter Heijde. Omdat deze jarenlang gebruikte loswal in zee vol was, dat wil zeggen tot tien meter onder het zeeoppervlak opgehoogd, moest gezocht worden naar een nieuwe loswal. De nieuwe loswal zou idealiter aan de twee volgende voorwaarden moeten voldoen. De eerste was dat bespaard zou worden op het onderhoudsbaggerwerk in de regio Rijnmond door een afname van de retourstroom. De tweede voorwaarde was het bereiken van positieve effecten met betrekking tot het milieu en het gebruik van de kustzone. Een dergelijke grootschalige ingreep valt onder de verplichting van een 'Milieu-effectrapport'. In een milieu-effectrapport (MER) is de keuze voor nieuwe loswallen op gemotiveerde wijze gemaakt. Er is gekozen om de oude Loswal Noord te vervangen door twee nieuwe loswallen, nl. een verplaatste loswal en een verdiepte loswal. De locaties staan in Figuur 1-1. Aan dit MER werd de verplichting gekoppeld om de milieueffecten van de maatregel te evalueren en hierover een evaluatierapport uit te brengen.

In het huidige rapport wordt de evaluatie gegeven van de gemeten effecten in relatie tot de voorspelde effecten van het storten van baggerspecie op zee. Het betreft zowel de omvang en richting van de slibstromen als de effecten op het ecosysteem van de Noordzee.

Het opgestelde milieu-effectrapport

De stortingen op Loswal Noord werden ingevolge een ontheffing krachtens de *Wet Verontreiniging Zeewater* (WVZ) toegestaan. Omdat er veel gestort materiaal terugstroomde en omdat Loswal Noord vol was na 35 jaar storten, moest er worden omgezien naar een nieuwe loswal. Om een of meer nieuwe loswallen in gebruik te mogen nemen, moet een milieu-effectrapport worden opgesteld. Het onderzoek naar de nieuwe loswallen is uitgevoerd door Directie Zuid-Holland van Rijkswaterstaat en het Gemeentelijk Havenbedrijf van Rotterdam. De resultaten hiervan staan beschreven in het milieu-effectrapport *'Een nieuwe Loswal Noord voor het lossen van baggerspecie in zee? Verplaatst of verdiept?'*. In dit milieu-effectrapport (MER) zijn daartoe vijf alternatieve mogelijkheden voor een nieuwe loswal geselecteerd en zijn de verwachte milieu-effecten bepaald en vergeleken met die van de oude Loswal Noord. Het storten van schone en licht verontreinigde baggerspecie in zee past in het beleid voor de verwijdering van baggerspecie. Het gaat in het milieu-effectrapport dus niet om nieuw beleid maar om de voortzetting en optimalisatie van de uitvoering van reeds eerder vastgesteld beleid. Het milieu-effectrapport is dan ook geen "beleids-milieu-effectrapport" maar een "uitvoerings-milieu-effectrapport".

Figuur 1-1 Loswallen voor baggerspecie uit de Rijnmond



De locaties van de oude loswal, Loswal Noord, en de alternatieve loswallen, Loswal Noordwest en de Verdiepte Loswal. De alternatieve loswallen zijn buiten de milieuzone gelegen, welke tot 1995 gold.

sd02046

Gemaakte keuze in het milieu-effectrapport

In het MER is een keuze gemaakt voor een '*combinatie alternatief*', waarbij een optimum gezocht is tussen baggerinspanning en vaarafstand naar de loswal waarbij de minste schade aan natuur zou worden toegebracht.

Er is uiteindelijk gekozen voor twee nieuwe loswallen, een verplaatste loswal en een verdiepte loswal.

De verplaatste loswal bestaat uit een loswal die ongeveer 8,5 km noordelijker is gelegen dan de oude loswal en net buiten de milieuzone (zie hieronder) ligt. Deze loswal heet *Loswal Noordwest*. Daarnaast wordt een verdiepte loswal aangelegd die *Verdiepte Loswal* heet. Deze Verdiepte Loswal zal gaan bestaan uit een verzameling kuilen elk met een inhoud van 5 miljoen m³ en 10 m diep. In 1993 zijn de kustwateren tot de N.A.P. -20 m dieptelijn (een afstand van circa 20 km uit de kust) als milieuzone aangewezen, maar in 1995 weer afgeschaft. In deze zone gelden strengere eisen ten aanzien van activiteiten die verstoring en verontreiniging veroorzaken. Loswal Noord lag in deze zone. Bij de uiteindelijke keuze is de milieuzone ontzien door de nieuwe loswallen er buiten te situeren.

De evaluatie van de gevolgen van de ingebruikneming van de verplaatste loswal, Loswal Noordwest, zal in dit rapport besproken worden. De gevolgen van de ingebruikneming van de Verdiepte Loswal zullen in een aparte studie aan bod komen, omdat die studie op dit moment (november 2002) nog niet afgerond is.

Hieronder staan de overwegingen voor de gemaakte keuze en de verwachte consequenties ervan.

Onderbouwing van de gemaakte keuze in het milieu-effectrapport

In het MER is de keuze gemaakt voor een verder naar het noorden gelegen loswal. Van de oude **Loswal Noord** stroomde jaarlijks van de aangevoerde 7,4 miljoen ton baggerspecie (zand + slib) 0,8 miljoen ton fijn zand en 1,6 miljoen ton slib_{< 63 µm} terug naar de haven. Het wegstroompercentage van 50 % voor baggerspecie en 80 % voor slib_{< 63 µm}. Het retourpercentage voor baggerspecie is 32 % en voor slib_{< 63 µm} 44 %.

In de nieuwe situatie op **Loswal Noordwest** zal, naar verwachting, meer slib_{< 63 µm} naar het noorden stromen. Van de gestorte baggerspecie zal 1,5 miljoen ton per jaar naar het noorden stromen, in plaats van de 1,3 miljoen ton in de oude situatie. Dit betekent een wegstroompercentage van 29 % voor baggerspecie en 68 % voor slib_{< 63 µm}. Het retourpercentage voor baggerspecie en voor slib_{< 63 µm} is beide 0 %.

De hoeveelheden zand en slib_{< 63 µm} die naar het zuiden stroomden vanaf de oude **Loswal Noord**, resp. 0,8 en 1,6 miljoen ton per jaar, zullen dus praktisch tot nul gereduceerd worden (Anonymous 1995-a, MER, p80; zie Tabel 7-1). De kostenbesparing door de verwachte afname van de retourstroom ligt lager dan de 10 % van de 20 miljoen gulden die het baggeren gemiddeld per jaar kost, rond het jaar 1996.

Er zijn geen aanlegkosten voor de nieuwe Loswal Noordwest, maar er zijn hogere vaarkosten omdat hij op grotere afstand van de haven ligt dan de oude Loswal Noord, welke kosten hopelijk (meer dan) gecompenseerd worden door een geringere of ontbrekende retourstroom van baggerspecie.

Verder is in het MER gesteld dat de **contaminantenstroom** vanaf Loswal Noordwest naar het noorden zal naar verwachting dalen van gemiddeld 45 % tot 36 %.

De tweede keuze die in het MER gemaakt is, betreft een **verdiepte loswal**. Bij het gebruik van een verdiepte loswal wordt, volgens de overeenkomst, jaarlijks een kuil in de zeebodem gemaakt - waarbij schoon zeezand vrijkomt - die vervolgens met baggerspecie wordt gevuld. Zo ontstaat na verloop van tijd een veld van gevulde kuilen. De baggerspecie in de kuilen wordt naar verwachting in de loop van de tijd door inklinking en aanzanding met zeezand afgedekt en wordt daardoor vrijwel geheel onttrokken aan het mariene milieu.

Voor de Verdiepte Loswal moeten misschien wel (maar hopelijk geen) kosten worden gemaakt voor de aanleg, de vaarkosten zijn iets hoger dan bij de oude Loswal Noord maar minder hoog dan bij Loswal Noordwest, terwijl de retourstroom naar verwachting af zal nemen. Van het zand dat in de Verdiepte Loswal gestort wordt, blijft naar verwachting alles in de kuilen liggen en van het aangevoerd slib_{< 63 µm} 70 %.

Het vrijkomende zand moet tegen een voldoende tarief op de zandmarkt worden afgezet om de aanlegkosten te compenseren. Het volume van de kuilen wordt daarom door de zandmarkt gelimiteerd. De mogelijke afzet lijkt, gebaseerd op schattingen in 1992, hoogstens 2 miljoen m³ per jaar te kunnen zijn. Bij een totaal te lossen hoeveelheid van ca. 12 miljoen m³ per jaar kan dan slechts een deel van de baggerspecie verdiept worden gelost. In 2001 is bekend geworden dat voor de aanleg van de *Tweede Maasvlakte* grote hoeveelheden zand nodig zijn.

Gevolgen van de alternatieve loswallen

De toetsingsresultaten van het MER wezen uit dat alle alternatieven voor Loswal Noord voor- en nadelen voor het milieu hebben. Voor alle beschouwde aspecten blijkt echter dat de (gemiddelde) verschillen in effecten tussen de alternatieven niet groot zijn als ze worden afgezet tegen de (natuurlijke) variaties in het systeem. Er zijn geen grote of ingrijpende effecten te verwachten bij het in gebruik nemen van de gekozen variant.

Slib

De globale ruimtelijke effecten op grote afstand van de loswallen worden gedomineerd door veranderingen in de slib- en contaminantenstromen langs de kust richting Waddenzee. Bij de gekozen variant met de Verdiepte Loswal worden zowel slib_{< 63 µm} als contaminanten onttrokken aan het kustwater. Dat is een goede zaak wat de contaminanten betreft: hoe gering ook, de verontreiniging van de kustzone en de Waddenzee wordt immers kleiner. Maar daardoor wordt ook de toevoer van slib_{< 63 µm} naar de kustzone en de Waddenzee verminderd. De effecten hiervan zijn niet onverdeeld gunstig. Enerzijds betekent minder slib_{< 63 µm} helderder water en dus een beter lichtklimaat waardoor de biomassa aan algen verder kan toenemen. Anderzijds zijn er aanwijzingen dat dit ongunstige effect weer teniet wordt gedaan omdat hierbij tegelijkertijd de soortensamenstelling van de algen zal verbeteren waardoor de hoeveelheid plaagalgen afnemen. Of dit ook werkelijk zal gebeuren is niet zeker. Verder zal een verdere onttrekking van slib_{< 63 µm} lang de kust op de wat langere termijn nadelig op natuur en milieu uitwerken. Zowel het langdurig gebruik van grote verdiepte loswallen als het bergen van slib_{< 63 µm} in depots lijkt daarom geen duurzame oplossing. De enige goede oplossing is verdergaande preventie van de waterverontreiniging waardoor de baggerspecie weer schoon wordt en zonder milieubezwaar in loswallen op zee kan worden gestort.

Contaminanten

Wat de contaminanten betreft is de situatie met meer zekerheid te beoordelen. In de huidige situatie is de bijdrage van Loswal Noord aan de gehalten aan zware metalen en organische microverontreinigingen in het Hollandse kustwater maximaal circa 15 % resp. 40 %. Deze invloed neemt in noordelijke richting af en bedraagt in de westelijke Waddenzee nog ten hoogste 5-15 %, resp. 10-20 %.

In de nieuwe situatie wordt voor de zware metalen geen duidelijke veranderingen verwacht. Voor de organische microverontreinigingen zal de bijdrage aan de concentraties met maximaal 5 - 10 % afnemen.

Andere functies

Voor de kustrecreatie en visserij heeft de nieuwe situatie, als Loswal Noordwest in gebruik is genomen, volgens de modelberekeningen, lichte voordelen vanwege helderder water bij het strand, een kleinere kans op schuimvorming en een mogelijk gunstige verschuiving in de algensamenstelling. Ook voor het baggerwerk in de havens langs de kust zal afnemen. Voor de kustverdediging zijn er geen effecten omdat de Verdiepte Loswal buiten de kustzone is gesitueerd.

Wat de zandwinning betreft is de Verdiepte Loswal een reëel alternatief voor de thans gebruikelijke wijze van zandwinning in zee.

De tekst van hoofdstuk 1 is grotendeels afkomstig van het MER (Anonymous, 1995-a).

2 Doel van dit rapport

2.1 Doelstelling

In hoofdstuk 1, de Inleiding, en in hoofdstuk 4, Massatransport en gebiedsontwikkeling, is aangegeven wat de veranderingen kunnen zijn als vanaf juni 1996 niet meer gestort wordt op de oude Loswal Noord, maar op de nieuwe Loswal Noordwest en in de geprojecteerde Verdiepte Loswal. Omdat er aan een aantal van de ontwerp-uitgangspunten en toetsingsresultaten onzekerheden kleven, is gedurende een aantal jaren een, specifiek op de nieuwe loswallen gericht, monitoring- en onderzoekprogramma uitgevoerd. Het doel hiervan is vast te stellen of gedrag en effect van Loswal Noordwest en de Verdiepte Loswal in voldoende mate overeenstemmen met de verwachtingen, aannames, prognoses en voorspellingen van het MER. Het onderzoek betreft de effecten op de massastroom, zoals wegstroom- en retourpercentage, zoals in hoofdstuk 1 is beschreven. Verder gaat het om effecten op de contaminantenlast in het bodemmateriaal van de loswallen, de ecotoxicologische effecten van dit bodemmateriaal en om de effecten op het bodemecosysteem.

In dit rapport wordt dus de nieuwe situatie beschreven die ontstaan is door de baggerspecie op andere locaties te storten. De hoofdvragen voor dit rapport zijn:

- Wat is het herstel van het ecosysteem op de oude loswal en wat is de achteruitgang van het ecosysteem op de nieuwe loswal (milieueffecten)?
- Hoe groot is de retourstroom (effectiviteit)?

2.2 Wettelijk kader van het milieu-effectrapport

2.2.1 Formele procedure van de milieu-effectrapportage

In de Wet milieubeheer is bepaald dat bij algemene maatregel van bestuur de activiteiten worden aangewezen, die belangrijke nadelige gevolgen kunnen hebben voor het milieu. Hiertoe is het Besluit m.e.r. 1994 vastgesteld. De grondslag voor de bepaling van de m.e.r.-plicht vormt dan ook dit Besluit m.e.r. 1994. In dit besluit is aangegeven welke activiteiten zijn onderworpen aan de m.e.r.-plicht dan wel de m.e.r.-beoordelingsplicht.

In het navolgende wordt kort de milieu-effectprocedure (m.e.r.-procedure) beschreven. Voor wat betreft het onderhavige geval (het lossen van baggerspecie in zee) geldt dat de m.e.r.-procedure op basis van vrijwilligheid is toegepast. Dit laat onverlet dat ook dan consequent het hele wettelijke traject - zoals in het navolgende weergegeven - wordt doorlopen, hetgeen ook is gebeurd.

Indien het voornemen bestaat om een activiteit te gaan uitvoeren die belangrijke nadelige gevolgen kan hebben voor het milieu, moet er een milieu-effectrapport (MER) worden opgesteld. In het MER moet de voorgenomen activiteit alsmede de alternatieven daarvoor worden beschreven, waarbij per alternatief de mogelijke consequenties voor het milieu zo goed mogelijk in beeld worden gebracht en zo mogelijk gekwantificeerd.

De wettelijke voorschriften voor de gehele m.e.r.-procedure staan in hoofdstuk 7 van de Wet Milieubeheer genoemd. Het betreft de artikelen 7.1 t/m 7.43.

- Hiervan bevatten de artikelen 7.9 t/m 7.38 regels met betrekking tot het opstellen van een MER en de besluitvormingsprocedure.
- De artikelen 7.39 t/m 7.43 hebben betrekking op de evaluatie van genoemde activiteit.

Degene die het initiatief neemt tot de ingreep (de initiatiefnemer) stelt het MER op. Nadat het milieu-effectrapport is opgesteld gaat het bevoegd gezag over tot de beoordeling van het MER (aanvaardbaarheidsbeoordeling). Nadat het MER door het bevoegd gezag is aanvaard, vindt publicatie plaats, wordt het MER ter inzage gelegd en start de inspraak op het rapport. (In het geval van een aanvraag ten behoeve van de voorgenomen activiteit wordt van het MER gelijktijdig met deze aanvraag openbaar kennis gegeven en worden beide tezamen ter inzage gelegd). Aansluitend op de inspraak voert de Commissie m.e.r. de toetsing van het MER uit en brengt een toetsingsadvies uit. Daarna neemt het bevoegd gezag een besluit.

Het bevoegd gezag heeft de wettelijke verplichting (volgens artikel 7.37 van de Wet Milieubeheer) om bij een besluit over een activiteit (artikel 7.27) aan te geven welke rol het opgestelde milieu-effectrapport (MER) bij de besluitvorming heeft gespeeld.

Dit is als volgt verwoord:

In **artikel 7.37** staat:

De motivering van een besluit, als bedoeld in artikel 7.27, eerste lid, vermeldt in ieder geval:

- de wijze waarop rekening is gehouden met de (in het milieu-effectrapport beschreven) gevolgen voor het milieu van de activiteit waarop het besluit betrekking heeft;
- hetgeen is overwogen omtrent de in het milieu-effectrapport beschreven alternatieven;
- hetgeen is overwogen omtrent de overeenkomstig de artikelen 7.23 tot en met 7.26 ter zake van het milieu-effectrapport ingebrachte opmerkingen en adviezen.

Het tweede lid vermeldt dat het bevoegd gezag bij het besluit de termijn of de termijnen bepaalt alsmede de wijze waarop het onderzoek, bedoeld in artikel 7.39, zal verrichten.

De artikelen 7.27 tot en met 7.38 Wm hebben betrekking op de besluitvormingsprocedure ten behoeve waarvan het MER wordt opgesteld. **Artikel 7.39** stelt de plicht tot het doen van een evaluatie en luidt: Het bevoegd gezag dat een besluit heeft genomen, bij de voorbereiding waarvan een milieu-effectrapport is gemaakt, onderzoekt de gevolgen van de betrokken activiteit voor het milieu, wanneer zij wordt ondernomen of nadat zij is ondernomen.

Ten aanzien van de evaluatie geldt dat de initiatiefnemer verplicht is aan het bevoegd gezag alle medewerking te verlenen en alle relevante informatie aan ter beschikking te stellen die het bevoegd gezag redelijkerwijs voor de evaluatie nodig heeft. Het bevoegd gezag is verantwoordelijk voor het evaluatie-onderzoek. In het kader van het evaluatie-onderzoek vindt nadere afstemming plaats over de vraag wie de kosten draagt.

2.2.2 Gang van zaken bij deze milieu-effectrapportage voor de loswallen

Hieronder volgt een globale reconstructie van de m.e.r.-procedure uit de Wet Milieubeheer die voor de loswallen is gevolgd.

Als **initiatiefnemer** traden de hoofdingenieur-directeur van Directie Zuid-Holland van Rijkswaterstaat van het ministerie van Verkeer en Waterstaat en Burgemeester en Wethouders van de Gemeente Rotterdam, namens deze de directeur van het gemeentelijke Havenbedrijf van de Gemeente Rotterdam op. Het **bevoegd gezag** wordt gevormd door de minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke ordening en milieu (VROM) en door de minister van Verkeer en Waterstaat, waarbij de laatste coördinerend minister is. De minister van Verkeer en Waterstaat heeft het bevoegd gezag gedelegeerd aan de hoofdingenieur-directeur van Directie Noordzee.

In het MER zijn de volgende alternatieven voor de oude Loswal Noord ontwikkeld:

1. Loswal Noordoost
2. Loswal Noordwest
3. Combinatie van Loswal Noordwest met een verdiepte loswal van 2 miljoen m³.
4. Combinatie van Loswal Noordwest met een verdiepte loswal van 5 miljoen m³.
5. Meest milieuvriendelijk alternatief (MMA): een niet nader gespecificeerd combinatie-alternatief waarbij de minst schone specie in een verdiepte loswal wordt gelost.

Loswal Noordwest is, gelet op het Besluit m.e.r. 1994, niet m.e.r.-plichtig. De Verdiepte Loswallen zijn, gelet op het besluit m.e.r., wel m.e.r.-plichtig (categorie 16, Onderdeel C van het Besluit m.e.r. 1994):

Het Besluit m.e.r.1994 luidt:

16.1	Winning van oppervlaktedelfstoffen <i>Opm. Hetgeen stond vermeld was de tekst na wijziging in 1999.</i>	In gevallen waarin de activiteit betrekking heeft op: 1°. een winplaats van 100 hectare (= 1 km ²) of meer, of 2°. een aantal winplaatsen, die tezamen 100 hectare of meer omvatten en die in elkaars nabijheid liggen.	Het besluit tot aanwijzing van een winplaats of een aantal winplaatsen dan wel, bij het ontbreken daarvan, het besluit, bedoeld in artikel 3 van de Ontgrondingenwet.
16.2	Winning van bodemmaterialen op het continentaal plat. <i>Opm. Staat niet in Besluit m.e.r. 1994</i>	In gevallen waarin het betreft: een winplaats van 500 hectare of meer, of een aantal winplaatsen, die tezamen 500 ha of meer omvatten en die in elkaars nabijheid liggen.	

Ten behoeve van de besluitvorming ten aanzien van de ingebruikneming van Loswal Noordwest en de Verdiepte Loswallen is een Milieu-effectrapport opgesteld. Dit milieu-effectrapport, getiteld "Een nieuwe Loswal Noord voor het lossen van baggerspecie in zee?" (1995) valt binnen het wettelijk kader van de Wet Milieubeheer.

De m.e.r.-procedure voor de loswallen is juridisch gestart met de ter inzage legging van de startnotitie "Startnotitie voor een Milieu Effect Rapportage over

een nieuwe Loswal in de Noordzee voor baggerspecie afkomstig uit de regio Rijnmond", uit december 1992 (DZH en GHR, 1992). Deze startnotitie is opgesteld door Directie Zuid-Holland van Rijkswaterstaat van het ministerie van Verkeer en waterstaat RWS V&W en Burgemeester en Wethouders van de Gemeente Rotterdam, namens deze de directeur van het Gemeentelijk Havenbedrijf.

Daarna zijn er door het bevoegd gezag richtlijnen opgesteld ten behoeve van de opstelling van het MER. Vervolgens is in 1995 het milieu-effectrapport "Een nieuwe Loswal Noord voor het lossen van baggerspecie in zee?" opgesteld door de initiatiefnemers.

Het advies van de Commissie m.e.r. is 8 september 1995 uitgebracht.

- De Commissie m.e.r. geeft naast een oordeel over het MER een aantal aanbevelingen voor de besluitvorming alsook voor monitoring en onderzoek. Deze aanbevelingen voor monitoring en onderzoek zijn: Inventariseren of tributyltin (TBT) in bepaalde baggervakken relatief in hoge concentraties voorkomt, al of niet in combinatie met andere gidsstoffen, om die bij voorkeur te storten in een verdiepte loswal.
- Onderzoek naar de verspreiding van TBT na storten.
- Monitoring van gehalten aan contaminanten in de bodem van de (verdiepte) loswallen in combinatie met bestandsopnamen van bioturbatie-veroorzakende bodemorganismen.

Het milieu-effectrapport is tezamen met de aanvraag voor een ontheffing op grond van de Wet Verontreiniging Zeewater voor het lossen van baggerspecie op de Noordzee ingediend bij DNZ op 12 december 1995. De ontwerpbeschikking en de definitieve beschikking hebben elk begin 1996 ter visie gelegen.

Als laatste stap is er naast de ontheffing op grond van de Wvz, waarvoor de m.e.r.-procedure is gevolgd, specifiek voor de verdiepte loswallen op 21 april 1998 nog een besluit genomen op grond van de Ontgrondingenwet (AMU/1655). Tevens is op 21 april 1998 voor de verdiepte loswallen een besluit genomen op grond van de Wet milieubeheer (Wm AMU 1654) als reactie op de aanvraag voor het oprichten van een inrichting op grond van art 8.1 lid 1 A/C Wm. Met laatstgenoemd besluit wordt de realisering van de inrichting van de Verdiepte Loswallen mogelijk gemaakt. In artikel 6, lid 7a van de vergunningvoorschriften staan de eisen vermeld waaraan het onderzoek voor, tijdens en na het storten van baggerspecie moet voldoen.

2.3 Te beantwoorden vragen

De vragen uit het MER bestrijken een ruim onderzoeksgebied. Om het onderzoek beheersbaar te houden in omvang, tijdshorizon en betaalbaarheid is dan ook een beperking in de vraagstelling aangebracht door de volgende afbakening in deze studie aan te brengen. In het MER zijn verwachtingen opgesteld ten aanzien van de effectiviteit en de milieu-effecten van de nieuwe loswallen. Deze verwachtingen zijn omkleed met onzekerheden, die worden veroorzaakt door leemten in kennis. Een belangrijk deel van de kennisleemten betreft algemene vraagstukken die niet specifiek aan de loswalproblematiek gekoppeld zijn en die het karakter van fundamenteel onderzoek hebben. Het onderhavige onderzoek c.q. monitoringsprogramma richt zich niet op deze vragen.

Globale ruimtelijke effecten vanaf zo'n 10 km zijn op de relatief korte termijn niet te onderscheiden van de natuurlijke variabiliteit en worden op lange termijn afgedekt door andere onderzoeken. Ook deze veraf-effecten vormen geen doel voor dit onderzoek.

Alleen aan lokale effecten rond de loswallen wordt aandacht besteed en hierop is de monitoringsinspanning gericht. Verder zijn alleen de effecten op het ecosysteem van de Loswal Noord en Noordwest onderzocht, en niet die van de Verdiepte Loswal. De reden hiervan is dat de effecten op de Verdiepte Loswal geringer zullen zijn dan op de verplaatste loswal, Loswal Noordwest, omdat op de Verdiepte Loswal aanzanding makkelijker plaats kan vinden omdat het verdiept ligt. Hierdoor zal na afloop van het storten een bodem ontstaan die meer vergelijkbaar is met de uitgangssituatie dan bij de verplaatste loswal.

Voor deze studie vormen o.a. de milieunormen het uitgangspunt. Het betreft de *Uniforme Gehalte Toets (UGT)*. Op grond hiervan wordt besloten of de baggerspecie uit een havenvak naar zee gaat of op land geborgen wordt. Verder worden hier de aanwezigheid van de haven en het voortbestaan ervan niet ter discussie gesteld of onderzocht. De rentabiliteit van de haven, de toegevoegde waarde aan de Nederlandse economie en de hoogwaardigheid van de havenactiviteiten zijn derhalve geen onderwerp van onderzoek. Zoals reeds vermeld is, zijn er twee typen hoofdvragen:

- Hoe groot is de retourstroom? Dit betreft de effectiviteit van de baggerinspanning.
- Wat is het herstel van het ecosysteem op de oude en wat de achteruitgang van het ecosysteem op de nieuwe loswal? Dit betreft de milieueffecten van de baggerinspanning.

In het MER zijn de vragen meer gedetailleerd gesteld. In bijlage 1 in hoofdstuk 20 staan ze vermeld.

In de voorloper van dit rapport, getiteld 'Bagger vaart een stukje verder' uit 1999 (Sandeh, 1999) zijn de vragen uit het MER gegroepeerd in hypothesen waarna de afzonderlijke hypothesen al dan niet gefalsificeerd zijn. Aangezien de inhoud van dit rapport een opsomming van meetresultaten betreft en geen verklaring in de vorm van werkingsmechanismen, is methodologisch gezien de aanpak in de vorm van (werk)hypothesen onjuist. Om deze reden is in dit rapport de hypothesen-aanpak verlaten en teruggekeerd naar het beantwoorden van een deel van de vragen uit het MER.

2.4 Projectorganisatie 'Monitoring Alternatieve Loswallen'

Om dit evaluatierapport te kunnen opstellen, is bij RIKZ in 1995 het project *SLURP**MER gestart, dat later (in 1997) omgedoopt is in *MAL* (Monitoring Alternatieve Loswallen). De opdracht voor dit onderzoek kwam van de stuurgroep 'Baggeren 2000', waarvan de naam na de millenniumwende gewijzigd is in *Baggerdriehoek*. De leden van de stuurgroep waren afkomstig uit Directie Zuid-Holland (DZH) en Directie Noordzee (DNZ) van Rijkswaterstaat en uit het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam (GHR). De dagelijkse aansturing van het onderzoek, de controle op de voortgang en het bespreken van de resultaten vond plaats in de werkgroep 'MAL'. De leden waren afkomstig van DZH, GHR, DNZ en RIKZ. Het inhoudelijke werk en het projectmanagement werd verzorgd door de projectleider van het project 'MAL' bij het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ).

In de fase dat het onderzoek vooral gericht was op de milieuaspecten leverde Directie Noordzee de voorzitter van de werkgroep *MAL*, in de tweede fase toen de aandacht meer op de fysische processen gericht was, was het voorzitterschap in handen van Directie Zuid-Holland.

Het project MAL heeft binnen RIKZ samengewerkt met de projecten SILTMAN en PUTMOR (later K2005) voor slibmetingen bij de bodem en modelberekeningen, respectievelijk fysisch onderzoek in de lege Verdiepte Loswal.

In bijlage 18 staat de personele bezetting van de groepen en de instituten waarmee is samengewerkt.

De financiering van het onderzoek kwam zowel van Rijkswaterstaat als van de Gemeente Rotterdam.

3 Aanpak van het onderzoek

Het onderzoek naar Loswal Noord en Loswal Noordwest heeft geruime tijd in beslag genomen, n.l. van 1995 tot en met 2002, en heeft van 5 vakdisciplines gebruik gemaakt. Hierdoor is het onderzoek een complex geheel geworden. Een complicatie bij dit onderzoek was dat een deel van het geplande onderzoek achteraf niet bruikbaar bleek, waardoor deels een andere weg moest worden ingeslagen. Om de lezer het overzicht bij de beschrijving van de werkwijze en resultaten van dit onderzoek te kunnen bieden, is dit hoofdstuk 'Aanpak van het onderzoek' toegevoegd.

Het chemische onderzoek naar de verontreiniging, het ecotoxicologische onderzoek naar de mogelijke giftige werking van de gestorte baggerspecie en het biologische onderzoek naar enerzijds herstel en anderzijds achteruitgang van het ecosysteem zijn volgens het plan uit 1995 uitgevoerd. Een kleine aanpassing is dat, gezien de resultaten van Loswal Noord, het ecotoxicologische onderzoek niet is voortgezet bij Loswal Noordwest. Echter, het fysische onderzoek gericht op het vaststellen van het wegstroom- en het retourpercentage, leverde de meeste hoofdbreken op. Oorspronkelijk werd troebelheid in de waterfase gemeten, terwijl later, na twee workshops met vele betrokkenen, bleek dat onderzoek naar slibsporen op de bodem een grotere kans op succes bood.

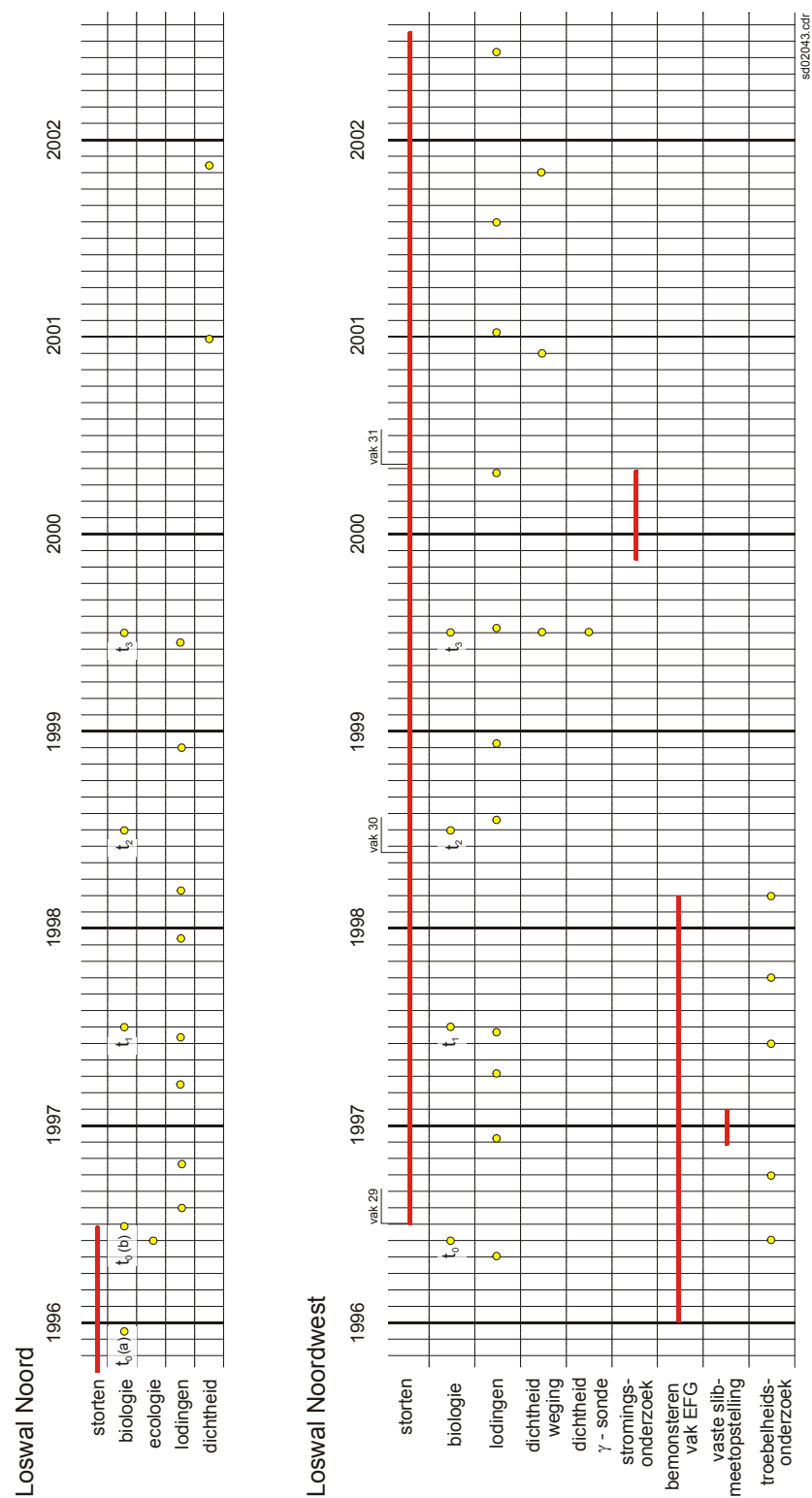
3.1 Bodemsamenstelling

Door het storten van baggerspecie zal op de loswal(len) de samenstelling van de zeebodem veranderen. Deze verandering is gevolgd om een beschrijving van dit proces te kunnen geven en ook om de bodemsamenstelling te kunnen correleren aan de gevonden verschijnselen.

Zowel bij het biologische als bij het chemische onderzoek is de korrelgrootteverdeling van de bodem bepaald, samen met de mediane korrelgrootte en andere relevante parameters.

Tijdens de radiometrische kartering is ook bodemonderzoek verricht om het radioactieve signaal te kunnen ijken. Daarnaast zijn ook enkele afzonderlijke bodemmetingen verricht.

Figuur 3-1 Overzicht van het onderzoek



Overzicht van het onderzoek; de disciplines biologie, chemie, ecotoxicologie en fysica (lodingen, dichtheid).

sd02043

3.2 Retourstroom Loswal Noord

Het is nu niet meer mogelijk om het wegstroom- of het retourpercentage van Loswal Noord te bepalen. Dit kan alleen bij een 'nieuwe' loswal omdat daar van een ongerepte situatie kan worden uitgegaan, waardoor een verschilbepaling mogelijk is en waardoor 'verse' slijbsporen op de zeebodem kunnen worden gedetecteerd.

Metingen in het verleden om het retourpercentage vanaf Loswal Noord naar de haven van Rotterdam vast te stellen hebben slechts schattingen met ruime marges opgeleverd. Er zijn destijds echter wel modelstudies uitgevoerd (MER, Anonymous, 1995-a). Op grond hiervan is geschat dat jaarlijks van de gestorte hoeveelheid, gemiddelde 7,4 miljoen ton, 2,4 miljoen ton weer terugstroomt, zo'n 32 %. Aan dit getal kleven onzekerheden. De details hiervan staan in § 4.1.1 (kwantificering zand- en slijbstromen) en in Figuur 4-3. Aangezien de baggerkosten voor de Gemeente Rotterdam en Rijkswaterstaat jaarlijks zo'n 10 miljoen euro bedragen, kan de besparing op het baggeren zelf theoretisch tot zo'n 3 miljoen oplopen op jaarbasis, minus de kosten voor de extra vaarafstand. In het MER is geschat dat de kostenreductie maximaal 10 % zal bedragen, circa 1 miljoen euro.

In dit rapport staan ook de resultaten van de nieuwste modelstudies vermeld.

3.3 Retourstroom Loswal Noordwest

Een belangrijke vraag van dit onderzoek betreft de omvang van het wegstroom- en retourpercentage. Dit is niet zozeer een ecologische of milieu-vraag maar een economisch vraagstuk omdat met het baggeren grote kosten zijn gemoeid. Het verplaatsen van de loslocatie van de oude Loswal Noord naar Loswal Noordwest beoogde een vermindering van het wegstroom- en retourpercentage en daarmee een reductie van de baggerkosten. In deze paragraaf passeren de verschillende mogelijkheden (en onmogelijkheden) om het wegstroom- c.q. retourpercentage vast te stellen de revue. In § 4.1.4 (Stroming in het kustgebied) is uitgelegd waarom het aannemelijk is dat de retourstroom vanaf de nieuwe Loswal Noordwest afwezig zal zijn of veel minder zal zijn dan vanaf de oude Loswal Noord. In dit project zal geprobeerd worden om de omvang van de retourstroom vast te stellen.

Het bepalen van de **baggerinspanning** middels een zorgvuldige baggeradministratie geeft een goede indicatie van de retourstroom. Alleen is de kwantificering van de retourstroom pas na lange tijd (circa 10 jaar) betrouwbaar, zie hieronder bij Baggergegevens [ad a](#).

Om de volgende redenen is het slecht doenlijk om de feitelijke retourstroom te bepalen. De retourstroom, of beter gezegd het massatransport van fijn materiaal van de loswal naar de havens wat bijdraagt tot de extra baggerinspanning, vindt plaats in de waterfase of waterkolom en vlak boven de bodem. Het ligt voor de hand om in de waterkolom te meten maar de grote natuurlijke variaties in het zwevend stofgehalte maken interpretatie van de resultaten moeilijk. Gelijktijdig meten op verschillende locaties of in één watervolume stelt hoge eisen aan de meetinspanning. Gezien de grote natuurlijke variaties zou ook zeer frequent gemeten moeten worden, iets wat de monitoring erg kostbaar maakt. Bovendien vindt het grootste deel van het

transport tijdens storm vlak boven de bodem plaats, op een plek en onder omstandigheden die metingen bijna onmogelijk maken.

Als metingen in de waterkolom slecht doenlijk zijn, vallen (daarnaast) metingen op de bodem te overwegen. Op de bodem laat het transport slibsporen achter. Deze metingen zijn kostbaar en, afhankelijk van de gekozen methode, ook arbeidsintensief. De resultaten zijn slechts te interpreteren in combinatie met modelberekeningen. De beschikbare modellen zijn niet voor dit doel gemaakt. Het is de vraag of ze hier wel geschikt zijn.

Een derde mogelijkheid is om een **tracerproef** uit te voeren, zie Waterfase ad g.

Vaststellen van het retourpercentage kan in theorie geschieden op basis van de volgende gegevensbronnen (a t/m j):

I. BAGGERGEGEVENS

Haven/vaargeul

a. afname baggerinspanning

II. BODEM

Op de loswal

b. af- c.q. toename volume van gestort materiaal op Loswal Noordwest

c. veranderde verhouding zand/slib_{< 63 µm} op Loswal Noordwest t.o.v. gestort materiaal

Rond de loswal

d. verspreiding van slib_{< 63 µm} op de bodem rond de loswal

Haven/ vaargeul

e. bodemsamenstelling toegangsgeul

III. WATERFASE

Op de loswal

f. meten stroomsnelheid en stroomrichting van slib_{< 63 µm} en water

Hele gebied van loswal tot haven

g. tracerproef

Rond de loswal

h. toename troebelheid bij Loswal Noordwest

i. meten met kunstslib

Haven/ vaargeul

j. toename troebelheid bij toegangsgeul naar haven

I. BAGGERGEGEVENS

Haven/vaargeul

Ad a. afname baggerinspanning

De eenvoudigste manier om een indruk van de afname van de retourstroom te verkrijgen is door de baggerinspanning te meten. Aangezien de baggerinspanningen van jaar tot variëren duurt het een aantal jaren voordat een statistisch betrouwbare uitspraak kan worden gedaan. Een voorbeeld moge het verloop van de baggercijfers in 1993 en 1994 zijn. In deze jaren zijn grotere hoeveelheden gebaggerd dan in de jaren ervoor. Wanneer de loswal in 1992 verplaatst zou zijn en daadwerkelijk tot een reductie van 30 % (zie Figuur 6-14) op de aanslibbing zou hebben geleid, zou deze reductie door de natuurlijke variabiliteit in 1993 en 1994 nooit zichtbaar zijn geworden.

Daarnaast zijn er meer factoren die de aanslibbing van de haven beïnvloeden of kunnen gaan beïnvloeden zoals

- (1) het doorsteken van een dam in de haven, de Beerdam, op twee plaatsen
- (2) het gedeeltelijk openzetten van de Haringvlietsluizen,
- (3) het graven van een nevengeul ('Trog van Tom') en
- (4) een mogelijk toekomstige zeewaartse uitbreiding van de Maasvlakte.

Ad (3). Met de 'nevengeul of 'Trog van Tom' wordt een verbreding en verdieping aan de zuidzijde van de Maasgeul bedoeld. Deze geul is aangelegd in en poging de retourstroom naar de haven te verminderen. Deze 'nevengeul' is aangelegd tussen september 1996 en mei 1997 en heeft een lengte van 4,5 km, een breedte van 180 m en een overdiepte ten opzichte van de vaargeul van 5 tot 8 m. Het vrijgekomen zand, 5 miljoen kuub zand, is op Loswal Noord gestort (zie Figuur 5-1). Eind 2000 was, gerekend van de landzijde, de eerste 0,5 km vol, eind 2002 de daarop volgende kilometer. Hoe verder van het land af, hoe langzamer de aanzanding verloopt.

Al deze ingrepen vinden plaats op een oppervlakte van 50 x 50 km en hebben invloed op de waterbeweging en daarmee op de slibtransporten in het gebied. Daarnaast vindt ook aanslibbing plaats vanuit het zuiden vanaf de Haringvlietsluizen. Een verandering in deze aanslibbing heeft ook invloed op het baggervolume.

De baggerinspanningen worden beschreven in § 6.2.

II. BODEM

Op de loswal

Ad b. afname volume op Loswal Noordwest

De gestorte baggerspecie neemt een zeker volume in op de loswal. Dit volume kan door middel van lodingen worden bepaald. Het gestorte volume kan op twee manieren afnemen, nl. door ontwateren (inklinken) en door wegstromen van het gestorte materiaal. Door het volume via de dichtheid om te rekenen naar massa oftewel het aantal tonnen droge stof, valt een massabalans op te stellen. Het verschil tussen de gestorte massa en de achtergebleven massa geeft aan hoeveel is weggestroomd. Het lichte, weggespoelde materiaal kan zich zowel in de waterkolom als op de bodem rondom de loswal bevinden.

De lodingen en bodemsamenstelling worden beschreven in § 6.4. Uit de berekende vermindering van de massa op de loswal kan niet berekend worden in welke richting het materiaal is weggespoeld. Een bepaling van de hoeveelheid rond de loswal en de transportrichting staat beschreven onder ad d.

Ad c. veranderde verhouding zand/slib_{< 63 µm} op Loswal Noordwest

De samenstelling van baggerspecie, nl. het percentage slib_{< 63 µm} en zand, verandert zodra het op de loswal wordt gestort. Doordat tijdens het storten wel het slib_{< 63 µm} maar niet het zand wegspoelt, zal de zandfractie toenemen. Uit de kennis van de veranderde samenstelling kan de verdwenen hoeveelheid slib_{< 63 µm} worden berekend. Maar ook dan is de wegstroomrichting nog onbekend.

Resultaten staan in § 6.3.

Rond de loswal

Ad d. verspreiding van slib, silt en klei op de bodem rond de loswal

Als er materiaal wegspoelt van de loswal dan zal dat te zien zijn aan sporen op de bodem in het gebied rond de loswal. Het is echter lastig om de bodem rond

de loswal in detail in kaart te brengen. Fotograferen gaat niet omdat het te donker is en bemonsteren is eigenlijk onbegonnen werk omdat er voor een nauwkeurige vaststelling van de hoeveelheid slib, silt en klei op de bodem, vele honderden bodemonsters genomen zouden moeten worden, gevolgd door korrelgrootteanalyse. Een oplossing bood de z.g. '*radiometrische kartering*'. Een radiometrische kartering laat zien op welke plek hoeveel slib (de fractie $< 63 \mu\text{m}$) op de bodem ligt in een gebied van kilometers groot rond de loswal. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de natuurlijke radioactiviteit van de bodemmateriële. Met een radioactiviteitssonde wordt de natuurlijke gammastraling gemeten. Dit onderzoek wordt beschreven in § 6.5.

Haven/ vaargeul

Ad e. bodemsamenstelling toegangsgeul

De retourstroom vanaf de oude Loswal Noord zal een zekere hoeveelheid slib $_{< 63 \mu\text{m}}$ afzetten in de vaargeul (Maasgeul) en haven van Rotterdam. Wordt deze retourstroom minder door de ingebruikname van de nieuwe Loswal Noordwest dan zal het effect hiervan het sterkst te zien in de vaargeul vlak voor de haven. Dit komt doordat de invloed van rivierslib hier het minst is terwijl de sedimentatie groter is dan in de vaargeul verder op zee. De verwachting is dat door de ingebruikneming van de nieuwe loswal het slibgehalte of de slib/ zandverhouding op deze plekken zal afnemen. De resultaten hiervan staan beschreven in bijlage 9.

III. WATERFASE

Op de loswal

ad f. meten stroomsnelheid en stroomrichting van slib $_{< 63 \mu\text{m}}$ en water

Inzicht in de stroomrichting van het water vlak boven de bodem van Loswal Noordwest geeft aanwijzingen of er mogelijk slib $_{< 63 \mu\text{m}}$ in de richting van de haven en vaargeul stroomt. Gebruik van een slibmeter geeft bovendien aan hoeveel slib $_{< 63 \mu\text{m}}$ in welke richting is gestroomd. Dit onderzoek is tussen november 1999 en april 2000 uitgevoerd. Dit resultaat staat beschreven in hoofdstuk 8.

Ad g. tracerproef

Een andere mogelijkheid om de retourstroom vast te stellen is door een tracerproef uit te voeren. Hiertoe wordt het slib $_{< 63 \mu\text{m}}$ gemengd met een tracerstof of wordt deze tracerstof gebonden aan het slib $_{< 63 \mu\text{m}}$. Daarna wordt het tracermateriaal (slib + tracer) gestort op de loswal. De hoeveelheid en het gehalte van het tracermateriaal, dat na verloop van tijd wordt teruggevonden in de waterfase, bodem en haven, is een maat voor de retourstroom. Bij een dergelijke proef rijzen de volgende vragen c.q. problemen:

- I Wat is de retourstroom eigenlijk? Het baggeren en de massastroom terug naar de haven verlopen continu. Hoe snel is een deeltje weer terug in de haven? Hoe vaak wordt een deeltje in een jaar opgebaggerd en weer op de loswal gestort?
- II De tracerstof mag van nature niet of nauwelijks in het milieu voorkomen, niet giftig zijn en moet stevig aan het slib $_{< 63 \mu\text{m}}$ kunnen worden 'vastgebakken'.
- III De tracerproef kan maar één keer goed worden uitgevoerd, (bij twee verschillende tracerstoffen twee keer, etc.)
- IV Wanneer stort je de tracerstof en hoeveel? Alles in één klap, elke dag

-
- een beetje en over welke periode?
- V Welke *recovery* van het teruggestroomde tracermateriaal verwacht je in de haven? En welk gedeelte is meetbaar? Hoeveel monsters moeten in de haven genomen worden?

Voor de interpretatie van de resultaten zijn aanvullende berekeningen met een mathematisch slibtransportmodel nodig. Gezien alle problemen, onzekerheden en de noodzaak om een model te gebruiken, is er geen tracerexperiment uitgevoerd.

Rond de loswal

Ad h. toename troebelheid bij Loswal Noordwest

Het wegstromen van slib_{< 63 µm} zal een toename van de troebelheid rond de loswal veroorzaken. Het meten van de troebelheid op en rond de loswallen kan inzicht geven in de retourstroom. Het gaat hierbij om het verschil in troebelheid. Hierbij kan de troebelheid vòòr ingebruikneming van de Loswal Noordwest vergeleken worden met die nà ingebruikneming. Daarnaast kan de troebelheid op verschillende afstanden vanaf de loswal worden gemeten. Het probleem hierbij is dat verschillende watervolumes, die op verschillende plaatsen en op verschillende tijden gemeten zijn, onderling slecht te vergelijken zijn. Elk watervolume heeft zijn eigen 'geschiedenis' die bovendien van moment tot moment verandert. Bovendien is er een hoge achtergrondconcentratie aanwezig van 20 - 30 mg slib_{< 63 µm} per liter. De gemeten troebelheid wordt gerelateerd aan het, eveneens gemeten, gehalte aan zwevend sediment. De interpreteerbaarheid van de metingen zou toenemen als op één tijdstip op verschillende plaatsen zou worden gemeten. Een andere mogelijkheid zou zijn om een volume water in de tijd te gaan volgen zoals bij de methode '*Fliessende Welle*'. Hierbij wordt een 'waterpakket' in de tijd gevolgd op zijn 'reis'. Deze laatste aanpak is niet gevolgd. Het uitgevoerde onderzoek, waarbij willekeurig in ruimte en tijd is gemeten, staat in bijlage 2.

Ad i. meten met kunstslib

Het meten van slibtransporten in de waterfase, die vanaf de loswal afkomstig zijn, heeft het nadeel dat geen direct onderscheid valt te maken met slib_{< 63 µm} van andere bronnen. Dit nadeel kan ondervangen worden door 'kunstslib' in zee te brengen en het gedrag daarvan te volgen. Dit kunstslib kunnen bollen zijn die dezelfde dichtheid als slib_{< 63 µm} hebben en op dezelfde hoogte in zee drijven als het te onderzoeken slib_{< 63 µm}. Om deze bollen met een boot of anderszins te kunnen volgen, moeten ze een zekere omvang hebben. Doordat de kunstballen groter zijn dan het natuurlijke slib, zal het stromingsgedrag afwijken van dat van het 'echte' slib_{< 63 µm} waardoor de verkregen resultaten minder goed te interpreteren zijn. Een dergelijk onderzoek is niet uitgevoerd.

Haven/ vaargeul

Ad j. toename troebelheid bij toegangsgemaal naar haven

Door aan weerszijden van de vaargeul naar de haven, de Euro-Maasgeul, stroomsnelheidsmetingen en troebelheidsmetingen uit te voeren kan de retourstroom bepaald worden. Voor deze berekening zijn numerieke stoftransportmodellen nodig die gevoed worden met de onderliggende processen van het slibtransport. De metingen voor de ingebruikneming van de

nieuwe loswal geven de retourstroom van de oude Loswal Noord, metingen na die datum geven die van de nieuwe Loswal Noordwest.
Resultaten van dit onderzoek staan in bijlage 3.

Vaststellen omvang wegstroom- en retourpercentage

Samengevat zijn er vermoedelijk vier bruikbare technieken om het wegstroom- dan wel het retourpercentage vast te stellen.

ad a	Baggeradministratie	§ 6.2
ad c	Slibpercentage op loswal	§ 6.3
ad b	Lodings- en dichtheidsgegevens	§ 6.4
ad d	Radiometrische kartering	§ 6.5

Daarna wordt een uitspraak gedaan over de bruikbaarheid van de methode.

3.4 Chemie

Voor Loswal Noord en Noordwest is chemisch onderzoek verricht aan de zeebodem waarbij het gehalte aan contaminanten is bepaald. Met deze gegevens wordt de ontwikkeling van de verontreinigingsgraad in de tijd gevolgd en ook de ruimtelijke uitgebreidheid. Hiertoe zijn de gemeten gehalten omgerekend naar gestandaardiseerde waarden.

3.5 Ecotoxicologie

Voor Loswal Noord zijn toxiciteitstests met de gestorte baggerspecie uitgevoerd. Hiermee is nagegaan of 35 jaar storten van baggerspecie een nadelig, giftig effect heeft op het bodemecosysteem. Toen uit de gevonden resultaten bleek dat er geen significante giftige effecten werden gevonden, is geconcludeerd dat het onwaarschijnlijk is dat op de nieuwe Loswal Noordwest giftige effecten gevonden zouden worden. Om deze reden is het ecotoxicologische onderzoek beperkt tot Loswal Noord.

3.6 Het bodemecosysteem van Loswal Noord en Loswal Noordwest

Na 35 jaar storten bij Loswal Noord in de Noordzee is een oppervlak van 24 km² (4 bij 6 km) bedekt met baggerspecie. Dit oppervlak is beperkt: het vormt 0,3 % van het oppervlak van de kustzone (7.000 km²) en slechts 0,04 % van het oppervlak van het Nederlands deel van het continentaal plat (57.000 km²). Ook de nieuwe Loswal Noordwest neemt maar een relatief gering deel van de Noordzeebodem in beslag, nl. 8 km², (2 bij 4 km).

Bij de ingebruikneming van het nieuwe stortgebied van Loswal Noordwest ontstond de behoefte een antwoord te krijgen op de vraag welk effect deze stortingen hebben op het macrobenthos (het leven op en in de bodem). Meer specifiek: hoe reageert het macrobenthos, en speciaal de wat grotere en relatief langlevende soorten.

Er is voor macrobenthos gekozen als testgroep omdat deze gebonden is aan de bodem en omdat er gestandaardiseerde methoden voor monsternamen en

beoordeling van deze organismen bestaan. Daarbij worden parameters als soortensamenstelling, dichtheid en biomassa gemeten.

De gestelde vragen:

- zijn er soorten die als gevolg van de baggerspeciéstoringen in aantal afnemen?
- zijn er soorten die juist toenemen - direct of indirect - door de veranderde omstandigheden?

Vervolg vragen:

- zijn effecten ook buiten het stortgebied meetbaar en zo ja, hoe ver buiten het gebied en in welke richting is er sprake van een dergelijke uitwaaiing? (er werd tot 8 km gemeten)
- hoe snel na beëindiging van de stortingen treedt een herstel op van sedimentcondities en een natuurlijke faunasamenstelling?

Het ligt voor de hand dat het bodemleven op de plaats van een loswal wordt aangetast vanaf het moment van de eerste storting van baggerspecie. Het is ook aannemelijk dat het bodemleven zich na het beëindigen van de storting zal herstellen. Maar hoe snel zal dit herstelproces verlopen en in hoeverre zal de 'oude' situatie ooit weer bereikt worden?

Het bodemleven is aangepast aan het dynamische karakter van de kustzone van de Noordzee. Het valt echter nog te bezien of begraven worden onder een sliblaag van vele meters dik nog binnen deze dynamiek valt. De verwachting is gerechtvaardigd dat migratie van volwassen dieren en kolonisatie via larven aan het herstelproces zullen bijdragen.

Bij de interpretatie van de resultaten op de stortlocaties wordt steeds een vergelijking gemaakt met stations op enkele kilometers afstand. Stations die relatief dicht bij de stortlocatie liggen hebben als nadeel dat ze ook beïnvloed kunnen worden door het storten van baggerspecie, zodat ze geen onbeïnvloede referentie vormen. Daartegenover staat dat een station op grotere afstand ook niet als een echte referentie kan worden ingezet omdat de bodemsamenstelling en de bodemgemeenschap door de natuurlijke ruimtelijke variatie in de Noordzee niet meer vergelijkbaar is. In deze studie wordt gekozen voor een middenweg waarbij 'referentie'-stations worden gekozen op verschillende afstanden van de stortlocaties.

Om de effecten van het storten van baggerspecie, uitwaaiing en herstel te onderzoeken wordt zowel op de oude Loswal Noord als op de nieuwe Loswal Noordwest in beginsel hetzelfde type onderzoekswerkzaamheden uitgevoerd.

3.7 Opname gegevens in data-opslagsysteem

Tijdens het onderzoek, dat uitgevoerd is voor dit evaluatie-rapport van het milieu-effectrapport, zijn zeer vele data verzameld. Het is van belang dat deze data makkelijk toegankelijk zijn en blijven voor toekomstig onderzoek. Om deze reden worden alle data opgenomen in DONAR, het **D**ata **O**pslagsysteem voor de **N**atte **R**ijkswaterstaat, dat in beheer is bij het **R**ijksinstituut voor **K**ust en **Z**ee (RIKZ). Dit systeem is ook via internet te benaderen.

Deel II

Fysica

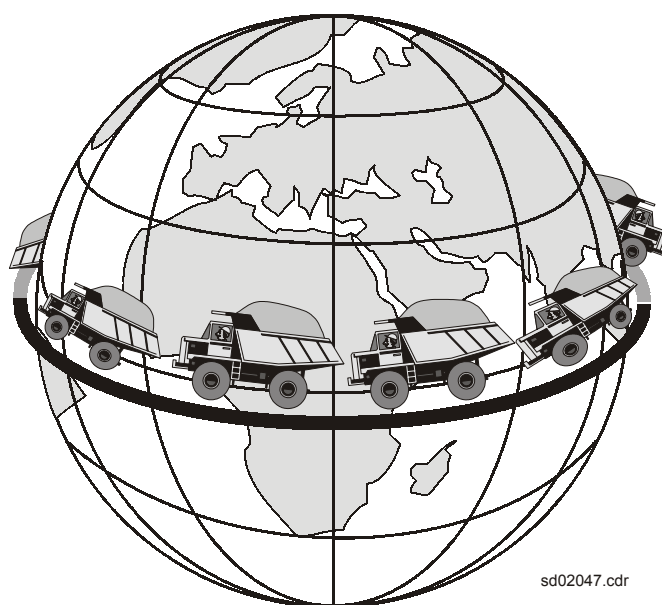
4 Massatransport en gebiedsontwikkeling

4.1 Zand- en slibstromen

4.1.1 Kwantificering zand- en slibstromen

Jaarlijks wordt in het Rijnmondgebied een hoeveelheid baggerspecie opgebaggerd die vanaf 1985 varieert tussen 7 en 17 miljoen m³. Een dergelijke hoeveelheid is makkelijker te visualiseren als het wordt voorgesteld als een blok bagger van 1 km bij 1 km en zo'n 7 tot 17 m hoog, of tien tot twintig keer de Kuip in Rotterdam vullen of als een file vrachtauto's geheel gevuld met baggerspecie die de halve evenaar omspant (Figuur 4-1).

Figuur 4-1 Baggerspecie uit de Rijnmond



Met de jaarlijks gebaggerde hoeveelheid baggerspecie uit het Rijnmondgebied kan een file vrachtauto's gevuld worden die de halve evenaar omspant.

sd02047

Deze hoeveelheid is uitgedrukt in kubieke meters en is inclusief het mee opgezogen water. Het volume in de bodem vóór het baggeren was dus geringer en ook zal het volume na het storten op zee en na het inklinken kleiner zijn. De gebaggerde hoeveelheid wordt ook uitgedrukt als gewicht. Hiervoor wordt de eenheid *tonnen droge stof* gebruikt (TDS). Het omrekenen van het volume naar het gewicht gebeurt op grond van de dichtheid. Deze varieert van 1,1 voor waterige bagger tot 2,0 ton.m⁻³ voor ingeklonken baggerspecie. De feitelijke dichtheid zal voor elke situatie apart bepaald moeten worden. Op de loswallen is de actuele dichtheid van de gestorte baggerspecie bepaald.

Het materiaal waarmee de haven aanslibt bestaat uit een mengsel van zand en slib_{< 63 µm} en is zowel vanuit zee als vanaf de rivieren afkomstig. Onder slib

wordt hier de fractie van het sediment verstaan waarvan de diameter kleiner is dan 63 μm . Zie voor een uitleg van het begrip 'slib' de begrippenlijst, bijlage 20.

Het vaste materiaal wat de rivieren meevoeren, is afkomstig uit erosie van rotsen. De zee voert zand en slib_{< 63 μm} aan afkomstig van de Vlaamse banken, van de kust van Engeland en vanuit het Kanaal.

4.1.2 Sedimentstromen in het onderzoeksgebied

Er worden verschillende sedimentstromen onderscheiden. Het zijn:

- a) aanvoer vanuit zee, uit het zuiden;
- b) aanvoer vanuit de rivier, de Rijn;
- c) storten vanuit de beun van de baggerschepen op de loswal;
- d) retourstroom vanaf de loswal terug naar vaargeul en haven;
- e) wegstromen vanaf de loswal naar het noorden, richting Waddenzee.

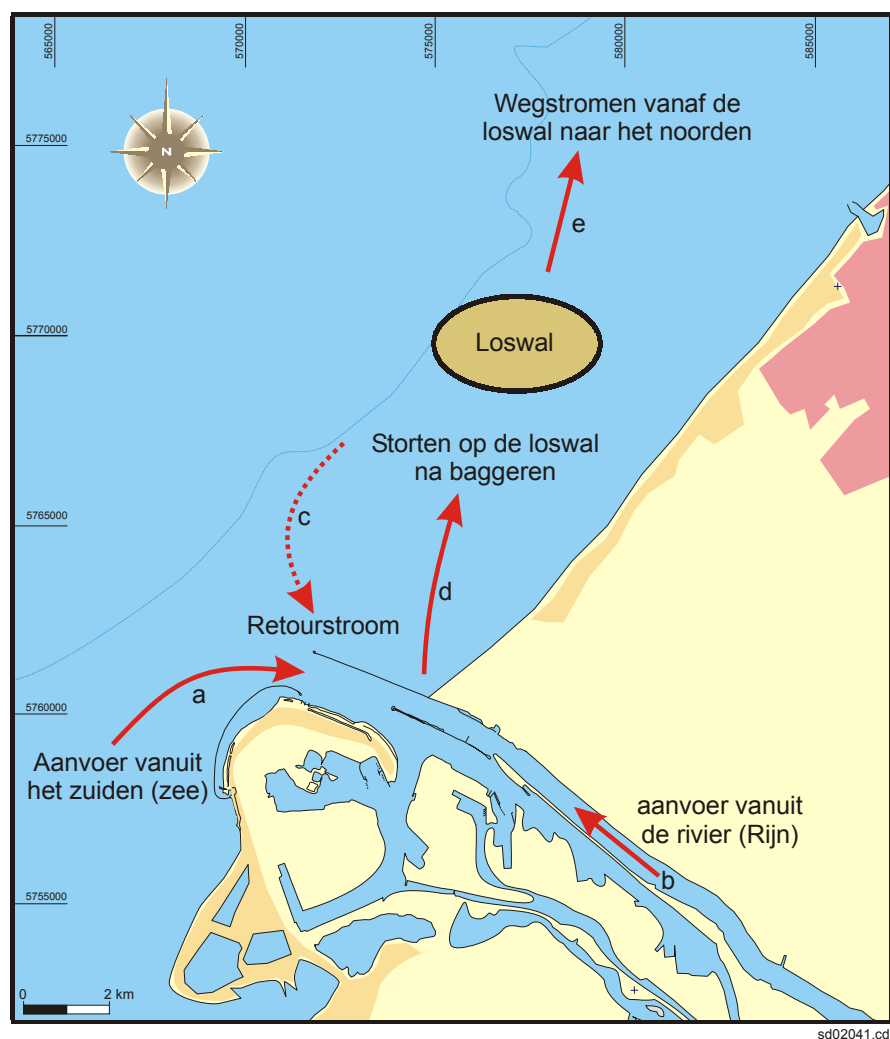
De verschillende stromen staan schematisch weergegeven in Figuur 4-2.

De oorsprong en de omvang van de hoeveelheid baggerspecie wordt getoond in Figuur 4-3 en is als volgt onderverdeeld. De mariene sedimentstroom langs de Nederlandse kust van zuidwest naar noordoost bevat in totaal ongeveer 7 miljoen ton droge stof per jaar bij een stroombreedte van circa 60 km. Deze stroom is bepalend voor de aanwezigheid van het slib_{< 63 μm} in de kustzone ter hoogte van Loswal Noord. De hoeveelheden zijn uitgedrukt in hoeveelheid droge stof. Het meeste materiaal wordt in suspensie aangevoerd. De grovere fractie, zand, bevindt zich het dichtst bij de bodem. Door dichtheidsverschillen ten gevolge van de aanwezigheid van zoet Rijnwater worden slib_{< 63 μm} (en zand) naar de kust 'toegezogen'. Door de grote diepte van vaargeul en haven kan het aangevoerde sediment niet meer opgewerveld worden en blijft het liggen. Als gevolg hiervan sedimenteert jaarlijks naar schatting 5,2 miljoen ton marien sediment in de Maasmond en verder stroomopwaarts in het havengebied (MER, p25-28).

Via de Rijn komt jaarlijks gemiddeld 2,0 miljoen ton fluviatiel sediment het havengebied binnen, waarvan 1,5 miljoen ton slib_{< 63 μm} en 0,5 miljoen ton zand. Van de totale hoeveelheid blijft 0,7 miljoen ton in suspensie en verdwijnt naar de Noordzee. De rest, 1,3 miljoen ton, oftewel 65 %, sedimenteert in de haven. Ongeveer 0,2 miljoen ton slib_{< 63 μm} sedimenteert in het gebied waar de licht verontreinigde specie wordt opgebaggerd en wordt op Loswal Noord gestort. De rest, 0,6 miljoen ton slib_{< 63 μm} en 0,5 miljoen ton zand (samen 1,1 miljoen ton = 55 % van het totaal aangevoerde fluviatiel materiaal), wordt met de overige matig verontreinigde specie in het baggerspeciedepot van de Slufter geborgen.

Het gaat al met al dus om aanzienlijke hoeveelheden natuurlijk materiaal die door mensenhanden gaat. Van de 9,6 miljoen ton die jaarlijks vanaf zee en de rivier in de kustzone en de loswal wordt aangevoerd, wordt 8,9 miljoen ton (93 %) opgebaggerd. Van de opgebaggerde hoeveelheid (8,9 miljoen ton) blijft uiteindelijk 5,2 miljoen ton (58 %) achter op de bodem van Loswal Noord en in de Slufter. Naar schatting heeft gemiddeld zo'n 30 - 60 % van het zwevend stof in de kustzone in een baggerschip gezeten (Anonymous, 1995-a, MER, p88 en p28).

Figuur 4-2 Sedimenttransport in de kustzone en haven



Schematisch overzicht van de sedimenttransporten in de kustzone en de haven van Rotterdam.

sd02041

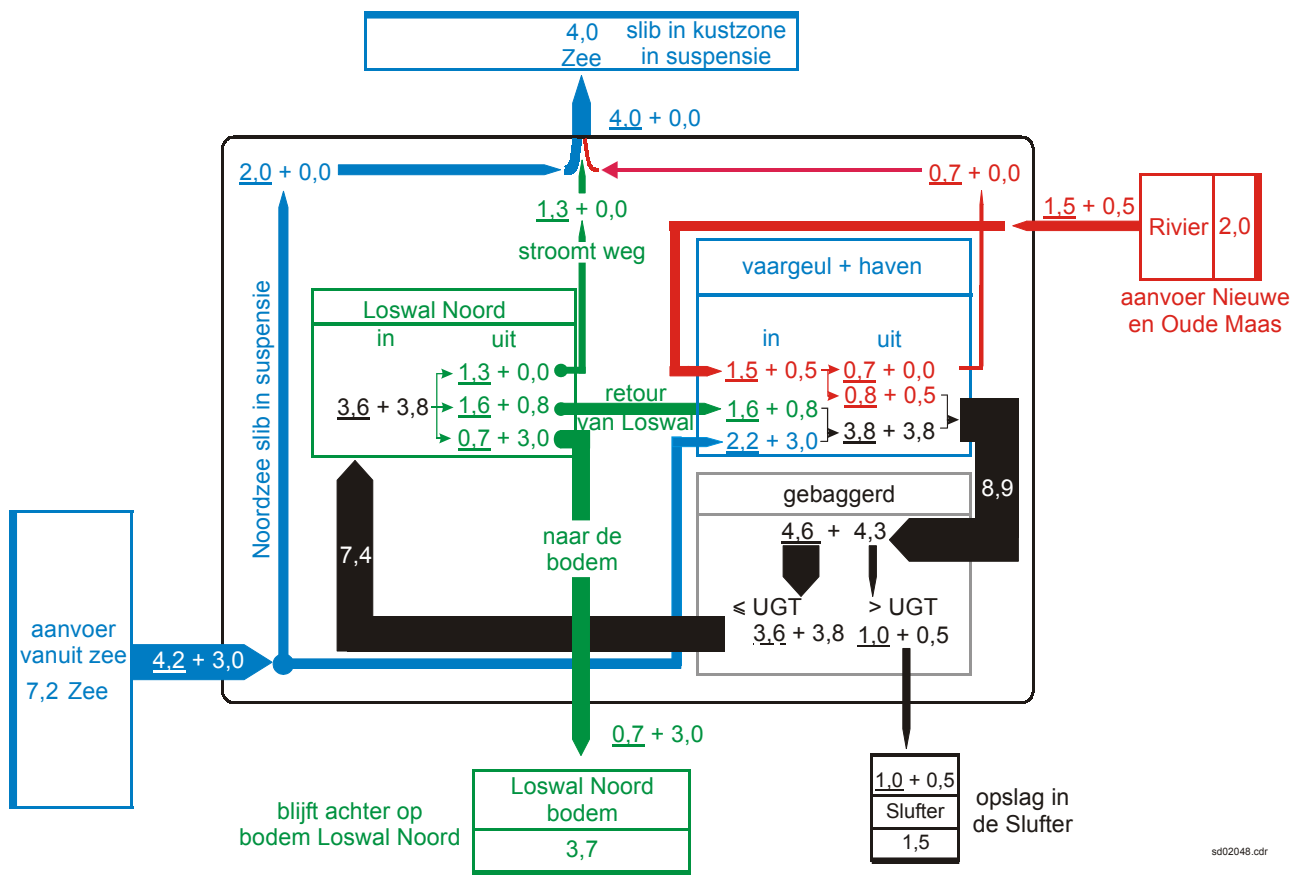
De in de Rotterdamse havens en toegangseulen opgebaggerde hoeveelheid slib_{< 63 µm} is dus zowel van mariene als van fluviatiele herkomst. Daarnaast bestaat iets meer dan de helft van de licht verontreinigde specie uit zand (gemiddeld 3,8 miljoen ton per jaar). Het overgrote deel daarvan wordt aangetroffen in de westelijke baggervakken van de haven en is dan ook van mariene herkomst.

Over het zand dat via de rivier wordt aangevoerd, is weinig bekend. Uit sedimentbalansberekeningen is een hoeveelheid van 0,5 miljoen ton afgeleid. Deze hoeveelheid sedimenteert vrijwel geheel in het gebied met de matig verontreinigde specie.

Samengevat wordt er in de Rijnmond in totaal jaarlijks ca. 17 miljoen m³ (bijna 9 miljoen ton op droge stof basis) slib_{< 63 µm} en zand gebaggerd ten einde de

havens en de vaargeulen op de gewenste diepte te houden. Daarvan wordt het merendeel, nl. circa 12 miljoen m³ (circa 7,4 miljoen ton droge stof - TDS) gelost in de Noordzee op Loswal Noord. De jaarlijks geloste hoeveelheden kunnen echter sterk variëren (zie Figuur 6-14).

Figuur 4-3 Kwantificering sedimenttransport in de kustzone en haven



Schematische weergave van de gemiddelde sedimenttransporten in de kustzone en de haven van Rotterdam in beginjaren 90.

In de vakjes staan de hoeveelheden in miljoenen ton droge stof per jaar, opgesplitst in silt_{< 63 μm} (onderstreept) en zand. 1,5 + 0,5 betekent 1,5 ton silt_{< 63 μm} plus 0,5 ton zand. Het oppervlak van de vakjes is rechtevenredig met de hoeveelheid droge stof, terwijl de dikte van de pijlen rechtevenredig is met de massastroom.

UGT = Uniforme gehalte Toets; ≤ UGT: klasse 1 en deels klasse 2; > UGT: deels klasse 2 en klasse 3 en 4.

(Milieu-effectrapport, Anonymous, 1995a; figuur 4-6, omgewerkt)

sd02048

4.1.3 Sedimentbalans voor Loswal Noord

De op Loswal Noord verspreide baggerspecie blijft niet geheel op de loswal achter. Een deel wordt direct of onder invloed van golven en stroming in de waterkolom opgenomen en een ander deel verspreidt zich verder langs de bodem en gaat daarbij terug naar de baggerlocatie of mee met de reststroming langs de Hollandse kust richting Waddenzee. Het gedrag van de gestorte baggerspecie is als volgt.

De slibfractie

Een beperkt deel van het slib_{< 63 µm} (minder dan 5 %) blijft bij het lossen in het bovenste deel van de waterkolom. De rest bereikt in verdunde toestand de bodem alwaar het zich radiaal verspreidt. Uit deze massastroom bij de bodem zal slib_{< 63 µm} deels direct in de verticaal ontsnappen, terwijl een ander deel op de bodem terecht komt, vanwaar het later door golven en stroming verder getransporteerd kan worden. Per saldo blijft uiteindelijk ongeveer 20 % van het slib_{< 63 µm} op de loswal achter. Het overige slib_{< 63 µm} verdwijnt in een richting die afhankelijk is van de getijfase, de wind en de Rijnafoer. Vanaf Loswal Noord wordt jaarlijks gemiddeld 44 % van het geloste slib_{< 63 µm} teruggevoerd naar de baggerlocaties in de Maasgeul, Maasmond of verder in het havengebied (MER, model 1995). Dit is de eerder genoemde retourstroom. Het restant van de slibfractie, dat niet op de bodem achterblijft (gemiddeld ongeveer 35 %) wordt, geresuspendeerd in het water in de kustzone, met de reststroming in noordoostelijke richting afgevoerd.

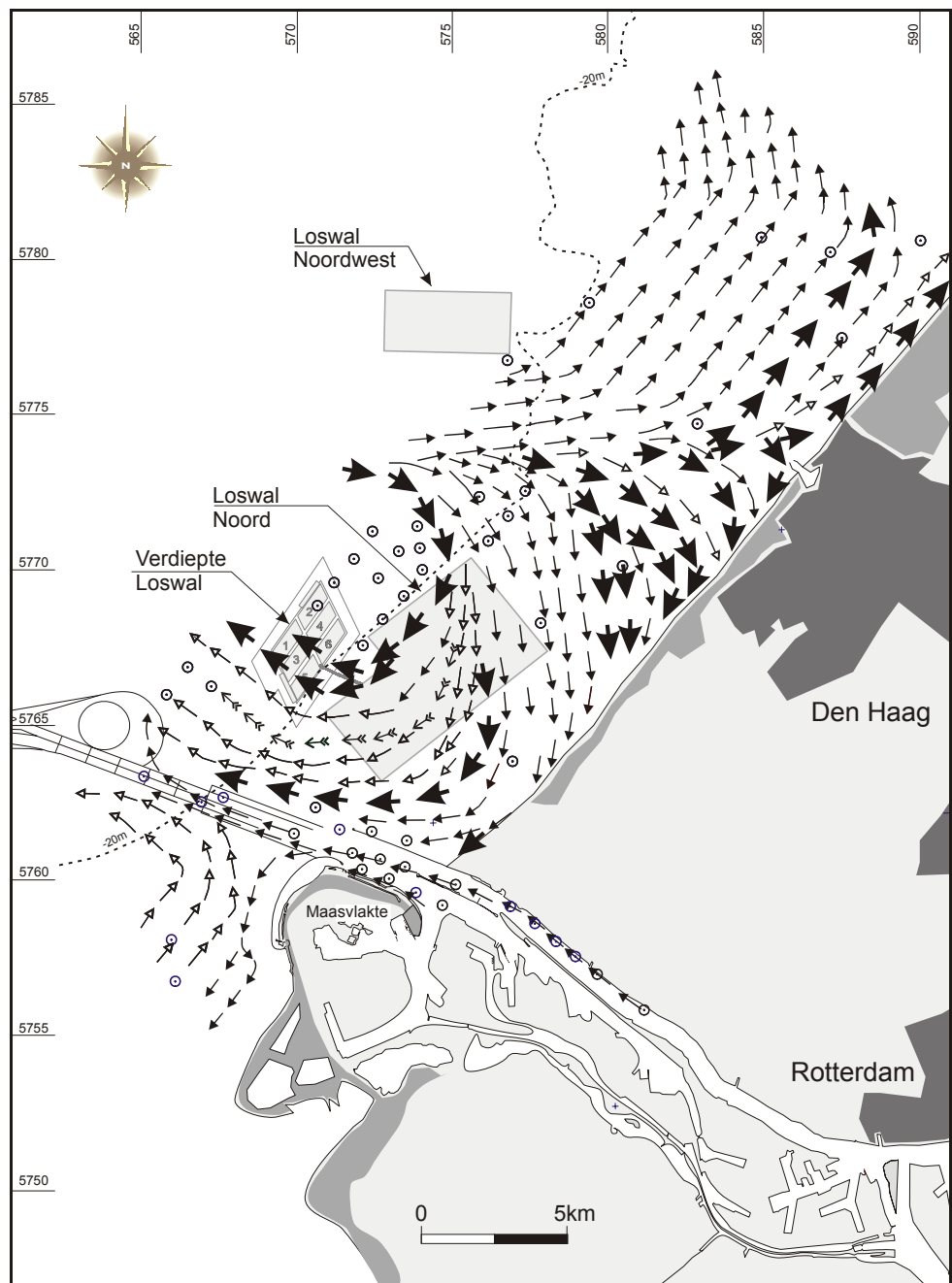
Een belangrijk deel van de retourstroming van slib_{< 63 µm} vindt over de bodem plaats bij storm. De golven wassen dan het slib_{< 63 µm} uit de bodem dat voor een belangrijk deel gevangen blijft in een dichtheidslaag van enkele decimeters. Deze laag beweegt zich met de watersnelheid bij de bodem, die door zout/zoetverschillen netto naar de Maasmond is gericht. Dit mechanisme verklaart de snelle aanslibbing tijdens een storm na een periode met rustig weer. Na afloop van een storm blijkt de bodem van Loswal Noord redelijk "schoongeveegd", hetgeen betekent dat een groot deel van het aanwezige slib_{< 63 µm} is weggevoerd.

De (veel kleinere) continue basisaanslibbing bij rustig weer komt grotendeels voort uit het slibtransport in suspensie. Met het vloedwater komt slib_{< 63 µm} in de geulen en havens waar een deel bezinkt en achterblijft bij eb. Buitengaats wordt slib_{< 63 µm} in suspensie snel met de waterbeweging over grote afstanden getransporteerd, bijv. gedurende de vloed (eb) over zo'n 5 km noordoostwaarts (eb: zuidwestwaarts) bij de bodem en over zo'n 9 km dichterbij het oppervlak. De netto verplaatsing van een slibdeeltje over een getij is veel kleiner, en hangt ondermeer af van de hoogten die het deeltje in de waterkolom bereikt (bij kentering valt slib_{< 63 µm} gedeeltelijk naar de bodem). De afstanden hangen sterk af van de omstandigheden (wind, Rijnafoer, getij). Zo kan slib_{< 63 µm} soms in één of meerdere getijslagen vanaf de Loswal Noord de Maasgeul bereiken, hetzij direct na het storten hetzij later. Bij vloed is de stroom maximaal naar het noorden. Geschat wordt dat de baggerschepen bij vloed 5 km uit moeten varen, bij eb 10 km om op die plek te storten waar op dat moment de retourstroom minimaal is.

In een sediment-transportstudie heeft McLaren uit de korrelverdeling van een groot aantal bodemonsters de dominante richting van het netto sedimenttransport bepaald (McLaren, 1989). Zand (Figuur 4-4) blijkt voor Delfland in een neer getransporteerd te worden onder invloed van getij en dichtheidsverschillen. Ten noorden van Scheveningen volgt het zand het bekende noordwaartse transport. De grenslijn tussen beide regimes ligt ongeveer tussen de noordelijke punt van de oude loswal en Scheveningen. Het resttransport van slib_{< 63 µm} (bepaald uit de monsters aangegeven door een cirkel met een stip) blijkt in de neer dezelfde richting te hebben als dat van zand.

Figuur 4-4
kust

Patroon van netto zandtransport langs de Zuid-Hollandse



sd02044.cdr

De gemiddelde transportrichting en het bezinken van zand op de bodem voor de Zuid-Hollandse kust (McLaren, 1989).

- netto aanwas langs de transportrichting
- ⇒ Sedimenten in dynamische evenwicht langs de transportrichting
- ⇨ Netto erosie langs de sedimentatie richting
- Mengsituatie: erosie en aanwas is mogelijk in de transportrichting
- ⊙ Zand en slib $< 63\mu\text{m}$ (gemengde) monsters (niet in deze studie gebruikt)

3.2/II sd02044

De zandfractie

Het zandtransport speelt zich op de bodem af. Als er geen stroming (getij, golven) is, ligt zand stil en alleen onder invloed van stroming vindt er transport plaats. In bodemmonsters blijft een voetafdruk achter van de voorkeursrichting van het transport, de resultante van het transport over langere tijd (zie Figuur 4-4; de figuur geeft enkel richtingen, geen transporthoeveelheden).

Zandtransport speelt zich veel dichterbij de bodem af dan slibtransport, zodat de verplaatsing per zandkorrel veel langzamer gaat. Toch kunnen zandverplaatsingen groot zijn omdat zand in grote hoeveelheden aanwezig is en overal tegelijk in transport kan zijn. Met name de fijnste fractie van de gestorte baggerspecie zal door stroming en golven worden getransporteerd, deels in de bovengenoemde dichtheidslaag bij hoge golven.

De zandfractie sedimenteert na het lossen vrijwel onmiddellijk en blijft voor het merendeel op de zeebodem liggen. Slechts een klein deel, circa 15 - 20 %, zal zich bij het lossen en bijstormen in dezelfde laag bij de verplaatsen als het slib_{< 63 µm}.

Loswal Noord is geen onnatuurlijke bron

Loswal Noord wordt vaak gezien als een antropogene of onnatuurlijke, extra, kunstmatige slibbron die een sterk verhoogde zwevend stof concentraties in het kustwater veroorzaakt. Uit bovenstaande beschouwing volgt dat dit een misverstand is. Het slib_{< 63 µm} in de baggerspecie die wordt gelost, is voor het merendeel afkomstig van zee (slechts 5 % komt van de rivieren) dat op zijn reis naar het noorden is afgevangen door de Rotterdamse geulen en havens. Vervolgens komt dit slib, via de beun van een sleepopper, weer in zee terecht. Het slib_{< 63 µm} dat vanaf de losplaats weer in de reststroom in noordelijke richting wordt opgenomen, blijft geconcentreerd aanwezig in een zone tot 20 kilometer uit de kust, het merendeel zelfs binnen de eerste 6 kilometer.

Eerder genoemde resultaten zijn geïntegreerd en weergegeven in de sedimentbalans van Tabel 4-1 en Figuur 4-3. Uit deze tabel blijkt een wegstroompercentage van 50,0 % (= 32,4 + 17,6 %) en een retourpercentage van 32,4 %.

Een en ander illustreert dat, voordat Loswal Noord verplaatst werd in 1996, een vermindering van het baggervolume mogelijk is door de aanvoer van marien slib, en in mindere mate die van zand, te beperken. Het vermijden van de retourstroom biedt hiervoor goede mogelijkheden. Dit lijkt mogelijk door de loswal naar het noorden te verplaatsen en/of door de baggerspecie in een verdiepte loswal te brengen. Het vaststellen van de omvang van het retourpercentage is een belangrijk onderdeel van het onderhavige rapport.

Tabel 4-1

Lot van de baggerspecie op Loswal Noord

Fractie	Hoeveelheid	Gebaggerd in haven en vaargeul en gestort op Loswal Noord	Van de gestorte hoeveelheid op Loswal Noord ...			Totaal
				...blijft liggen op Loswal Noord	...gaat terug naar de haven	...gaat naar het noorden	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Slib	tds/jaar	4,4	3,6	0,7 (20 %)	1,6 (44 %)	1,3 (35 %)	3,6 (100 %)
	%	49	49	9,5 %	21,6 %	17,6 %	49 %
Zand	tds/jaar	4,6	3,8	3,0 (80 %)	0,8 (20 %)	0 (0 %)	3,8 (100 %)
	%	51	51	40,5 %	10,8 %	0 %	51 %
Totaal	tds/jaar	9,0	7,4	3,7	2,4	1,3	7,4
	%	100	100	50,0 %	32,4 %	17,6 %	100 %

De hoeveelheden baggerspecie, uitgesplitst naar slib_{< 63 µm} en zand, die op Loswal Noord gestort worden en de fracties die hiervan blijven liggen of naar het noorden (richting de Waddenzee) of zuiden (richting haven) getransporteerd worden, zoals voorspeld in het milieu-effectrapport, dus afkomstig uit de modellen van 1995.

In kolom 5, 6, 7 en 8: De totale hoeveelheid materiaal die op Loswal Noord gestort is, is op 100 % gesteld.

In kolom 5, 6, 7 en 8: De percentages tussen haakjes geven de relatieve verdeling binnen het slib_{< 63 µm} en zand aan. Deze percentages alleen horizontaal optellen.

tds = tonnen droge stof

(Anonymous, 1995-a, MER p53 - p80)

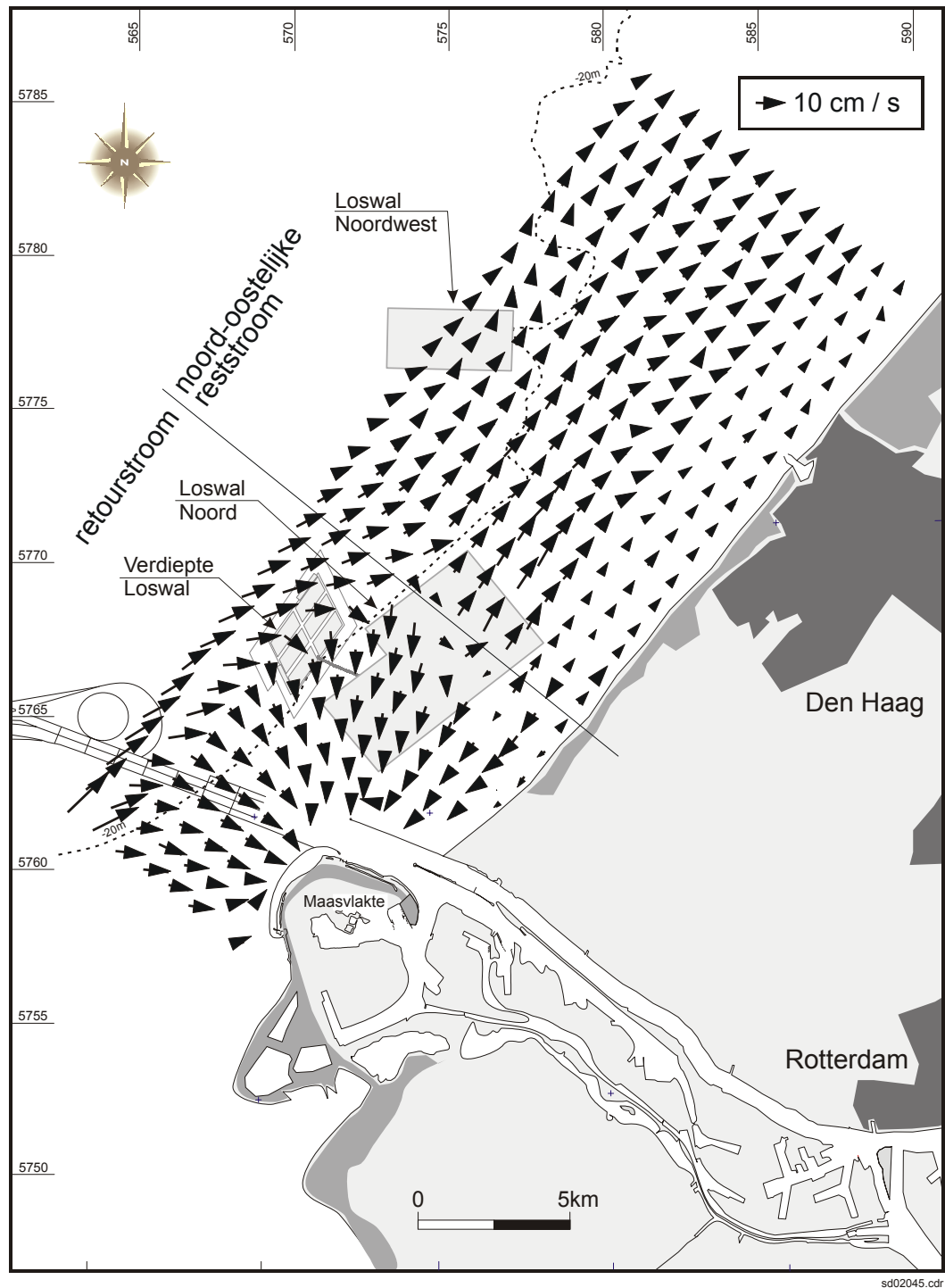
4.1.4 Stromingen rond de loswallen

Bij het kiezen van een meer noordelijke loswal is rekening gehouden met de stromingsrichting van het water zodat de retourstroom zo gering mogelijk is. Andere criteria waren een locatie met een aanvaardbare vaarafstand van de haven tot de loswal, met een minimale aanvangsdiepte van circa -15 m NAP en gelegen buiten de milieuzone, dus zeewaarts van de (doorgetrokken) -20 m lijn. Bij de verplaatste loswal is ervoor gekozen de loswal geheel uit de invloedsfeer van de retourstroom te brengen. Uit Figuur 4-5 blijkt dat Loswal Noordwest in het gebied ligt waar de gemiddelde reststroom op 7 meter boven de bodem bij een zuidwesten wind van 5 m/s bij een gemiddelde Rijnafvoer naar het noordoosten is gericht.

Het resttransportpatroon van zand bij de Zuid-Hollandse kust is vastgesteld (McLaren, 1989). Het betreft de gemiddelde transportrichting afgeleid uit korrelgroottes van bodemonsters. Figuur 4-4 laat de resultaten zien. Het resttransport van slib_{< 63 µm} (op identieke wijze bepaald uit de slibhoudende monsters, aangegeven door een cirkel met een stip) blijkt dezelfde richting te hebben als dat van zand. De oude Loswal Noord ligt op een locatie waar zand en slib in de richting van de kust en de vaargeul worden getransporteerd. Hoewel de nieuwe Loswal Noordwest buiten het onderzoeksgebied valt en er dus feitelijk geen informatie over de voorkeursrichting is, maakt dit onderzoeksresultaat het aannemelijk dat zand en slib voornamelijk naar het

noorden worden getransporteerd. Het valt echter niet uit te sluiten dat met name slib via transport in het water (ook) een andere richting neemt.

Figuur 4-5 Reststroom in de waterfase



De reststroom in de kustzone voor Zuid-Holland op 7 meter boven de bodem bij een zuidwesten wind van 5 m/s naar het noordoosten. Locatie Loswal Noord en Noordwest zoals aangegeven. (Anonymous, 1995-a, MER, blz. 58)

sd02045

Het berekende gemiddelde reststromingspatroon van water toont eenzelfde beeld (Figuur 4-5) als dat voor zand en slib zoals bepaald uit de bodemonsters (Figuur 4-4). Beide methoden zijn geheel onafhankelijk. Dit geeft extra vertrouwen in de juistheid van de getekende dominante sedimenttransportrichtingen.

4.2 Gebiedsontwikkelingen

4.2.1 Baggerinspanning in de haven

De haven van Rotterdam en de vaargeul, die naar het havengebied, het zg. Rijnmondgebied, voert, moeten voortdurend worden gebaggerd om bevaarbaar te blijven. De baggerspecie, die bij het baggeren vrijkomt, is in meerdere of mindere mate verontreinigd. In de monding van de Nieuwe Waterweg, het buitengebied van de Rotterdamse haven, wordt de vaargeul door Rijkswaterstaat (RWS) gebaggerd. Het binnengebied valt onder het gezag van het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam (GHR) dat daar de baggerwerkzaamheden uitvoert.

Fysische ingrepen kunnen invloed hebben op de aanslibbing van de haven. Zo is de dam van het Caland- en Beerkanaal in de haven van Rotterdam reeds doorgestoken, waardoor de zoet-zoutstromingen in de haven zijn veranderd. Dit heeft invloed op de dichtheidsgradiënt in en rond het mondingsgebied. Verder bestaan er plannen om de Haringvlietsluizen op een kier te zetten. Ook deze ingreep verandert de dichtheidsgradiënt en daardoor mogelijk de aanslibbing.

In het verleden heeft een extra verdieping van de vaargeul plaatsgevonden tot 25 m diepte. Door deze ingreep is er een extra baggerinspanning nodig. Verder varieert de baggerinspanning in het Rijnmondgebied, dus in de binnenhaven en vaargeul, sterk van jaar tot jaar. Deze inspanning staat weergegeven in Figuur 6-14.

Vanaf 1961 tot 1996 is de licht verontreinigde baggerspecie in de Noordzee gestort in een 24 km² groot gebied ten noorden van de monding van de Nieuwe Waterweg dat bekend staat onder de naam "*Loswal Noord*" (zie Figuur 1-1). Jaarlijks vond hier 7 tot 17 miljoen m³ baggerspecie zijn weg naar de zeebodem.

De vraag is hier niet aan de orde óf deze baggerspecie wel in zee gestort moet worden. Er zal gebaggerd moeten worden om de havenfunctie in stand te houden, er is geen plek om al die specie op land te bergen en het is onwenselijk om een dergelijke hoeveelheid natuurlijk materiaal aan het zeesysteem te onttrekken.

4.2.2 Invloed op Loswal Noord

Bij het storten van baggerspecie op de oude (of de nieuwe) loswal gaat het om schone en licht verontreinigde specie die voldoet aan de *Uniforme Gehalte Toets*, voorheen klasse 1 en een deel van klasse 2 van de baggerspecie. Verder heeft sinds 1987 de vrachtoets gegolden voor het storten van baggerspecie, waardoor een plafond was gesteld aan de hoeveelheid die naar zee mocht. Deze baggerspecie werd door de sleephopperzuigers, die het baggerwerk uitvoeren, op deze loswal gelost.

De stortingen vonden niet willekeurig binnen de grenzen van de loswal plaats, maar werden ruimtelijk gereguleerd in kwadranten van 500 x 500 m. Periodiek

werden nieuwe kwadranten aangewezen waarbinnen stortingen dienden plaats te vinden. Hiermee wordt echter niet bereikt dat het gestorte materiaal ook binnen het gebied blijft. Geschat wordt dat van het, in de eerste 20 jaar, de jaren '60 en '70, gestorte materiaal 80 % inmiddels uit het gebied verdwenen is. Van het materiaal dat gestort is in de tachtiger jaren zou dit 50 % betreffen. De baggerspecie wordt onder invloed van golven, getij- en dichtheidsstromen verspreid waarbij het vermoeden bestaat dat een deel terugstroomt naar het havengebied, de zogenaamde retourstroom, die dus opnieuw moet worden gebaggerd. Modelberekeningen in het milieu-effectrapport hebben laten zien dat de retourstroom het baggervolume met 32 % doet toenemen. Het retourpercentage valt te verminderen door de loswal in noordelijke richting te verplaatsen naar een locatie waar volgens de modellen de retourstroom minder is of geheel ontbreekt. Een andere oplossing is de baggerspecie te bergen in een kuil in de zeebodem, in een z.g. verdiepte loswal.

In de beginjaren ,jaren '60 en '70, bestond het gestorte materiaal voornamelijk uit zand. Geleidelijk aan werd slib_{< 63 µm} een steeds belangrijker bestanddeel. Hiermee is zorg gerezen met betrekking tot de mogelijke milieueffecten van de stortingen omdat contaminanten veelal geadsorbeerd zijn aan kleideeltjes. Hoewel aanmerkelijk verontreinigde baggerspecie niet op Loswal Noord gestort wordt, vormt het storten van slib, wegens een zekere mate van accumulatie daarin, immers toch een mogelijke bron van verontreiniging van het mariene milieu.

De matig en sterk verontreinigde baggerspecie wordt op land geborgen waarbij de matig en sterk verontreinigde specie (klasse III en IV) gestort worden in het depot '*De Slufter*' en in het verleden in '*De Papegaaienbek*'. Dit betreft ongeveer 1,5 miljoen m³ per jaar.

Door het jarenlang storten van baggerspecie op de oude Loswal Noord is er een verondieping ontstaan. Op sommige plaatsen is de waterdiepte nog maar tien meter. Van Loswal Noord was uit modelstudies bekend dat er een aanzienlijk retourpercentage optrad, naar schatting ruim 30 %. In een poging om de retourstroom naar de haven te verminderen is destijds een dam aangelegd tussen de loswal en de haven. Deze dam, in de wandeling 'Het dammetje van Wiersma' genoemd, ligt deels op de plek van de huidige Verdiepte Loswal en is in sommige figuren aangegeven. Het dammetje heeft niet geholpen om het retourpercentage te verminderen.

Verder is op Loswal Noord uiteraard ook de bodemsamenstelling door de stortingen gewijzigd en is het bodemleven aangetast. Deze onderwerpen komen in de onderhavige studie aan bod.

Het zal in deze studie niet mogelijk zijn om het retourpercentage van Loswal Noord te bepalen op grond van metingen. Voor metingen is het minimaal nodig dat op twee tijdstippen **tijdens het storten** het volume en de dichtheid van de stortberg wordt bepaald. Nu het storten is gestaakt op de oude loswal, zijn deze metingen niet meer uit te voeren.

Doordat er niet meer wordt gestort, zal het bodemecosysteem veranderen, vermoedelijk in de richting van de oude situatie. Het onderzoek naar het bodemecosysteem wordt in dit rapport beschreven.

4.2.3 Invloed op Loswal Noordwest

In het milieu-effectrapport is Loswal Noordwest aangewezen als nieuwe stortlocatie. Het storten van baggerspecie zal dit gebied veranderen: de bodemligging, de bodemsamenstelling en het bodemecosysteem zullen

veranderen De veranderingen die hier het gevolg van zijn, zijn het onderwerp van deze studie. De voorspelde veranderingen staan opgesomd in hoofdstuk 1, de inleiding.

5 Loswal Noord

5.1 Bodemopbouw van Loswal Noord

In dit hoofdstuk wordt de bodemsamenstelling en het berekende wegstroom- en retourpercentage van Loswal Noord besproken. In § 5.1.2 staat bodemsamenstelling. De modelresultaten staan in § 5.2.

5.1.1 Meetmethode bodemsamenstelling Loswal Noord

a) Uitvoeren loding

Op Loswal Noord zijn lodingen uitgevoerd met een single beam echolood met een frequentie van 210 kHz. Vervolgens zijn deze lodingen vergrid en gekubeerd om het gestorte volume te bepalen. De uitvoering staat beschreven in bijlage 4.

b) Uitvoeren korrelgrootteanalyse

Door drie instituten is de korrelgrootteverdeling bepaald van zeebodemmonsters. Hiermee is o.a. het slibpercentage vast te stellen. De details staan beschreven in bijlage 5.

c) Uitvoeren dichtheidsmetingen

De dichtheid van Loswal Noord en Loswal Noordwest is op twee manieren bepaald. Het betreft de methode waarbij gebruik is gemaakt van de absorptie van γ -straling, die afhankelijk is van de dichtheid, en van de weging van vaste volumes uit boorkernen. De details staan beschreven in bijlage 6.

d) Onderzoek bodemecosysteem (NIOZ en AquaSense)

Omdat de samenstelling van het bodemleven onder andere afhankelijk is van het type sediment werd de korrelgrootteverdeling van de bodemmonsters bepaald.

AquaSense

Per locatie werden 10 boxcore monsters verzameld. In 1995 werden de sedimentkarakteristieken voor alle boxcores afzonderlijk bepaald. Van 1996 tot en met 1999 werden per locatie twee mengmonsters samengesteld voor de sedimentanalyse. De monsters werden gezeefd over een zevental gekalibreerde zeven en het drooggewicht van de verschillende fracties werd bepaald. Verdere details staan in bijlage 17 en de locaties staan in Figuur 12-1.

NIOZ

In het midden van iedere schaaf trek werd een bodemonster genomen met een Van Veen-happer. Hieruit werden twee kerntjes gestoken (diameter 34 mm, diepte 10 cm) die werden samengevoegd tot één mengmonster.

De monsters werden opgewerkt in het 'Laboratorium Zeeland-Walcheren' en vervolgens geanalyseerd op korrelgrootte door het laboratorium van RIKZ in Middelburg. Verdere details staan in bijlage 16 en de locaties staan in Figuur 12-2.

e) Uitvoeren radiometrische kartering

De radiometrische kartering is gebruikt om dunne lagen slib_{< 63 µm} van hooguit enkele cm's dik op de bodem rondom Loswal Noordwest te detecteren. Hiertoe is een sensor die gevoelig is voor de natuurlijke radioactiviteit van de zeebodem in een ruitennet van 10 x 15 km over de bodem rondom Loswal Noordwest gesleept. De sensor detecteert de straling van kalium, uranium en thorium. De details staan in bijlage 7.

5.1.2 Resultaten bodemopbouw Loswal Noord

a) Storten op de loswal

Er zijn lodingen uitgevoerd om het volume van de stort te bepalen en van deze lodingen zijn verschilplaatjes gemaakt. Het verschil tussen opeenvolgende lodingen geeft de volumetoename. Over het algemeen zijn er in het gehele gelode gebied geen grote verschillen te zien behalve op de stortvakken waar in de tussenliggende periode gestort is.

Figuur 5-1 laat het hoogteverschil op Loswal Noord zien ten gevolge van de stortingen van baggerspecie of door processen na het storten, zoals gemeten tijdens de lodingen in:

(a) april en augustus 1996;

(b) augustus en november 1996 en

(c) juni en november 1997.

De stortingen zijn eind juni 1996 gestaakt.

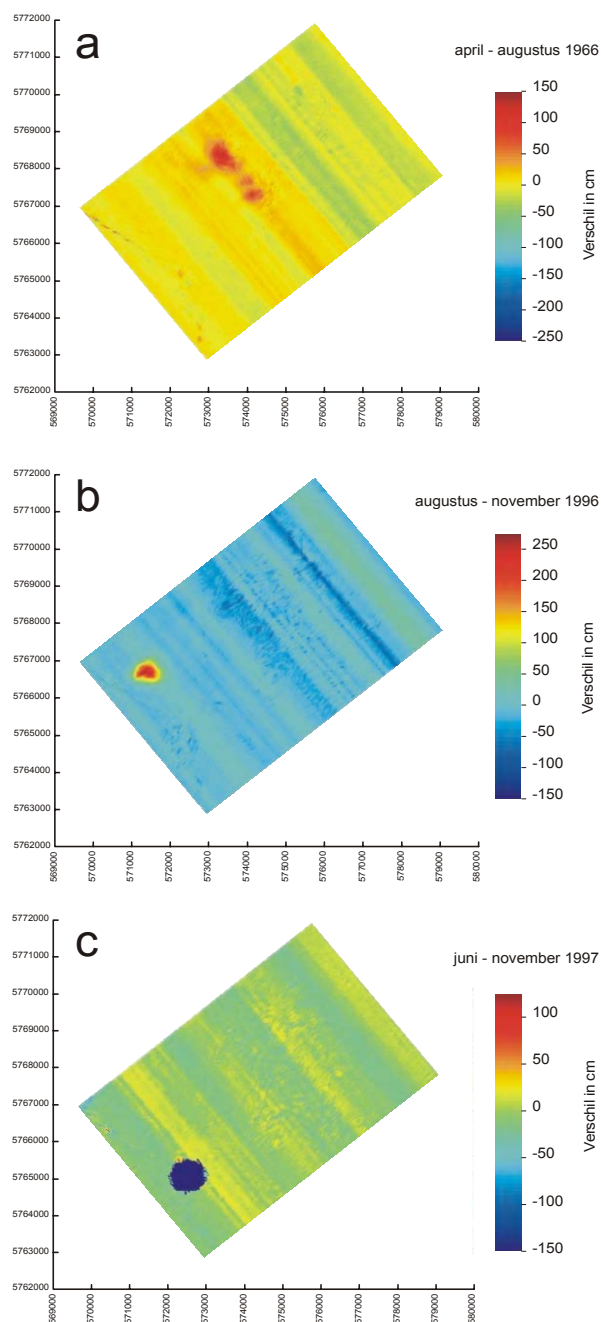
Uit de figuur blijkt dat het hoogteverschil over het algemeen gering is met uitzondering van de locatie waar in de tussenliggende periode gestort is. In de bovenste figuur (a) zijn de stortingen tussen april tot juli 1996 als donkere vlek boven het midden te zien. Deze vlek is niet aanwezig in figuur (b) als op dit stortvak niet meer gestort is in de periode tussen de lodingen juli en augustus 1996 van Loswal Noord. Er is echter wel een volumetoename waarneembaar buiten het stortgebied, de vlek links van het midden. Bij navraag blijkt dat ca 0,5 miljoen kuub ten zuidwesten van loswal is gestort. Deze baggerspecie is afkomstig van de nevengeul ('Trog van Tom', zie § 3.3) langs de Maasgeul die in deze periode is gegraven. In figuur (c) is deze vlek weer afwezig.

b) Dichtheid

Op Loswal Noord is met behulp van de 'weeg-methode' de dichtheid van de zeebodem bepaald in vak 124 (zie Figuur 5-3 en bijlage 6). Deze locatie is gekozen omdat het het midden was tussen de twee ondiepste plekken op Loswal Noord.

De steekboringen waren langer dan de hoogte van de stortlaag zodat de gehele stortlaag en een deel van de oorspronkelijke bodem bemonsterd is. Van de steekboringen is van elk segment van 50 cm de natte en droge dichtheid gemeten door middel van weging. De gemeten natte en droge dichtheden zijn 'teruggerekend' naar de overeenkomstige droge en natte dichtheid, de zg. referentie-dichtheid. Hiermee kunnen gemeten en berekende dichtheden onderling vergeleken worden. Hierbij is het soortelijk gewicht van de minerale fractie (steenachtig materiaal) op $2,6 \text{ ton.m}^{-3}$ gesteld.

Figuur 5-1 Volumetoename op Loswal Noord



Loswal Noord

sd02049.cdr

Het hoogteverschil tussen de lodingen op (a) april en augustus 1996, (b) augustus en november 1996 en (c) juni en november 1997 op Loswal Noord van steeds hetzelfde gebied. De stortingen zijn gestaakt in juni 1996. In (a) en (b) zijn resp. de laatste reguliere en een incidentele storting te zien. Figuur (c) toont een onbegrepen blauwe vlek, een verdieping van zo'n 2 m.

sd02049

Tabel 5-1 Dichtheid van Loswal Noord

Datum	Locatie	Gemeten natte dichtheid	Referentie droge dichtheid	Gemeten droge dichtheid	Referentie natte dichtheid
		TDS.m⁻³	TDS.m ⁻³	TDS.m⁻³	TDS.m ⁻³
Dec 2000	Vak 124	2,01	1,63	1,59	1,99
Nov 2001	Vak 124	1,81	1,30	1,51	1,94

De gemiddelde dichtheid van de hele stortlaag, berekend uit het gemiddelde van de 50-cm segmenten.

De gemeten gemiddelde natte dichtheid bedraagt ongeveer 1,9 TDS.m⁻³ en de berekende referentie natte dichtheid ongeveer 1,95 TDS.m⁻³. Deze waarden liggen hoger dan de verwachte dichtheid. Deze dichtheden van Loswal Noord zijn ongeveer even groot als die van Loswal Noordwest, zoals vermeld in § 6.1.2b). De gemeten natte dichtheid op Loswal Noordwest bedraagt 1,86 TDS.m⁻³. Door deze overeenstemming is er minder reden om deze resultaten in twijfel te trekken.

c) Bodemsamenstelling - biologie-onderzoek

De meetmethode staat beschreven in § 5.1.1d). De resultaten worden voor de 2 onderzoeksinstellingen, AquaSense en NIOZ, afzonderlijk besproken.

Resultaat 1996 (AquaSense)

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

Het overzicht van de bodemsamenstelling staat in Figuur 5-2.

Resultaat 1997 (AquaSense)

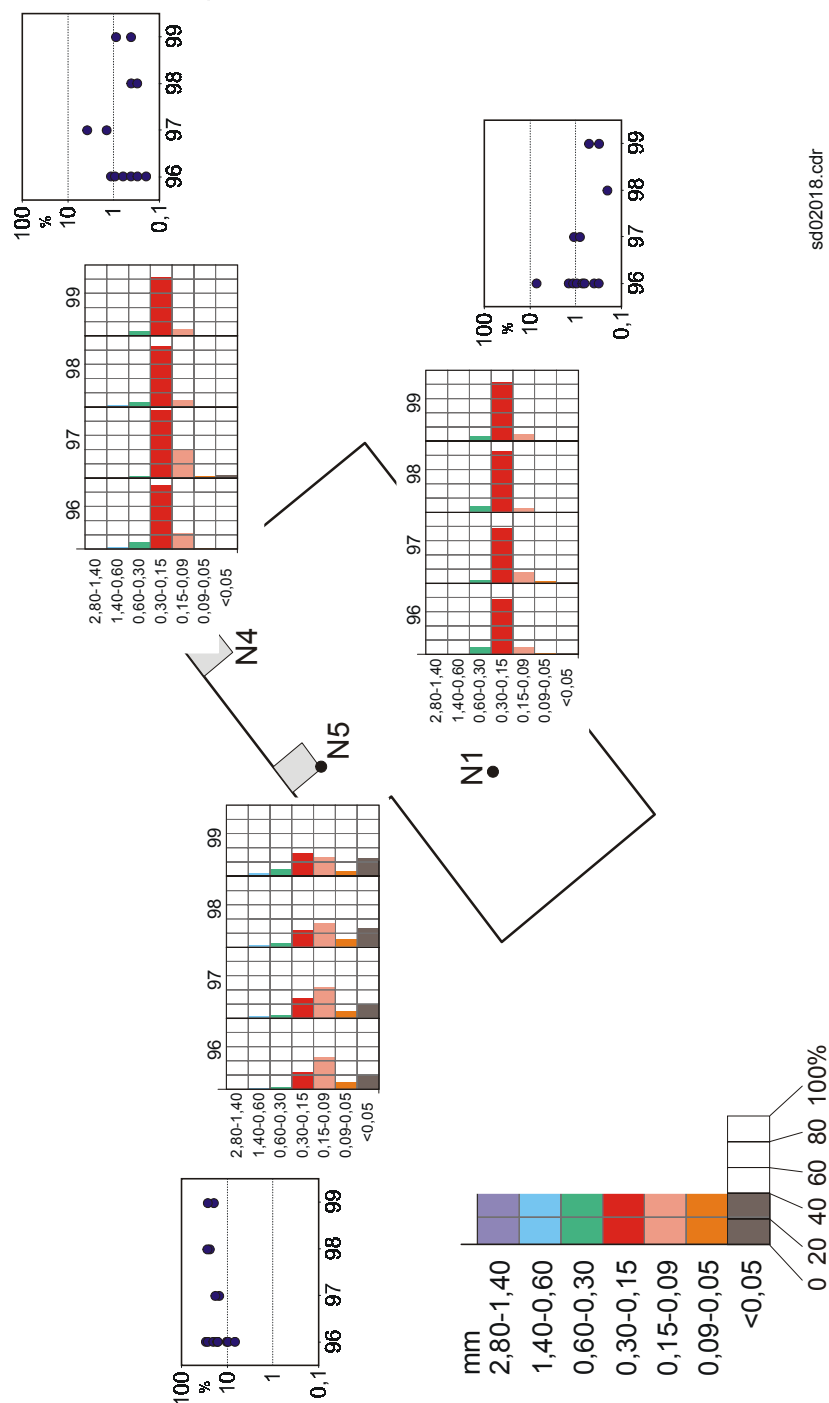
Op Loswal Noord werden de sedimenten wederom gedomineerd door fijn zand (fractie 150 – 300 µm). Op station N5, in vak 53, werd het sediment gedomineerd door een fijnere zandfractie (90 - 150 µm), het slibgehalte (< 53 µm) daalde naar 17,4 %.

Resultaat 1998 (AquaSense)

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

Loswal Noord Slibgehalte en korrelgrootte verdeling

Figuur 5-2 Slib_{<63 μm} en mediane korrelgrootte Loswal Noord



Slibgehalte (%) en mediane korrelgrootte (mm) Loswal Noord, gemeten door AquaSense, 1996 t/m 1999.

sd02018

sd02018.cdr

Resultaat 1999 (AquaSense)

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

In Figuur 5-2 is te zien hoe sedimentsamenstelling van 1995/6 tot en met 1999 veranderde. Weergegeven zijn het slibgehalte en de dominante bodemtypes.

Resultaten 1996 (NIOZ)

In 1996, direct na het beëindigen van de storting van baggerspecie in vak 53, bleek de sedimentstructuur in dat vak en in het nabijgelegen station Ref-1 duidelijk te verschillen van referentiestations die verderop lagen. Het sediment op deze Loswal Noord locaties was zwart en zag er fijn- (Ref-1) tot zeer fijnkorrelig (vak 53) uit. Ook op locatie Ref-2 was het sediment zwart en fijnkorrelig en maakte daarmee de indruk onder invloed te staan van het storten op deze loswal. Op andere referentielocaties was het sediment "middel-grofzandig" en lichtbruin.

Vak 53 en Ref-2 werden gekarakteriseerd door het hoogste slibgehalte respectievelijk 8 – 37% en 8 - 20% (fractie $< 63 \mu\text{m}$) (Figuur 5-3) en door de kleinste mediane korrelgrootte (Figuur 5-4). Op de overige referentielocaties in de omgeving van de stortlocatie te weten Ref-1, 3 en 5 werd een licht verhoogd slibgehalte (tot 3%) en een kleinere mediane korrelgrootte aangetroffen. Het grofste sediment werd gevonden op de stations die op de grootste afstand van de kust lagen: vak 29 (vóór de storting van baggerspecie op Loswal Noordwest), Ref-4, en Ref-6.

Resultaat 1997 (NIOZ)

In 1997 was het sediment op de stortingslocatie op Loswal Noord aanmerkelijk veranderd ten opzichte van 1996: nog slechts in twee van de vijf monsters die in vak 53 werden genomen werden relatief hoge slibgehaltenes gevonden en de mediane korrelgrootte bleek beduidend toegenomen. Opvallend was wel dat het in 1996 toch al hoge slibgehalte op Ref-2 in 1997 niet was afgenomen. Ook op de overige locaties in de buurt van vak 53 bleven de slibgehaltenes wat verhoogd ten opzichte van de verder gelegen referentiestations.

Resultaat 1998 (NIOZ)

In 1998 was de slibfractie in vak 53 nog slechts in één van de 5 monsters aanmerkelijk verhoogd (23 %) ten opzichte van natuurlijke waarden (0 - 3 %). De afname van het slibgehalte in het sediment op locatie vak 53 had als gevolg dat de mediane korrelgrootte toenam van gemiddeld 100 μm in 1996, via 225 in 1997 tot 325 in 1998. Daarmee was de textuur van dit sediment in 1998, twee jaar na de beëindiging van de storting van baggerspecie, vergelijkbaar met de meer noordelijk gelegen 'middelgrofzandige' referentielocaties. Van de referentiestations bleef alleen Ref-2 een verhoogd slibgehalte houden, op eenzelfde niveau als beide voorafgaande jaren.

Resultaat 1999 (NIOZ)

In 1999 werd in de bovenste 10 cm van het sediment in vak 53 geen verhoogd slibgehalte meer gevonden en de mediane korrelgrootte was vergelijkbaar met waarden op de referentiestations. Wel werden op grotere diepte slib- en kleihoudende lagen aangetroffen. Vanaf 15 tot 20 cm onder het

sedimentoppervlak was het materiaal zelfs vaak zwart gekleurd. Restanten van gestort materiaal hierin duiden op een oorsprong uit de haven. Ook in 1999 bleef het slibgehalte op station Ref-2 hoog (4 – 18%) en de mediane korrelgrootte laag (125 – 164 μm).

Samenvatting Loswal Noord

Direct na de beëindiging van de storting van baggerspecie in vak 53 was daar een hoog slibgehalte aanwezig (8-37%). Volgens de metingen van het NIOZ op de voormalige stortlocatie (vak 53) herstelden de karakteristieken van het oppervlakkige sediment zich in 2 tot 3 jaar na de beëindiging van de storting in 1996, maar volgens de metingen van AquaSense bleef het slibgehalte op deze locatie (N5) hoog. Beide onderzoeksinstanties maken echter gewag van de aanwezigheid van een toplaag van zand (NIOZ: 10 cm, AS: 3-5 cm) met daaronder een zwarte slibrijke laag. Als de sedimentmonsters van AquaSense van een wat grotere gemiddelde diepte komen dan de monsters van het NIOZ dan kan dat de gevonden verschillen verklaren. Hoge slibgehaltenes en een kleine mediane korrelgrootte werden ook gevonden ten oosten van Loswal Noord op station Ref-2. Het is opvallend dat het slibgehalte op dit station in de periode 1996-1999 niet veranderde.

d) Bodemsamenstelling - steekboringen (NITG)

Er is tweemaal een steekboring genomen op Loswal Noord om de bodemsamenstelling te bepalen. In december 2000 en in november 2001 is op vak 124 een steekboring uitgevoerd. Het slibgehalte was gemiddeld over de verticaal 0,20 resp. 1,95 %. Er is geen verband tussen de diepte en het slibgehalte gevonden.

De mediane korrelgrootte was gemiddeld over de verticaal in december 2000 en november 2001 resp. 310 en 296 μm . De dikte van de stortberg was resp. meer dan 5 m en 3,6 m. Er is geen verband tussen de diepte en de mediane korrelgrootte gevonden.

Deze resultaten hebben betrekking op 2 twee steekboringen in een gebied van circa 25 km², terwijl gedurende meer dan 30 jaar is gestort. Deze resultaten moeten derhalve dus als zeer locale momentopnames beschouwd worden.

In november 2001 bevond zich boven op de stortlaag op een laag van 0,10 m natuurlijk afgezet slibarm lichtbruingrijs (Holoceen) zand.

e) Bodemsamenstelling radiometrische kartering

Met behulp van de radiometrische kartering is van een ruim gebied rondom Loswal Noordwest de bodemsamenstelling bepaald (zie bijlage 7). In de opnames van de radiometrische kartering is in juni 1996, de t_0 -situatie, de oude Loswal Noord duidelijk waarneembaar, terwijl de toekomstige Loswal Noordwest niet van de omringende zeebodem is te onderscheiden (Figuur 6-9 en Figuur 6-11).

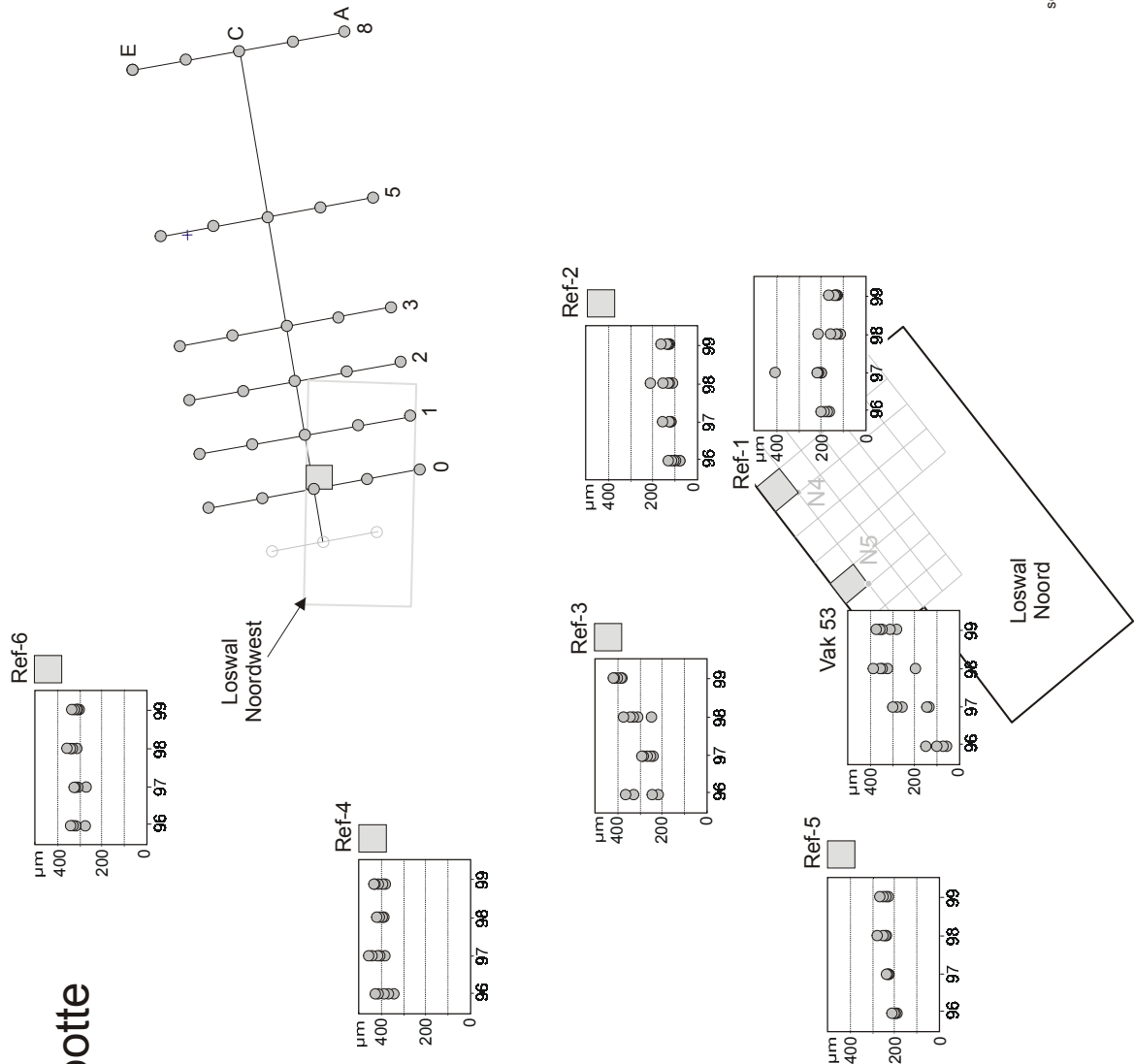
In een 'hoekje' (rechtsonder) van deze kartering is een deel van Loswal Noord te zien met een verhoogd klei- en slibgehalte. In Figuur 6-9 en Figuur 6-11 staan de resultaten weergegeven.

Het slibgehalte (de som van silt_{16-63 μm} en klei_{<16 μm}), zoals getoond in Figuur 6-9, varieert tussen 5 % voor de normale zeebodem en 50 % voor de achtergebleven baggerspecie op de beide loswallen. Nul procent slib_{<63 μm} betekent dat er slechts zand in de bovenste, circa, 30 cm van het sediment

Figure 1: Schematic representation of the sampling strategy. The figure includes a map of the Loswal Noordwest area with sampling points 0-5 and a line connecting points C and E. It also features five histograms (Ref-1 to Ref-5) showing the distribution of sampling points across different regions (Ref-1, Ref-2, Ref-3, Ref-4, Ref-5) and a detailed view of the Loswal Noord area with a grid and a 124m scale bar.

sd02022.cdr

Loswal Noord
Mediane korrelgrootte



Mediane korrelgrootte Loswal Noord, gemeten door NIOZ, 1996 t/m 1999.
sd02023

sd02023.cdr

aanwezig is. De effectieve laagdikte, dus de laag die door de sensor wordt 'gezien', bedraagt nl. naar schatting 30 cm.

Het overzicht van juni 1996 (t_1), laat zien dat de zeebodem rondom Loswal Noord een slibgehalte heeft tussen de 5 en 20 %, met een gemiddelde van 12 %. Het overzicht van november 1996 (t_1) toont hier een algemene toename van het slibgehalte.

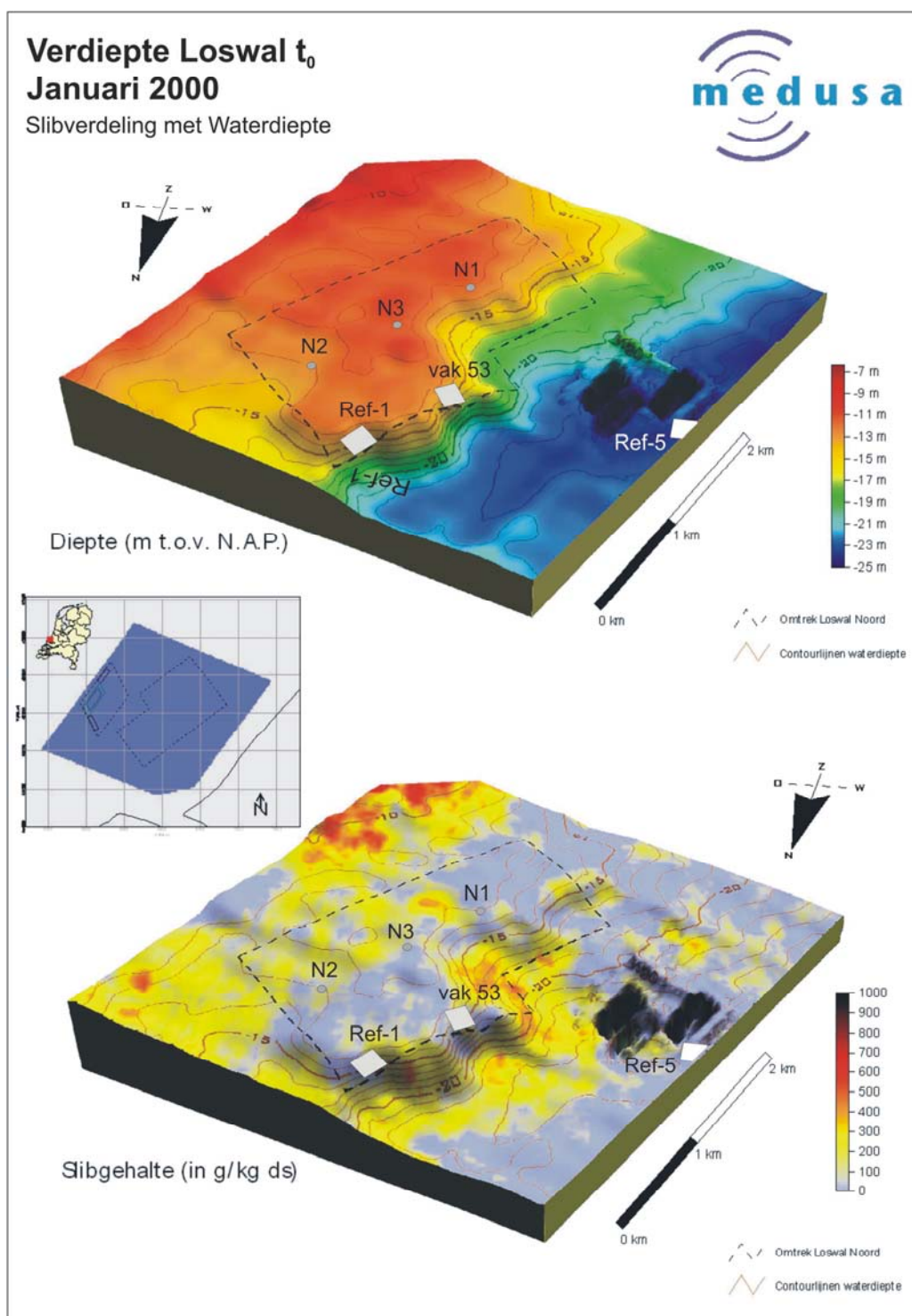
Uit de radiometrische gegevens zijn de sedimentkarakteristieken, 15 maanden na aanvang van het storten op Loswal Noordwest, opgehaakt. Slib_{< 63 µm} en klei komen in duidelijk verhoogde gehalten voor op Loswal Noord en Noordwest, 15. Het voorkomen van slib_{< 63 µm} is beperkt tot de stortvakken terwijl klei over een groter gebied verspreid ligt. De verspreiding van klei in het onderzoeksgebied geeft aan dat een aanzienlijke hoeveelheid van de gestorte baggerspecie van Loswal Noordwest terug te vinden is in de richting van de haven.

De resultaten laten zien dat de slib- en kleifracties niet homogeen verdeeld zijn bij de stortvakken. Conventionele monsternames en analyses laten dit ook zien. Bij uitsluitend gebruik van conventionele analyses, zou een kwantitatieve onderschatting gemaakt zijn van de slib- en kleifracties. Dit resultaat toont de voordelen van een synoptische meting (overzichtsmetingen) zoals van de radiometrische kartering aan.

Radiometrische kartering

In januari 2000 is een radiometrische kartering uitgevoerd rondom de Verdiepte Loswal. Binnen het karteringsgebied lag ook Loswal Noord. Op grond van deze meting is een hoogtekaart en een slibkaart gemaakt. Hieruit blijkt dat de hoogste delen van Loswal Noord een laag slibgehalte hebben (< 5 %). De lagere delen van de stortberg hebben een hoger slibgehalte, tot 50 %. Het lijkt erop dat golven een grotere invloed hebben op de hogere delen van de stortberg, waarna het losgemaakte slib_{< 63 µm} deels naar de voet van de stortberg rolt of wegstroomt terwijl het slib_{< 63 µm} in de lager gelegen delen blijft liggen.

Figuur 5-5 Slibgehalte en hoogte van de stortberg op Loswal Noord



Resultaten van de radiometrische kartering van januari 2000. De zwarte vlekken zijn de kuilen (1, 4 en 6) op de Verdiepte Loswal, waar op dat moment nog niet gestort is. (let op de noordrichting, HET PLAATJE STAAT OP ZIJN KOP!!).

sd02050

5.1.3 Discussie

Direct na de beëindiging van de storting van baggerspecie in vak 53 van Loswal Noord in 1996 was daar een hoog slibgehalte aanwezig (8-37%), waarbij de monsters genomen zijn met de boxcore. Met de radiometrische kartering werd in dat jaar een slibgehalte tussen de 5 en 20 % gevonden, met een gemiddelde van 12 %, voor de bovenste 30 cm. Het ligt voor de hand dat het slibgehalte direct na het staken van het storten hoog is.

De boxcore-metingen in 1999 laten een afname zien tot 1 % of minder, een afname die verwacht werd na het staken van het storten.

De meting van het slibgehalte op grond van bodemonsters in 2000 en 2001 uit de twee lange steekboringen laat ook een lage waarde zien, nl. circa 2 %, een bevestiging van de boxcore-metingen.

Zowel het NIOZ als het NITG vinden in 1999 resp. 2001 dat in de bovenste 10 cm geen verhoogde slibgehalten meer voorkomen. Het NITG rapporteert op grond van de resultaten dat dit niet komt doordat het slib_{< 63 µm} is weggespoeld maar doordat de stortlaag met een natuurlijke laag zand is afgedekt. Deze 'schone, zandige' laag is van belang voor het terugkeren van het oorspronkelijke bodemecosysteem.

De grote variatie in slibgehalte die de radiometrische kartering laat zien op Loswal Noord kan het verschil tussen de gevonden slibgehalten in de bodemonsters verklaren. Het is van belang om te beseffen dat het slibgehalte met de hoogte (en dus met de monsterlocatie) varieert.

5.2 Retourpercentage Loswal Noord

5.2.1 Resultaten uit Milieu-effectrapport

Het startpunt van het zoeken naar een alternatieve loswal is het vermoeden geweest dat een groot deel van de gestorte baggerspecie van Loswal Noord terugstroomde naar vaargeul en havengebied van Rotterdam. Dit terugstromen, het 'retourpercentage', is weergegeven als pijl 'c' in Figuur 4-2. In het milieu-effectrapport 'Een nieuwe Loswal Noord' (Anonymous, 1995) is geschat dat het retourpercentage 32,4 % bedraagt.

Voor de onderhavige studie is met een verbeterd modelinstrumentarium opnieuw het retourpercentage berekend. Voor Loswal Noord is het niet mogelijk om metingen te verrichten naar de omvang van het retourpercentage omdat er niet meer wordt gestort (zie § 3.2).

5.2.2 Rekenmodellen uit 1991 en 1999

Het gebruikte rekenmodel voor het milieu-effectrapport stamt uit 1990 en was afgestemd op de toen beschikbare rekencapaciteit. De berekeningen zijn gerapporteerd in de Kok (1991) en de Kok et al. (1992). De runs zijn gedraaid voor storten tussen eb- en vloedkentering.

In 1999 is opnieuw een berekening uitgevoerd naar het retourpercentage van Loswal Noord. De computercapaciteit was toen 50 keer zo groot als 9 jaar eerder. Er was nieuwe programmatuur voor waterbeweging en

slibtransport_{<63µm} beschikbaar, terwijl het rekenmodel aanzienlijk was uitgebreid. Er was reeds gebleken dat relatief kleine saliniteitsverschillen en verschillen in restroompatronen grote verschillen in retourtransport kunnen opleveren. Er zijn runs gedaan voor zowel lozingen tijdens ebkentering als tijdens vloedkentering. Verdere details staan in de Kok en Sandeh (2000). Zie ook bijlage 8.

5.2.3 Berekende retourpercentages Loswal Noord op grond van modelberekeningen

In het milieu-effectrapport uit 1995 zijn de modelvoorspellingen gepresenteerd van het retourpercentage vanaf de oude Loswal Noord. Geschat werd dat 20 % van de zandfractie en 45 ± 5 % van de slibfractie_{<63µm} terugstroomde (Anonymous 1995, p 59 en 80, tabel 1). Het geschatte retourpercentage van de totale baggerspecie komt op 30 - 35 %, gemiddeld **32 %**. Deze waarden zijn berekend in 1991 met de researchversie van de programmatuur SLIB3D.

Op dezelfde wijze is voor Loswal Noordwest een retourpercentage van **0 %** berekend, zodat verplaatsen van de loswal de baggerinspanning met **32 %** zou verminderen.

In 1999 zijn opnieuw berekeningen uitgevoerd voor Loswal Noord met als resultaat:

- van het slib_{<63µm} dat in suspensie blijft, stroomt na ebkentering 98 % terug naar de haven;
- van het slib_{<63µm} dat in suspensie blijft, stroomt na vloedkentering 57 % terug naar de haven.

Verder is op grond van eerdere onderzoeken (Heuvel, 1988) verondersteld dat:

- van het zand 20 % terugstroomt naar de haven;
- de baggerspecie voor 50 % uit slib_{<63µm} bestaat;
- van het slib_{<63µm} 20 % achterblijft op de loswal.

Op grond van het bovenstaande is berekend dat het retourpercentage van slib_{<63µm} 34 % van de totale gestorte hoeveelheid baggerspecie bedraagt. Voor zand is deze waarde 10 %. Het totale retourpercentage van slib_{<63µm} en zand samen vanaf Loswal Noord bedraagt **44 %** van de totale gestorte hoeveelheid baggerspecie. De marge wordt gesteld op 22 procentpunt voor Loswal Noord. Alle details hiervan staan op bladzijde 4 en 5 van de Kok en Sandeh (2000).

Op dezelfde wijze is voor Loswal Noordwest een retourpercentage van **13 %** berekend met een marge van 6,5 procentpunt. In dit geval levert het verplaatsen van de loswal een vermindering van de baggerinspanning van **31 %** op.

5.2.4 Discussie

Met een slibmodel uit 1991 en met een verbeterd model uit 1999 zijn de retourpercentages van Loswal Noord berekend. De retourpercentages zijn respectievelijk 32 % en 44 % van de totale hoeveelheid gestorte baggerspecie. Met dezelfde modellen zijn de retourpercentages vanaf Loswal Noordwest berekend, nl. 0 %, respectievelijk 13 %.

Tabel 5-2 De berekende retourpercentages van Loswal Noord en Loswal Noordwest

Loswal	Berekend retourpercentage van de totaal gestorte hoeveelheid		Standaardfout (1999)	Verschil tussen modelberekeningen uit 1991 en 1999
	Berekend in 1991	Berekend in 1999		
Loswal Noord	32 %	44 %	22 procentpunt	12 procentpunt
Loswal Noordwest	0 %	13 %	6,5 procentpunt	13 procentpunt
Reductie door verplaatsen loswal	32 %	31 %		1 procentpunt

De retourpercentages of de verschillen hiertussen zijn uitgedrukt in % ten opzichte van de totale hoeveelheid gestorte baggerspecie of uitgedrukt in procentpunt.

Op grond van de berekeningen zou verplaatsen van Loswal Noord naar Loswal Noordwest een reductie van 32 % opleveren op grond van het model uit 1991 en 31 % op grond van het model uit 1999. Deze reductie is in beide gevallen ongeveer hetzelfde hoewel de berekende retourpercentages zo'n 10 procentpunt verschillen. De financiële voordelen bij het baggeren zijn bij beide berekeningen nagenoeg gelijk.

De aanname bij de berekeningen is dat de baggerspecie gemiddeld voor 50 % uit slib <63µm bestaat. Dit getal komt uit de analyses van bodemonsters van vak E, F en G in de vaargeul. De bodemonsters zijn met de Van Veen Happer genomen uit de toplaag. De baggerinspanning echter vindt plaats onder de bodemlaag met een dichtheid van 1,2. De monsternamen laag en de baggerlaag kunnen dus twee verschillende lagen zijn.

Het is de vraag hoe betrouwbaar de uitkomsten van rekenmodel zijn. Het is gebruikelijk de modeluitkomsten te verifiëren aan de hand van veldmetingen. Bij het slibtransport is deze verificatie niet mogelijk zoals uitgelegd is in § 3.3. De metingen in de waterfase zouden te omvangrijk zijn en daardoor te kostbaar. Bovendien vindt waarschijnlijk het grootste deel van het transport plaats tijdens stormomstandigheden als er alleen met permanente opstellingen gemeten kan worden. Door het ontbreken van een verificatie kan twijfel omtrent de modeluitkomsten nooit worden weggenomen. Wel is de verwachting dat de uitkomsten in de loop van de jaren door de aangebrachte veranderingen in en uitbreidingen van het model betrouwbaarder zijn geworden.

Een indirecte verificatie van de modelresultaten zou een overeenkomstige gemeten afname van de baggerinspanning in de haven van Rotterdam zijn, die over een langere periode gemeten is. Echter, andere ingrepen in het havengebied (bijv. Beerdam, zie § 3.3, I ad a) hebben ook invloed op de baggerinspanning zodat deze verificatie aan betrouwbaarheid heeft ingeboet, hoewel de afname past in de verwachte trend.

6 Loswal Noordwest

In dit hoofdstuk worden eerst de vorm en de bodemsamenstelling besproken en daarna het wegstroom- en retourpercentage van Loswal Noordwest. In § 6.1.1 staan de gebruikte meetmethodes, nl. de analyse van de bodemonsters en de radiometrische kartering. In § 6.1.2 staan de gevonden resultaten voor de vorm en bodemsamenstelling. Achtereenvolgens worden de resultaten gepresenteerd van (a) de vorm, (b) de dichtheid, (c) de bodemsamenstelling in het biologische onderzoek, (d) de bodemsamenstelling in het onderzoek met diepe steekboringen en (e) de bodemsamenstelling volgens de radiometrische kartering, gevolgd door de discussie hierover in § 6.1.3.

In § 6.2 t/m 6.6 staan de gemeten en berekende wegstroom- en retourpercentages die op verschillende wijzen berekend zijn. Deze wijzen zijn (1) de baggerinspanning, (2) korrelgrootteverdeling, (3) lodingen, en (4) de radiometrische kartering.

6.1 Bodemopbouw van Loswal Noordwest

6.1.1 Meetmethode vorm en opbouw

De gebruikte meetmethodieken staan ook beschreven in § 5.1.1 en in de bijlagen.

a) Uitvoeren loding

Op Loswal Noordwest zijn lodingen uitgevoerd met een single beam echolood met een frequentie van 210 kHz. Vervolgens zijn deze lodingen vergrid en gekubeerd om het gestorte volume te bepalen. De uitvoering staat beschreven in bijlage 4. Het lodingsgebied valt samen met de grens van de loswal.

b) Uitvoeren korrelgrootteanalyse

Door drie instituten is de korrelgrootteverdeling bepaald van zeebodemmonsters. Hiermee is o.a. het slibpercentage vast te stellen. De details staan beschreven in bijlage 5.

c) Uitvoeren dichtheidsmetingen

De dichtheid van Loswal Noord en Loswal Noordwest is op twee manieren bepaald. Het betreft de methode waarbij gebruik is gemaakt van de absorptie van γ -straling die afhankelijk is van de dichtheid en van de weging van vaste volumes uit boorkernen. De details staan beschreven in bijlage 6.

d) Onderzoek bodemecosysteem (NIOZ en AquaSense)

De onderzoeksmethode naar het macrobenthos, megafauna en vissen staat beschreven in § 5.1.1d). Zie verder ook bijlage 16 en 17.

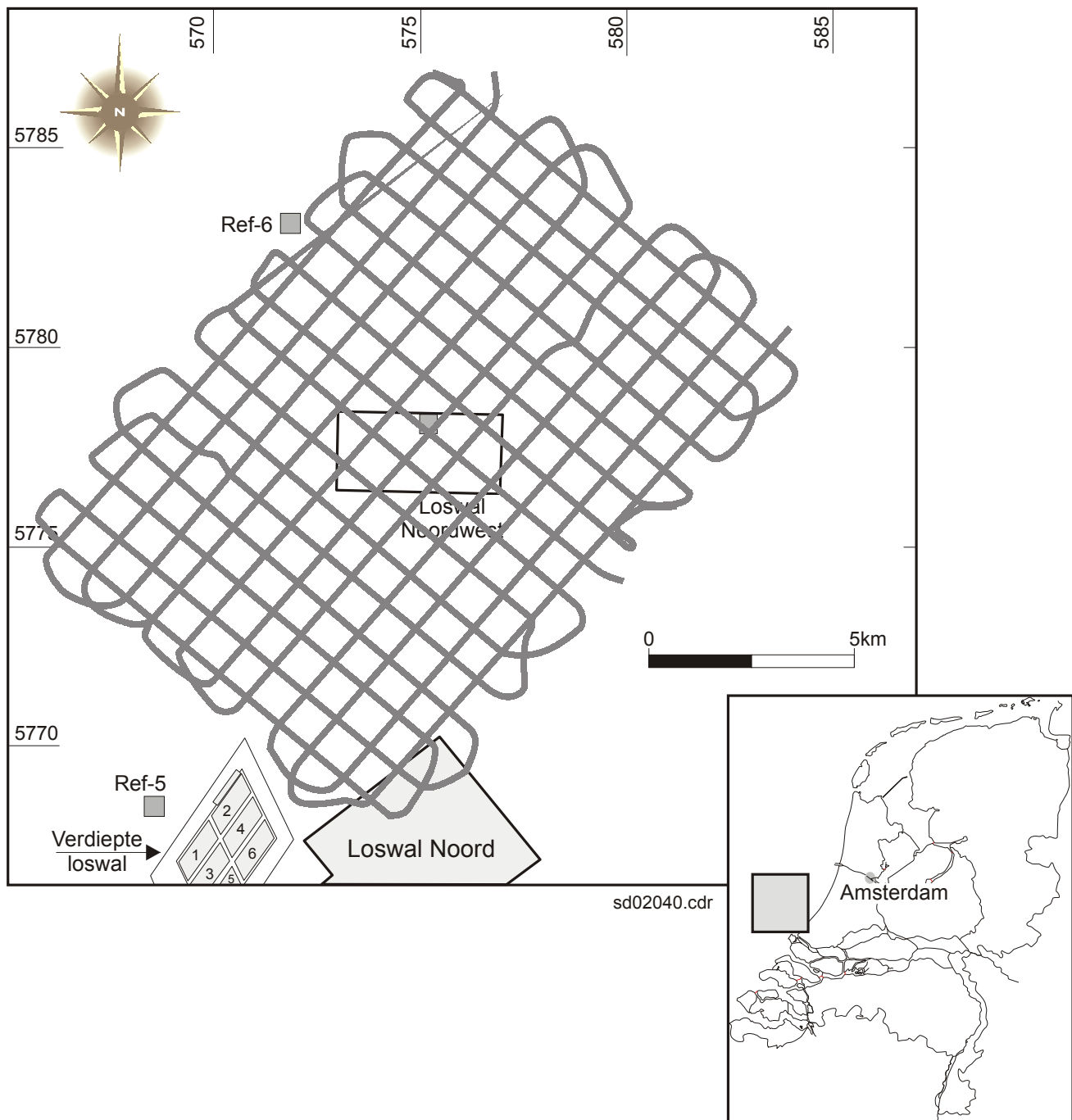
e) Uitvoeren radiometrische kartering

De radiometrische kartering is een techniek waarmee de verdeling en de hoeveelheid slib_{< 63 µm} en ook de equivalente laagdikte van het slib_{< 63 µm} wordt bepaald. Deze kartering wordt in een gebied van 10 km x 15 km rondom Loswal Noordwest uitgevoerd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de natuurlijke achtergrondstraling van klei, silt en zand, die voor elk van deze bodemcomponenten verschillend is.

Bij het uitvoeren van de radiometrische kartering wordt een sensor over de zeebodem gesleept. Met deze methode zijn sliblagen van enkele millimeters dik tot maximaal 30 cm te detecteren en te kwantificeren. De uitgebreide uitleg over deze methode staat in bijlage 7.

Het sleeppatroon was een ruitennet van 10 x 15 km² met onderlinge afstand tussen de raaien van 1 km. Dit ruitennet is zodanig gesitueerd dat de nieuwe Loswal Noordwest in zijn geheel en de oude Loswal Noord voor een deel in het net passen. Het ruitennet van de metingen in juni en november 1996 staat in Figuur 6-1. Voor de meting van november 1997 is het gebied rond de nieuwe loswal intensiever gemeten, met raai afstanden van 500 m, zoals getoond in Figuur 6-2.

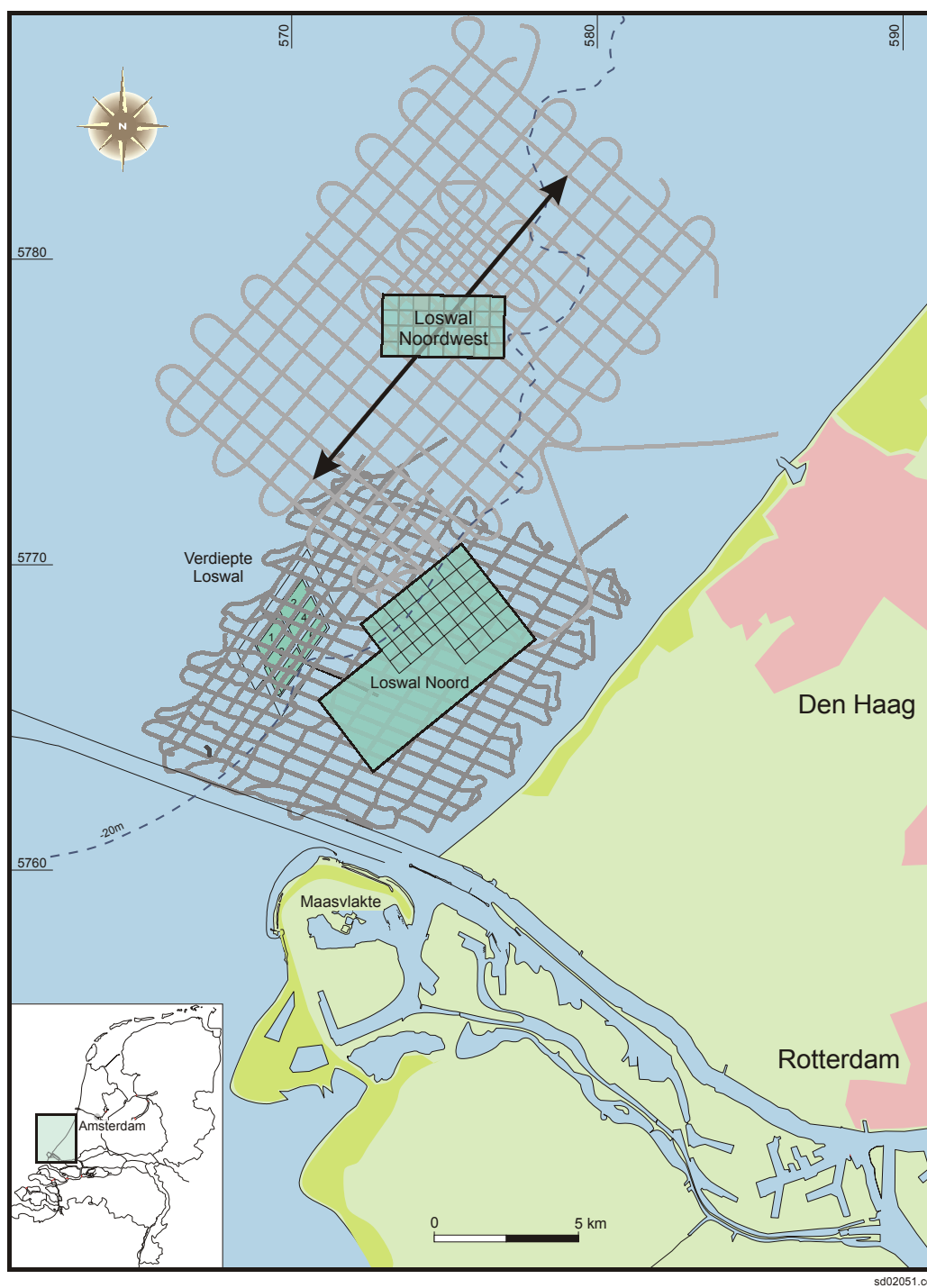
Figuur 6-1 De route in 1996



De locatie van de loswallen en het ruitennet waarlangs de detector gesleept is in juni en november 1996.

sd02040

Figuur 6-2 De route in 1997



De vaarroute voor de radiometrische kartering over Loswal Noordwest in 1997 (bovenste raaiensetel). Om een overzicht te kunnen geven is alvast de vaarroute van de verdiepte Loswal ingetekend (onderste raaiensetel). De raai die extra dik is getekend in deze figuur, is de raai waarlangs de radioactiviteit en diepte getoond worden in Figuur 6-10.

sd02039

6.1.2 Resultaten bodemopbouw Loswal Noordwest

a) Vorm van de stortberg

Loswal Noordwest, met een omvang van 2 bij 4 km, is voor het storten onderverdeeld in 32 stortvakken van elk 500 m x 500 m. In de onderzoeksperiode van juli 1996 tot juni 2002 is op de vakken 29, 30, 31 en 32 (zie Figuur 6-5) baggerspecie gestort. Om de groei en de omvang van de stortberg te bepalen, zijn lodingen uitgevoerd die naderhand gekubeerd zijn om per stortvak het gestorte volume te kunnen vaststellen. De volumeverandering (meestal volumetoename) is steeds bepaald ten opzichte van de laatste loding vòòr de eerste storting. Bij elk van de verschilbepalingen is gecorrigeerd voor actuele veranderingen in het gebied door vak 8 als referentievak te gebruiken. Hierbij is verondersteld dat vak 8 (zie Figuur 6-5) niet beïnvloed werd door de stortingen. Deze aanpak staat in detail beschreven in 'Retourpercentage van Loswal Noordwest' (Stutterheim, 2002-b).

In Figuur 6-3 is de vorm van de stortberg weergegeven. Opvallend is dat slechts een 'halve' stortberg is teruggevonden. Door de horizontale verspreiding van de baggerspecie na het storten ligt de 'andere helft' buiten het lodingsgebied. Doordat slechts een halve stortberg is teruggevonden kan geen uitspraak worden gedaan over eventuele (a)symmetrie van de stortberg ten gevolge van stromen en golven.

Uit de figuur is af te lezen dat de gestorte baggerspecie zich zo'n 2 à 2,5 km horizontaal verspreidt.

Bodemgelaagdheid

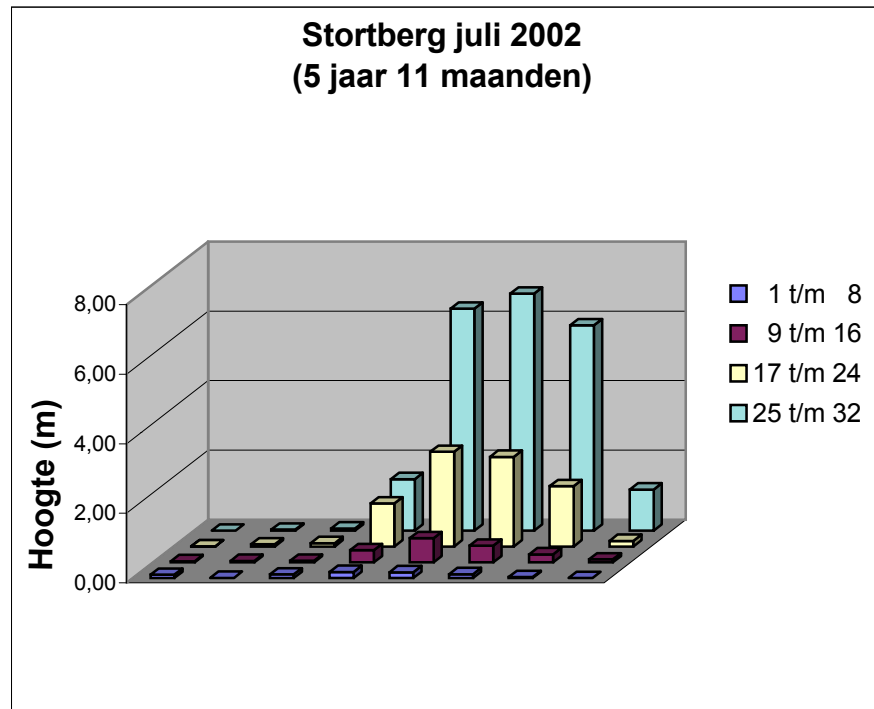
In Figuur 6-4 wordt de gelaagdheid in de bovenste 40 cm van de bodem ten zuiden en ten noorden van Loswal Noordwest getoond. Het onderzoeksgebied strekt zich over 15 km uit, waarbij de monsters in de reststroomrichting en in de retourrichting zijn verzameld.

Uit deze resultaten van augustus 1999 is duidelijk af te lezen welke monsters in de buurt van Loswal Noord of Noordwest zijn genomen en welke op enige afstand. Ten westen van Loswal Noord (nummer 1) is te zien dat de bovenste centimeter al zandiger is dan de laag daaronder, 9,7 % slib_{<63 µm} tegen 15,7 %. Vermoedelijk is slib weggespoeld uit de bovenste laag. Op circa 1 km afstand naar het noorden (nummer 2) is het slibgehalte gedaald tot 6,0 en 9,9 %, waarbij ook de toplaag zandiger is. De volgende monsters tussen de loswallen in (nummers 3 en 4) tonen enkele procenten slib, maar hoger dan de referentiemonsters. De invloed van de loswallen doet zich hier gelden.

Op de zuidrand van Loswal Noordwest (nummer 5) is een verhoogd slibgehalte waarbij de toplaag 3,2 % en de laag eronder 1,9 % slib toont. Dit zal veroorzaakt zijn door wegstromen van het slib vanaf de loslocatie op vak 29 en 30. Op Loswal Noordwest zelf (nummers 6 en 7) zijn hoge slibgehaltenes gevonden, van 32 tot 44 %. Monster nummer 7 ligt buiten de loswal maar binnen de 'halve stortberg'. Dit punt is een bewijs van de aanwezigheid van de 'halve stortberg'. Meer naar het noorden (nummer 8) laat een gelaagdheid zien: eerst 2 cm met 2 % slib, eronder 8 cm met 5,1 % slib en daaronder 15 cm met 0,6 % slib, waarschijnlijk de oorspronkelijke zeebodem.

Dit monster van de locatie op 3,2 km afstand van het stortvak laat zien dat slib zich over deze afstand kan verplaatsen.

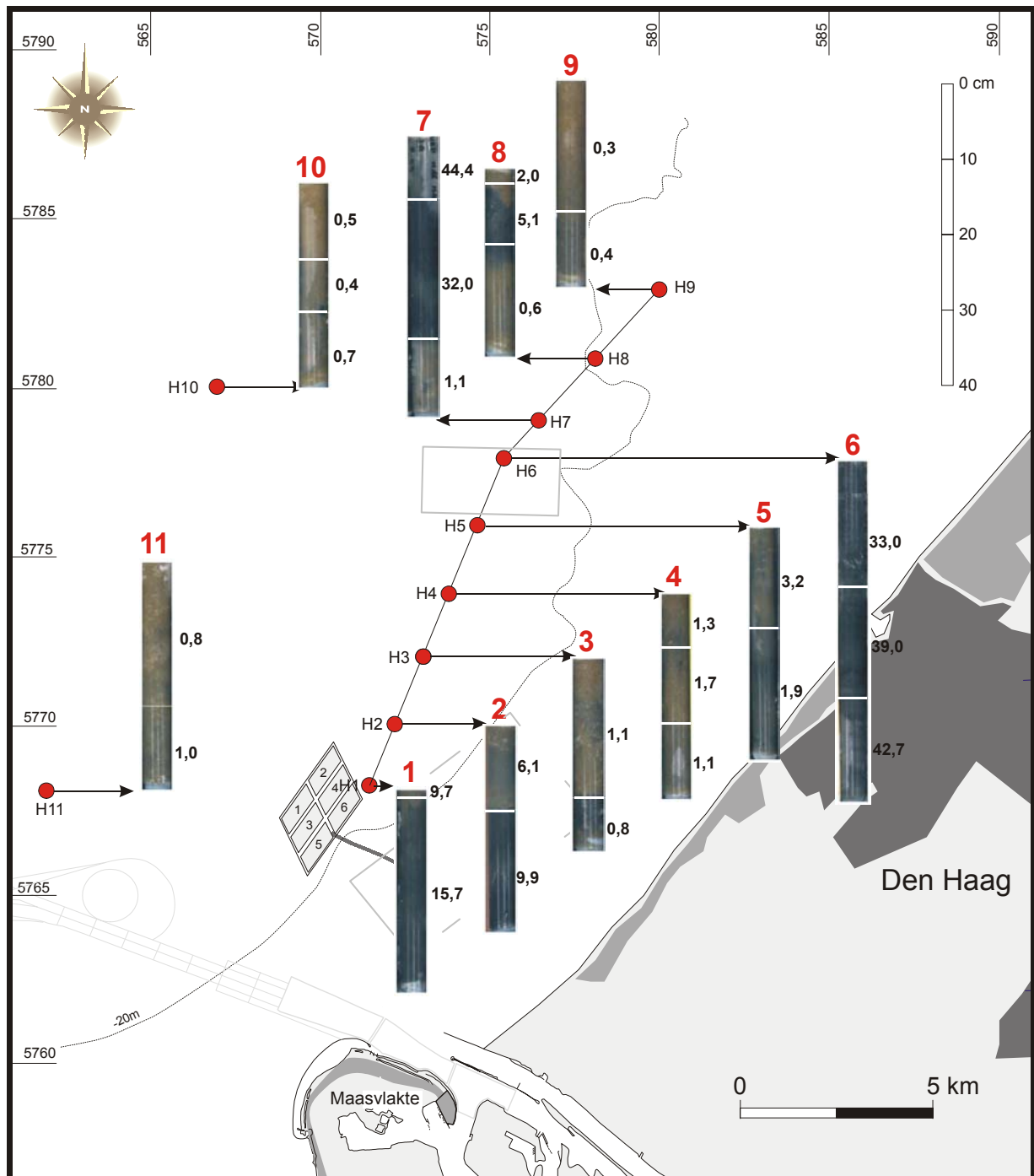
De nummers 9 (op 6 km), 10 (8 km) en 11 (14 km) kunnen beschouwd worden als referentiemonsters, aangezien het slibgehalte onder de 1 % ligt.



De hoogtetoeename op Loswal Noordwest tussen juli 1996 en juni 2002. De hoogte is gemeten ten opzichte van de loding in mei 1996 en gecorrigeerd voor hoogteveranderingen in vak 8.

m:\groos\mal\ eind-rap\NW-eind-lod-slib-II

Figuur 6-4 Bodemgelaagdheid rondom Loswal Noordwest



Sd02068.cdr

Er zijn in augustus 1999 11 steekmonsters genomen met 50-cm buisjes uit boxcore-monsters op locaties op en rondom Loswal Noordwest. Het slijtgehalte (%) is vermeld per 'bandje' uit de steekmonsters, waarbij steeds 2 of 3 bandjes visueel zijn onderscheiden en geïsoleerd.

sd02068

b) Dichtheid

Op Loswal Noordwest is op twee verschillende manieren de dichtheid van de stortberg bepaald, nl. via weging van gestoken boorkernen en via de absorptie van γ -straling. De bepaling via γ -straling is als minder bruikbaar beoordeeld omdat de gevonden dichtheden vlak boven de detectiegrens zaten. Om die reden worden hier alleen de dichtheden vermeld die via weging zijn bepaald (Stutterheim, 2002-b).

Op tien locaties, verdeeld over de stortvakken 28, 29 en 30, is in juli 1999 een diepe steekboring van ongeveer 4 m genomen, waarbij ook de oorspronkelijke zeebodem werd bemonsterd. Hierin is een gemiddelde **natte dichtheid** gemeten van **1,86 ton.m⁻³**. Hieruit is de corresponderende droge dichtheid berekend, de zg. referentie droge dichtheid, onder gebruikmaking van de formule uit bijlage 6 op basis van een soortelijk gewicht van 2,6 voor het steenachtige materiaal. De **referentie droge dichtheid** is **1,38 ton.m⁻³**. Er is enige tijd verlopen tussen het nemen van de steekboringen en het bepalen van de natte dichtheid zodat het mogelijk is dat de natte dichtheid in geringe mate is overschat door uitdroging van de monsters waarbij het volume is afgenomen.

In november 2001 is een tweede dichtheidsmeting uitgevoerd in het midden van vak 30, zie voor de ligging Figuur 6-5.

De **gemeten droge dichtheid** was **1,59 ton.m⁻³** en de **gemeten natte dichtheid** **1,85 ton.m⁻³**. Deze laatste waarde stemt goed overeen met 1,86 ton.m⁻³ uit juli 1999. Er is geen verband tussen de diepte en de dichtheid gevonden. De resultaten staan in Tabel 6-1.

Voor de berekeningen van het wegstroom- en retourpercentage in dit rapport wordt de droge dichtheid **1,59 ton.m⁻³** gebruikt.

Figuur 6-5 Ligging van de stortvakken op Loswal Noordwest

	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'
	10'	11'	12'	13'	14'	15'	16'
	18'	19'	20'	21'	22'	23'	24'
25	26	27	28	29	30	31	32
17	18	19	20	21	22	23	24
9	10	11	12	13	14	15	16
1	2	3	4	5	6	7	8

sd02012.cdr

De stortvakken op Loswal Noordwest, in groen de stortvakken, in rood de vakken waarop gestort is; de vaknummers met apostrof geven de virtuele stortvakken aan die voor de berekening gebruikt worden.

sd02012

c) Bodemsamenstelling - biologie-onderzoek

De gebruikte meetmethoden staan beschreven in 5.1.1d) en 6.1.1d).

Onderzoek 1996 (AquaSense)

De bodem van Loswal Noordwest bestaat uit grover zand dan bij Loswal Noord. Op de meeste locaties domineert de fractie van 300 - 600 μm en varieert het slibgehalte ($< 53 \mu\text{m}$) van 0,1 tot 0,2 %. Op station NW5 ligt fijner zand en is het slibgehalte 0,8 %. De resultaten staan in Figuur 6-6.

Onderzoek 1997 (AquaSense)

Op de referentielocaties voor Loswal Noordwest (Ref-4 en NW4) domineert de grove fractie van 300 - 600 μm en varieert het slibgehalte van 0,1 tot 0,2 %. Op station OC in vak 29, waar het storten begonnen is, is na 11 maanden storten het slibgehalte opgelopen tot 36,8 %. Op station 1C, 1 km oostelijker komt zowel grof zand als slib $_{<63 \mu\text{m}}$ voor. Het slibgehalte bedraagt 45,5 %, nog hoger dan op de stortplaats zelf. In de boxcore was te zien dat de bovenste 20 cm uit slib $_{<63 \mu\text{m}}$ bestond met daaronder vooral grof zand. Deze bodemopbouw wordt uiteraard verklaard door de storting van baggerspecie op OC, op 1 km tegen de reststroom in. De stations 2C, 3C en 5C op afstanden van 2 tot 5 km van het stortvak bevatten voornamelijk grof zand (300 - 600 μm) en bevatten daarnaast een verhoogd slibgehalte (2,4 - 3,6 %).

Onderzoek 1998 (AquaSense)

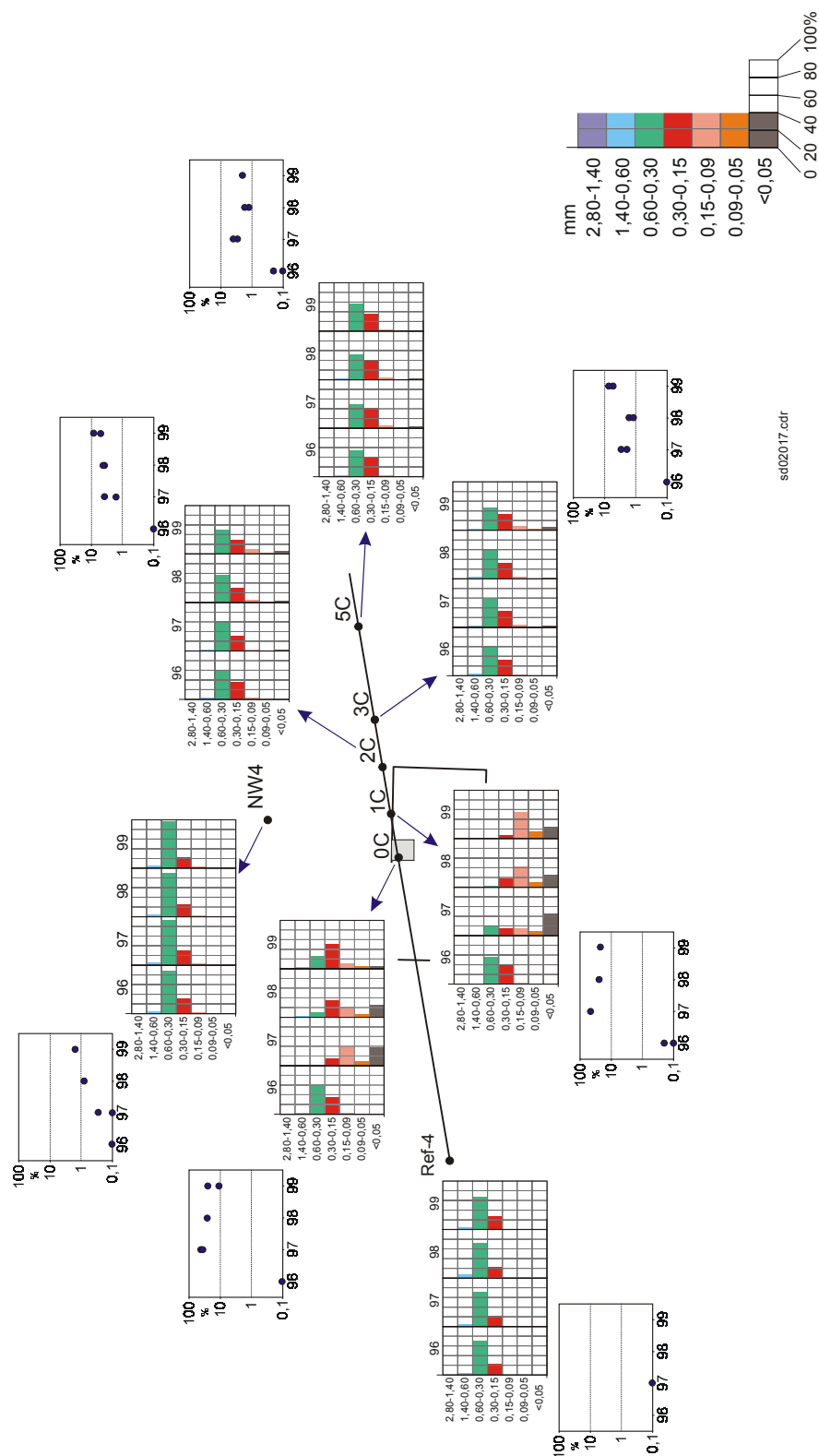
Op de referentielocaties voor Loswal Noordwest (Ref-4 en NW4) wordt het sediment gedomineerd door de grove zandfractie (300 - 600 μm) en bedraagt het slibgehalte respectievelijk 0,0 en 0,8 %. In het eerst gebruikte stortvak (station OC, in vak 29) bestaat het sediment in 1998 voornamelijk uit de zandfractie 150 - 300 μm en is het slibgehalte ($< 53 \mu\text{m}$) 26,4 %. Bij station 1C, gelegen in vak 30, op 1 km meer naar het oosten, werd in 1998 vak 30 in gebruik genomen. Hier bestaat het sediment uit fijn zand (90 - 150 μm) en bedraagt het slibpercentage 24,8 %. Op 1 km afstand hiervan (station 2C), bestaat het sediment uit grof zand (300 - 600 μm) en een slibgehalte van 4,0 %. Ook de stations op 2 en 4 km van vak 30 (3C en 5C) zijn grofzandig, maar het slibgehalte is lager (1,5 %). De resultaten staan in Figuur 6-6.

Onderzoek 1999 (AquaSense)

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

Figuur 6-6 Slib_{< 63 µm} en korrelgrootteverdeling Loswal Noordwest

Loswal Noordwest - slib en korrelgrootte verdeling



Slib_{< 63 µm} en mediane korrelgrootteverdeling Loswal Noordwest, gemeten door AquaSense, 1996 t/m 1999.

sdsd02017

Resultaten 1996 (NIOZ)

In 1996, vóór de aanvang van de baggerspeciéstorting, bevatte het hele gebied van Loswal Noordwest in het algemeen een geringe fractie slib_{< 63 µm} (0,5 - 2,6%). De laagste slibgehalten worden in het noordwesten gevonden, de hoogste in het zuidoosten; op de locaties 5E en 8D was het slibgehalte het hoogst met respectievelijk 4,7 en 3,5%. Zoals in Figuur 10-1 en Figuur 11-1 (zie ook Figuur 5-2 t/m Figuur 5-5) te zien is, liggen deze locaties op 2 tot 4 km afstand van de Loswal Scheveningen. Het sediment was middelgrof- tot grofzandig (mediane korrelgrootte 300 - 400 µm). Noch in de richting van de reststroom, noch in een richting dwars daarop was er een gradiënt in de mediane korrelgrootte te bespeuren. De resultaten staan in Figuur 6-7 en Figuur 6-8.

Resultaten 1997 (NIOZ)

In 1997 werden in het stortvak vak 29 (locatie 0C) zeer hoge slibgehalten aangetroffen (24 – 36% <63 µm), vergelijkbaar met die een jaar eerder op Loswal Noord. Op een drietal locaties tot op 1 km afstand ten oosten en/of ten zuiden van dit stortvak bleken de slibgehalten eveneens verhoogd (16, 41 en 49%). De stations 0A en 2C, op 2 km ten zuiden en oosten van 0C, hadden ook nog een verhoogd slibgehalte: respectievelijk 5 en 16%. Op basis van een veranderde mediane korrelgrootte was de verspreiding van gestort materiaal aantoonbaar op twee stations op 1 km afstand.

Resultaten 1998 (NIOZ)

De situatie in 1998 was vergelijkbaar met 1997: sterk verhoogde slibgehalten op stortlocatie vak 29 (locatie 0C) (18 - 44%) en het in 1998 bij 1C in gebruik genomen nieuwe vak 30 (39%) en op enkele stations op 1 km afstand daarvan (tot 38%). Een lichte verhoging van het slibgehalte op enkele andere stations (*e.g.* 5,4 % op 5A) duidt erop dat gestort materiaal tot op 4,5 km van de stortlocatie zou kunnen uitwaaiëren.

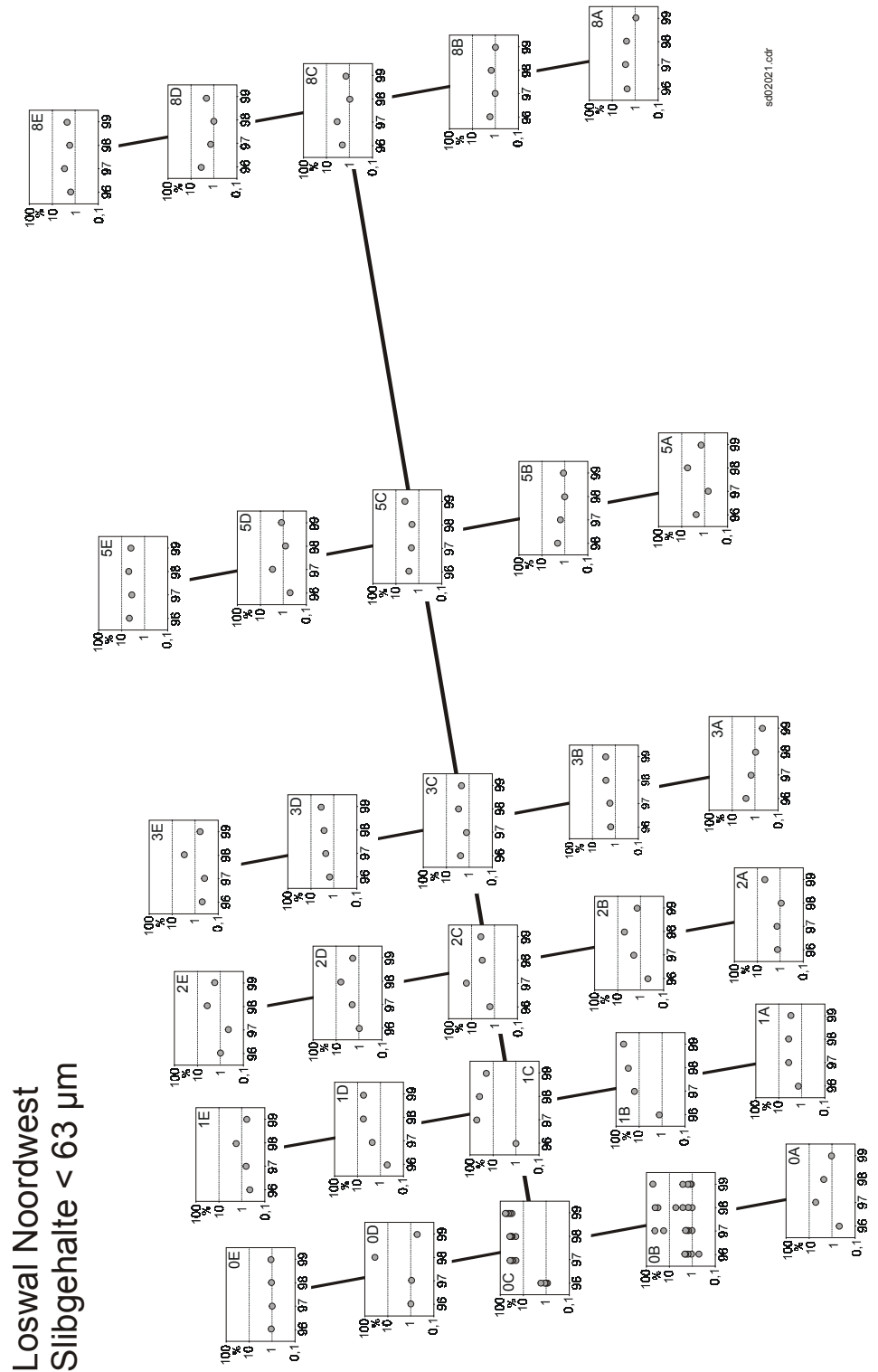
Resultaten 1999 (NIOZ)

De situatie in 1999 was vergelijkbaar met 1997 en 1998: sterk verhoogde slibgehalten op stortlocatie vak 29 (locatie 0C) (35 - 58%) en bij 1C (19%) en op enkele stations op 1 km afstand daarvan (tot 50%). Het slibgehalte in vak 29 en de locaties 0B en 1B neemt van jaar tot jaar toe. Op locatie 1C is juist een afname te zien. Een lichte verhoging van het slibgehalte op enkele andere stations (*e.g.* 3,8 % op 5C) duidt erop dat gestort materiaal hooguit tot op 4 km van de stortlocatie uitwaaiert.

Samenvatting Loswal Noordwest

In 1996, voor de aanvang van de baggerspeciéstorting, bevatte het hele gebied van Loswal Noordwest in het algemeen een geringe fractie slib: het NIOZ vond waarden van 0 – 2,5%, AquaSense vermeldt een lagere range: 0,0-0,2%. Het sediment was middelgrof- tot grofzandig (mediane korrelgrootte 300 - 400 µm). Noch in de richting van de reststroom, noch in een richting dwars daarop was er een gradiënt in de mediane korrelgrootte te bespeuren. Het effect van de storting van baggerspecie in vak 29 was duidelijk te zien op locatie 0C: het slibgehalte nam na een jaar sterk toe: 24 - 36% (NIOZ) en 37% (AquaSense). In 1999 werd in een NIOZ-monster op deze stortlocatie zelfs een slibgehalte van 58% gevonden. Vanaf 1998 stond 1C onder directe invloed van een nieuw in gebruik genomen stortvak (vak 30). Het hoogste slibgehalte bedroeg daar sindsdien 39% (NIOZ) en 25% (AquaSense).

Figuur 6-7 **Slib_{<63 µm} Loswal Noordwest**

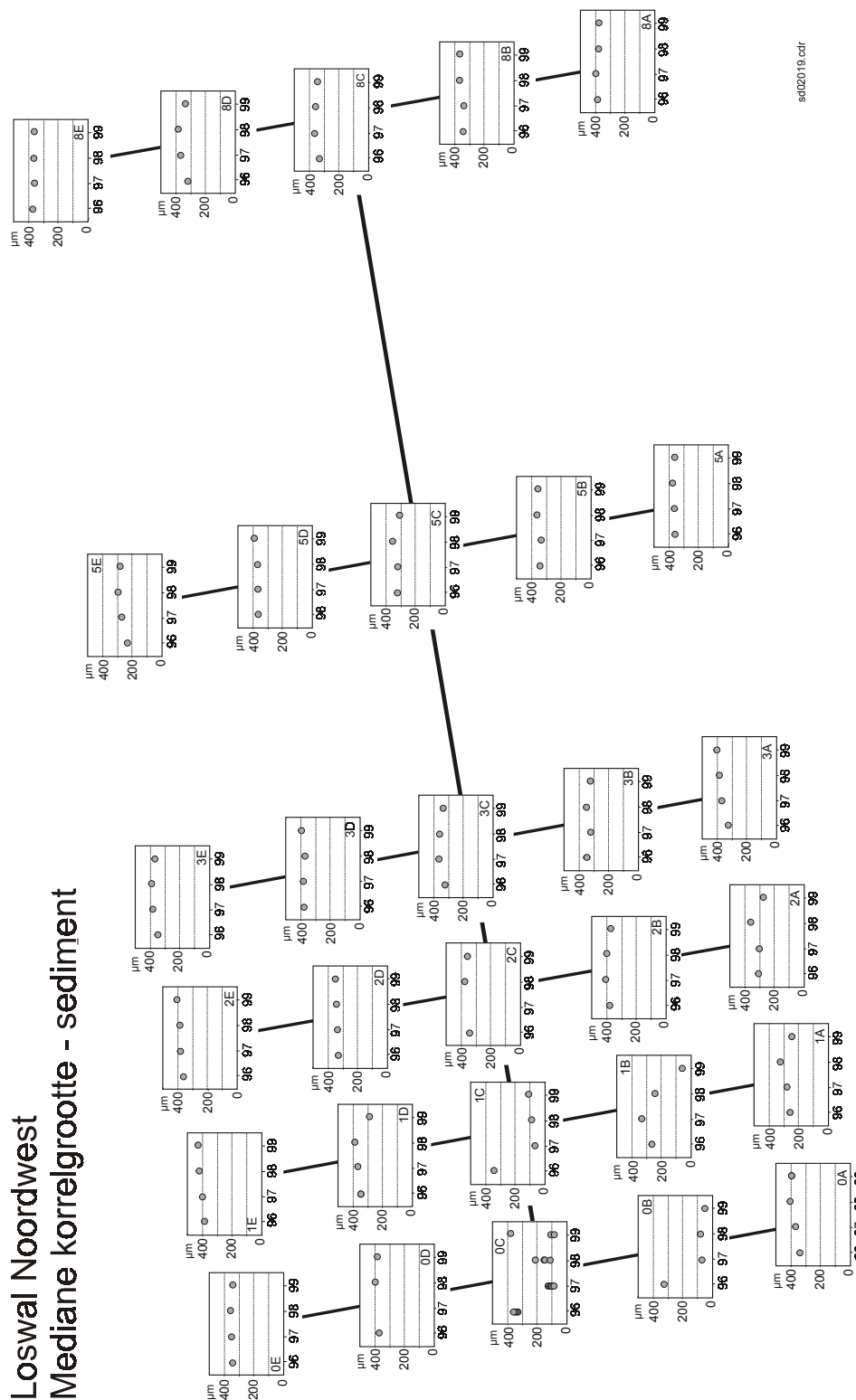


sd02021.cdr

Slibgehalte Loswal Noordwest, gemeten door NIOZ, 1996 t/m 1999.

sd02021

Loswal Noordwest Mediane korrelgrootte - sediment



Mediane korrelgrootte Loswal Noordwest, gemeten door NIOZ, 1996 t/m 1999.

sd02019

sd02019.cdr

Na de aanvang van de stortingen werden in de directe omgeving ook sterk verhoogde slibgehaltenes gevonden: op de stations 0B, 1C en 1B, op 1 km ten oosten en/of ten zuiden van 0C vond het NIOZ voortdurend slibgehaltenes tussen de 16 en 50%. In 1997 hadden de station 0A en 2C, op 2 km ten zuiden en oosten van 0C, eveneens een hoog slibgehalte (5 en 16%). Ook AquaSense vond in 1997 een hoog slibgehalte (46%) op 1 km ten oosten van 0C.

Op grotere afstand van de stortlocatie werd op sommige locaties ook een toename van het slibgehalte gesignaleerd, zij het minder sterk. Het NIOZ vond vanaf 1998 slibgehaltenes tot ruim 5% op stations waar tijdens de t_0 (1996) een slibgehalte van 0,5 tot 2,5% werd gemeten. Dergelijke toenames werden waargenomen tot op 4,5 km van de stortlocatie. AquaSense vond in de periode 1997 - 1999 op 1, 2 en 4 km ten oosten van 1C slibgehaltenes van respectievelijk 2,7 - 6,7%, 1,4 - 6,4% en 1,5 - 3,6%. Deze waarden passen goed in het beeld van het NIOZ. Echter de referentiewaarden van AquaSense uit 1996 - overigens ook op Ref-4 in de jaren daarop - zijn relatief laag (0,0 - 0,2%). Bij het hanteren van deze lage referentiewaarden, kan uit slibgehaltenes al snel geconcludeerd dat er tot op grote afstand van 1C een toename van het slibgehalte te onderkennen is. Dit verklaart ook waarom het op zich lage slibgehalte (1,4%) op de referentielocatie NW4, op 3 km ten noordoosten van 0C, volgens de AquaSense het gevolg is van de storting van baggerspecie. Dat er daadwerkelijk sprake is van een effect van de baggerspeciéstorting tot op 4 km van 1C kan echter geconcludeerd worden uit de beschrijving van de bodem door AquaSense. Op 1C was slib_{<63 µm} in de bovenste 15 cm van het sediment te traceren. Verder naar het oosten nam de dikte van de sliblaag geleidelijk af tot 2 cm op station 5C.

De eindconclusie is dat het effect van baggerspeciéstorting op Loswal Noordwest bijzonder groot is op de sedimentsamenstelling van de stortingslocatie en op een aantal stations tot op 1 à 2 km afstand daarvan, met name in zuid en/of oostelijke richting. Daarnaast is een verhoogd slibgehalte te traceren op een aantal locaties tot op 4,5 km afstand. Deze verhoging lijkt echter bescheiden van aard. Evenals op Loswal Noord vertoonde de bodem een gelaagde opbouw, waarbij zand en slib_{<63 µm} elkaar afwisselen.

d) Bodemsamenstelling - steekboringen (NITG)

Op tien locaties verdeeld over de stortvakken 28, 29 en 30 zijn in juli 1999 een diepe steekboring van ongeveer 4 m genomen. In deze kernen is het slibgehalte en de mediane korrelgrootte bepaald van de gestorte laag. Het gemiddelde slibgehalte is 17,7 %, terwijl de gemiddelde mediane korrelgrootte 146 µm bedraagt.

Ter vergelijking, in een ongestoord vak (No 27) is het slibgehalte 0,24 % en de mediane korrelgrootte 295 µm.

In november 2001 is in een boorkern in het midden van vak 30 een slibgehalte gemeten van 14,2 % en een mediane korrelgrootte van 157 µm.

Grosso modo nam het slibgehalte af over de verticaal en de mediane korrelgrootte nam toe. De resultaten staan in Tabel 6-1.

Tabel 6-1 Dichtheid en slibgehalte op Loswal Noordwest

	Diepte- sectie	Gemeten natte dichtheid	Referentie droge dichtheid	Gemeten droge dichtheid	Referentie natte dichtheid	Slib- gehalte	Mediane korrelgrootte
	m	TDS.m ⁻³	TDS.m ⁻³	TDS.m ⁻³	TDS.m ⁻³	%	µm
Augustus 1999							
vak 28	n.v.t.	2,0	1,61	n.v.t.	n.v.t.	25,6	130
vak 29	n.v.t.	1,8	1,28	n.v.t.	n.v.t.	21,5	130
vak 29	n.v.t.	1,9	1,45	n.v.t.	n.v.t.	16,9	178
vak 29	n.v.t.	1,7	1,12	n.v.t.	n.v.t.	14,1	159
vak 29	n.v.t.	2,0	1,61	n.v.t.	n.v.t.	19,0	143
vak 30	n.v.t.	1,8	1,28	n.v.t.	n.v.t.	15,2	139
vak 30	n.v.t.	1,7	1,12	n.v.t.	n.v.t.	13,9	165
vak 30	n.v.t.	2,1	1,78	n.v.t.	n.v.t.	18,1	139
vak 30	n.v.t.	1,8	1,28	n.v.t.	n.v.t.	14,7	154
gemiddeld		1,86	1,38			17,66	146
December 2000							
vak 27	0 - 0,5	2,01	1,63	1,68	2,04	0,0	388
vak 27	0,5 - 1,0	2,01	1,63	1,64	2,02	0,0	337
vak 27	1,0 - 1,5	2,04	1,68	1,66	2,03	0,1	285
vak 27	1,5 - 2,0	2,13	1,83	1,72	2,06	0,0	293
vak 27	2,0 - 2,5	2,02	1,64	1,67	2,03	0,1	251
vak 27	2,5 - 3,0	2,02	1,65	1,66	2,03	1,5	196
vak 27	3,0 - 3,5	2,13	1,83	1,79	2,11	0,0	316
gemiddeld		2,05	1,70	1,69	2,05	0,24	295
November 2001							
vak 30	0 - 0,5	1,86	1,38	1,27	1,79	39,7	96,2
vak 30	0,5 - 1,0	1,90	1,45	1,65	2,02	3,75	195,4
vak 30	1,0 - 1,5	1,94	1,51	1,79	2,11	23,6	113,1
vak 30	1,5 - 2,0	1,81	1,30	1,59	1,99	16,9	179,0
vak 30	2,0 - 2,5	1,70	1,12	1,42	1,88	1,07	230,1
vak 30	2,5 - 3,0	1,94	1,51	1,76	2,09	10,4	147,0
vak 30	3,0 - 3,5	1,81	1,30	1,59	1,99	3,77	135,1
vak 30	3,5 - 4,0	1,84	1,35	1,67	2,03	-	-
Gemiddeld		1,85	1,37	1,59	1,99	14,2	156,5

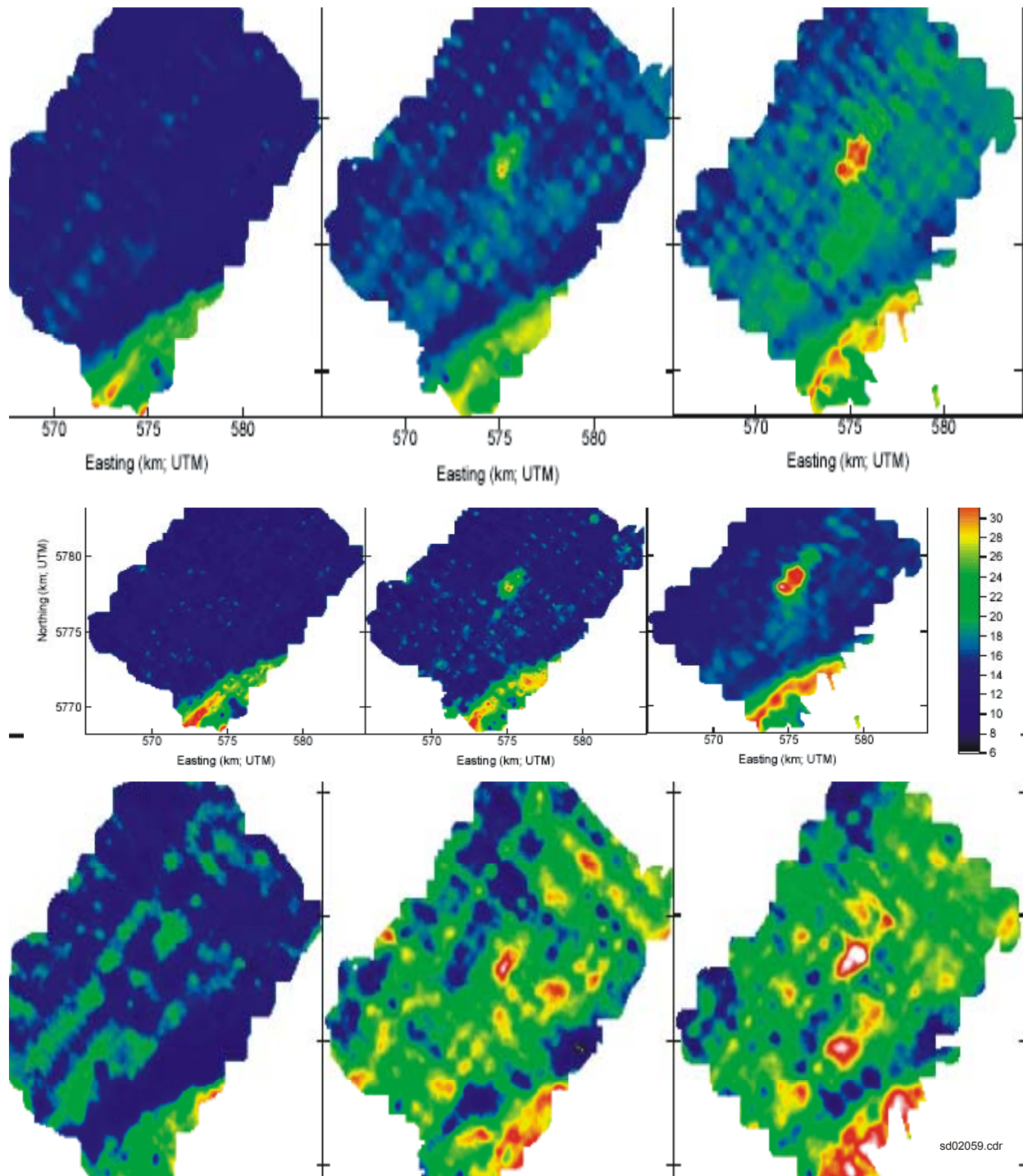
In de meting van december 2000 was de steekdiepte 3,5 m, de storthoogte 0 m en de waterhoogte 20,6 m. In november 2001 was de steekdiepte 3,9 m, de storthoogte groter dan 3,9 m en de waterhoogte was 13,9 m. Er is alleen gemeten in de gestorte laag

e) Bodemsamenstelling radiometrische kartering

De slibverdeling rondom de Loswal Noordwest is gemeten waarbij gebruik is gemaakt van de natuurlijke radioactiviteit van het bodemmateriaal. De resultaten van dit onderzoek staan uitgebreid beschreven in Venema (1999-b). De radiometrische karteringen laten de verdeling van de natuurlijke radioactiviteit rondom Loswal Noordwest zien (Figuur 6-9). In deze plaatjes wordt het onderzochte gebied getoond waarbij de kleuren de totale radioactiviteit (cps) tonen en de activiteit van ²³⁸Uranium plus ²³²Thorium en

Figuur 6-9

Verdeling natuurlijke radioactiviteit rondom Loswal Noordwest



Voor de kartering in juni 1996 (t_0), november 1996 (t_1) en oktober 1997 (t_2) is de verdeling van de totale radioactiviteit, van ^{238}U Uranium plus ^{232}Th Thorium en van ^{40}K Kalium getoond. (Venema, 1999b, p14)

sd02059

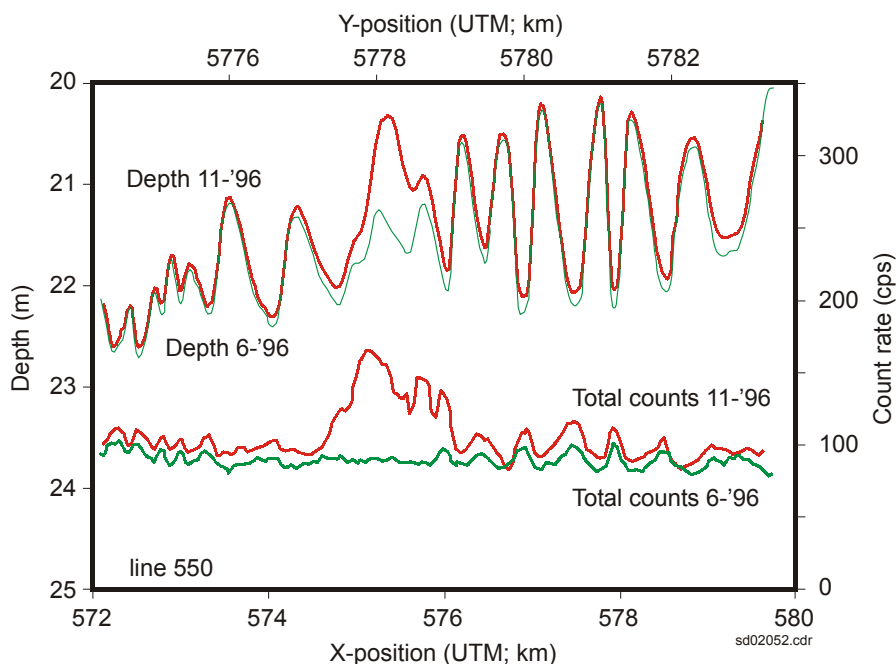
⁴⁰Kalium die in het slib_{<63µm} zitten. Op de originele zeebodem (linker plaatjes) is Loswal Noordwest niet te onderscheiden van de omringende zeebodem terwijl Loswal Noord te zien is door een verhoogde activiteit.

Na drie maanden storten (t₁, middelste plaatjes) vertoont Loswal Noordwest dezelfde karakteristiek als Loswal Noord. Na 15 maanden storten (t₂, rechter plaatjes) is het effect van de voorgesette stortingen te zien. De totale activiteit over het hele gebied is toegenomen. De verdere verspreiding van kalium, vergeleken met die van uranium en thorium, wordt verklaard doordat kalium meer is gebonden aan de meest mobiele sedimentfractie.

Dieptemetingen

In Figuur 6-10 staan de signalen van radioactiviteit en diepte-peilingen van de situatie in juni en november 1996. De metingen zijn verricht langs een raai die over de loswal loopt, zie Figuur 6-2 op de dikgedrukte lijn 550. De verhoging in de bovenste rode lijn geeft het storten van specie aan. De toename in radioactiviteit in relatie tot de gestorte specie is duidelijk te zien. Eveneens valt de correlatie op tussen de bodemvormen en het signaal: de deels opgevulde dalen van de megaribbels of zandduinen vallen samen met een verhoogde radioactiviteit.

Figuur 6-10 Diepte en radioactiviteit



Lodingen tezamen met de natuurlijke radioactiviteit langs een raai (zie Figuur 6-2) uit de juni en november 1996 metingen. De verhoogde radioactiviteit valt overduidelijk samen met de plaats van storting.

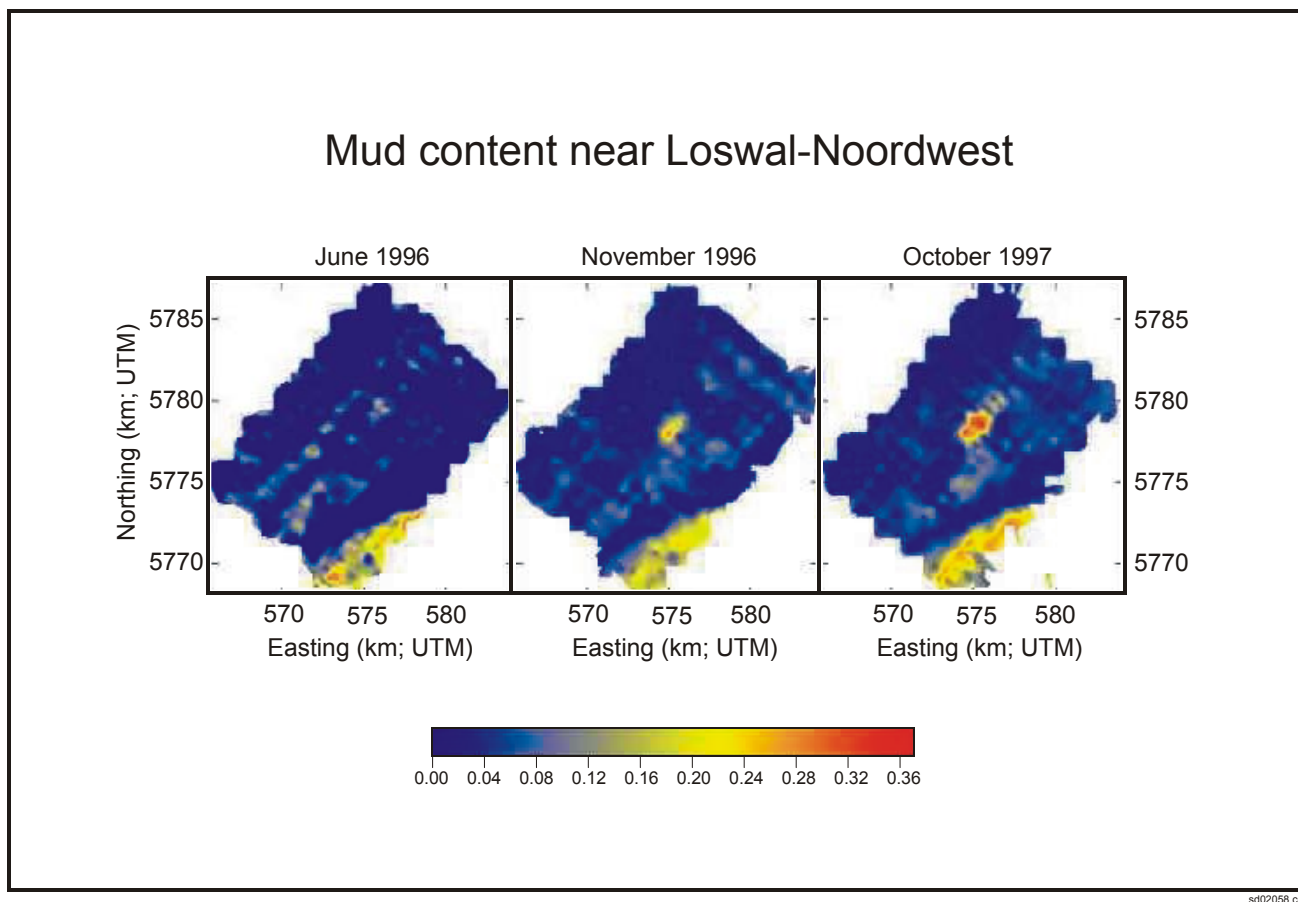
sd02052

Slibverdeling

De radiometrische karteringen geven ook aan waar en in welke hoeveelheden het slib_{<63 µm} ligt. Figuur 6-11 toont de slibfractie op de zeebodem voor de drie metingen. Pas nadat er gestort is, wordt Loswal Noordwest zichtbaar. Hoe

meer er gestort is, des te hoger wordt het slibgehalte op en rondom Loswal Noordwest. Het slibgehalte varieert van 0 % voor de gewone zeebodem tot 40 % voor de baggerspecie op de loswal.

Figuur 6-11 Slibgehalte rondom Loswal Noordwest



Voor de kartering in juni 1996 (t_0), november 1996 (t_1) en oktober 1997 (t_2) is de verdeling van het $\text{slib}_{<63\mu\text{m}}$ getoond. (Venema, 1999b, p15)

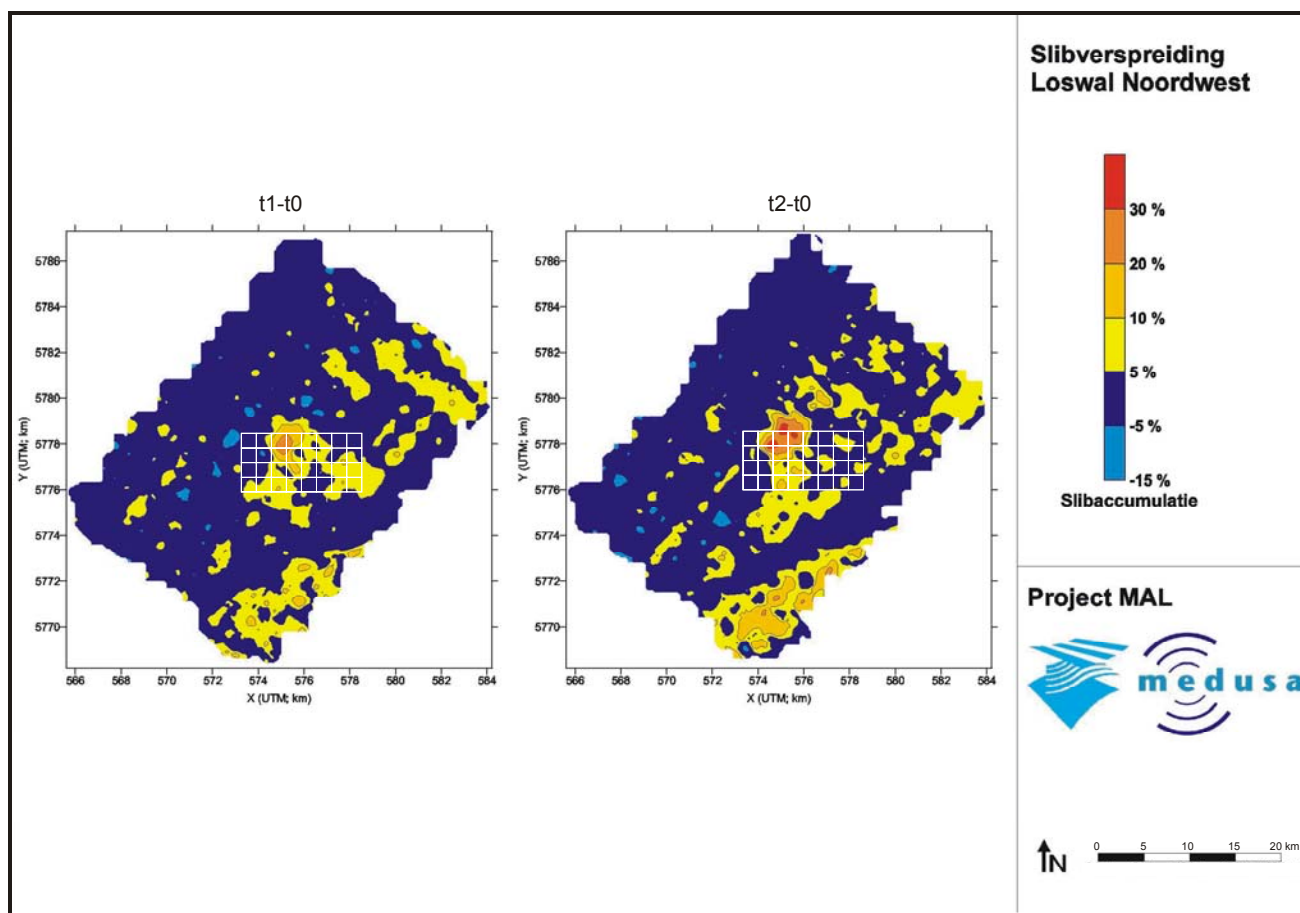
sd02058

Doordat met het storten van baggerspecie op Loswal Noordwest is begonnen, is er $\text{slib}_{<63\mu\text{m}}$ terechtgekomen rondom de loswal. In Figuur 6-12 laat dit slibpatroon zien. Dit patroon is bepaald door het verschil tussen twee karteringen te berekenen. Het betreft het verschil tussen:

- t_0 in juni 1996 en november 1996, t_1 ;
- t_0 in juni 1996 en oktober 1997, t_2 .

Het $\text{slib}_{<63\mu\text{m}}$ is in alle richtingen verspreid tot de rand van het karteringsgebied, een afstand van 15 km. Het slibpatroon toont twee preferentiële richtingen, zuidelijk en noordoostelijk.

Figuur 6-12 Achtergebleven slib_{< 63 µm} rondom Loswal Noordwest



sd02057.cdr

Het achtergebleven slib_{< 63 µm} rondom Loswal Noordwest na aanvang van het storten van baggerspecie. Het verschil tussen de kartering van juni 1996 (t_0), november 1996 (t_1) en oktober 1997 (t_2) is berekend. (Venema, 1999b)

sd02057

De slibgehalten rondom de loswal zijn omgerekend naar de hoeveelheden slib_{< 63 µm} die in de vier sectoren rondom de loswal liggen (Venema 1997-b en 1999-b en Stutterheim 2002-b). De massa slib, uitgedrukt in tonnen droge stof (TDS) staat in Figuur 6-13. Hierbij is gecorrigeerd voor de dubbeltelling van de halve stortberg (Stutterheim, 2002-b).

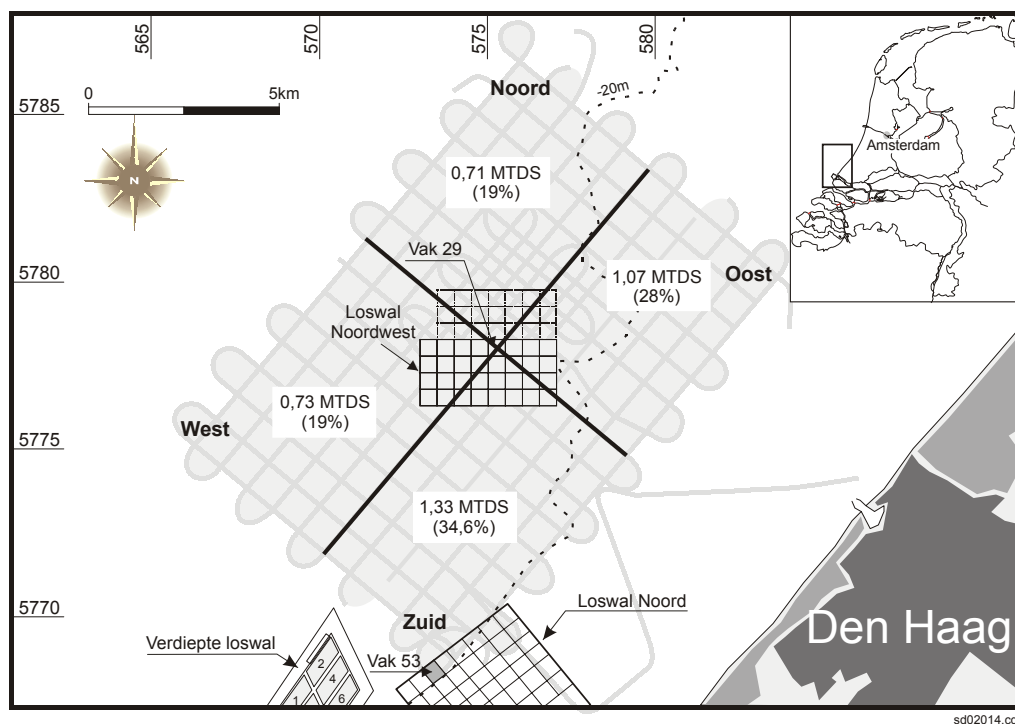
Indien van een gemiddelde laagdikte van het slib_{< 63 µm} wordt uitgegaan, dan heeft zich tot november 1996 een sliblaag van 9 mm dik rondom de loswal afgezet en tot oktober 1997 een sliblaag van 28 mm. Een dergelijke laagdikte is niet met de conventionele ladingmethode aan te tonen.

Tabel 6-2 Gecorrigeerde restmassa slib_{< 63 µm} rondom Loswal Noordwest

	Gecorrigeerde massa	
	miljoen TDS	%
Eerste periode $t_1 - t_0$		
Sector Oost	0,40	
Sector Noord	0,16	
Sector West	0,21	
Sector Zuid	0,41	
Totaal	1,18	
Tweede periode $t_2 - t_0$		
Sector Oost	1,07	27,9
Sector Noord	0,71	18,5
Sector West	0,73	19,0
Sector Zuid	1,33	34,6
Totaal	3,84	

De hoeveelheid restmassa die bepaald is via radiometrische kartering is gecorrigeerd voor de dubbeltelling van de 'gespiegelde halve stortberg' (Stutterheim, 2002-b).

Figuur 6-13 Verdeling van het slib_{< 63 µm} rondom Loswal Noordwest



De hoeveelheid slib_{< 63 µm} die aanwezig is rondom Loswal Noordwest ten gevolge van de stortingen van baggerspecie, uitgedrukt in TDS (tonnen droge stof) en als procenten tussen haakjes voor de periode juni 1996 (t_0) en oktober 1997 (t_1). (Stutterheim 2002-b)
sd02014

6.1.3 Discussie

In het onderzoek van AquaSense worden lagere referentiewaarden aangetroffen dan in dat van het NIOZ. De hoogte van de referentiewaarden is van belang voor het interpreteren van de gevonden waarden in de gebieden met verhoogd slibgehalte.

De slibgehaltenes die tijdens het biologische onderzoek zijn gevonden, liggen hoger dan die van de diepe steekboringen. Bij het biologische onderzoek zijn monsters van maximaal 50 cm genomen waardoor incidenteel hoge waarden gevonden kunnen worden (39 à 58 %). De gestorte baggerspecie van vaargeul plus haven bevat immers 37,9 à 55,4 % slib_{< 63 µm} (zie § 6.3.1). Bij de steekboringen wordt het gemiddelde over de verticaal gemeten, waar in de eerste plaats al een gemiddelde van de slibgehaltenes in de baggerspecie wordt gemeten, terwijl in de oudere lagen al een deel van het slib_{< 63 µm} is weggestroomd. Het gemiddelde slibgehalte in de stortberg bedroeg 17,7 %. Opvallend is de ruime horizontale verspreiding. De baggerspecie valt bij het storten zo'n dertig meter, en migreert daarna over kilometers. Lodingen laten een horizontale verplaatsing van 2,5 km zien, het NIOZ rapporteert 4,5 km en uit het radiometrische onderzoek valt op te maken dat het slib_{< 63 µm} zich in een laagdikte van enkele cm's over 5 tot 10 km kan verspreiden.

De laagopbouw is niet homogeen. Sliblaagjes worden door zandlaagjes afgewisseld. Dit is van belang voor de kwantificeren van slib_{< 63 µm} met de techniek van het radiometrisch karteren. Zie hiervoor Figuur 6-13, § 9.4 en Tabel 9-2.

Indien consequent met de boxcore was bemonsterd en niet met de van Veen-happer was meer en meer systematisch informatie verkregen in de laagopbouw van de bodem.

6.2 Verandering in retourpercentage op grond van baggerinspanning

In deze paragraaf wordt de afname van het retourpercentage door de ingebruikneming van Loswal Noordwest bepaald. Hiervoor wordt de baggerinspanning ten tijde van het storten op Loswal Noord vergeleken met de inspanning tijdens het gebruik van Loswal Noordwest. Het retourpercentage wordt in Figuur 4-2 gevisualiseerd door de pijlen 'c'. De afname van het retourpercentage bedraagt 36,9 %.

6.2.1 Hoeveelheid verwijderde baggerspecie

Uit de gegevens bleek dat de baggerinspanning nogal verschilt van jaar tot jaar, zie hiervoor Figuur 6-14 en bijlage 10. Om toch het verschil in baggerinspanning te berekenen is van de langst mogelijke periode gebruik gemaakt waarover gegevens beschikbaar waren. Om de afname in baggerinspanning te meten is uitgegaan van de droge massa baggerspecie, uitgedrukt in tonnen droge stof.

Voor de baggerinspanning in de vaargeul waren de gegevens in TDS beschikbaar van Directie Noordzee. De baggerinspanning in de havens waren opgegeven in kubieke meters beuninhoud die met een factor (0,4 ton droge stof per kuub, zie § 6.4.1) in tonnen droge stof zijn omgerekend.

Als eerste periode is gekozen voor 1 januari 1983 tot 1 juli 1996. In deze periode is uitsluitend gestort op Loswal Noord en waren er voor zowel de vaargeul als haven gegevens beschikbaar. In de periode voor 1987 ontbreken de opzuiggegevens uit de haven.

Als tweede periode is 1 juli 1996 tot 15 augustus 2000 gekozen omdat toen uitsluitend op Loswal Noordwest is gestort.

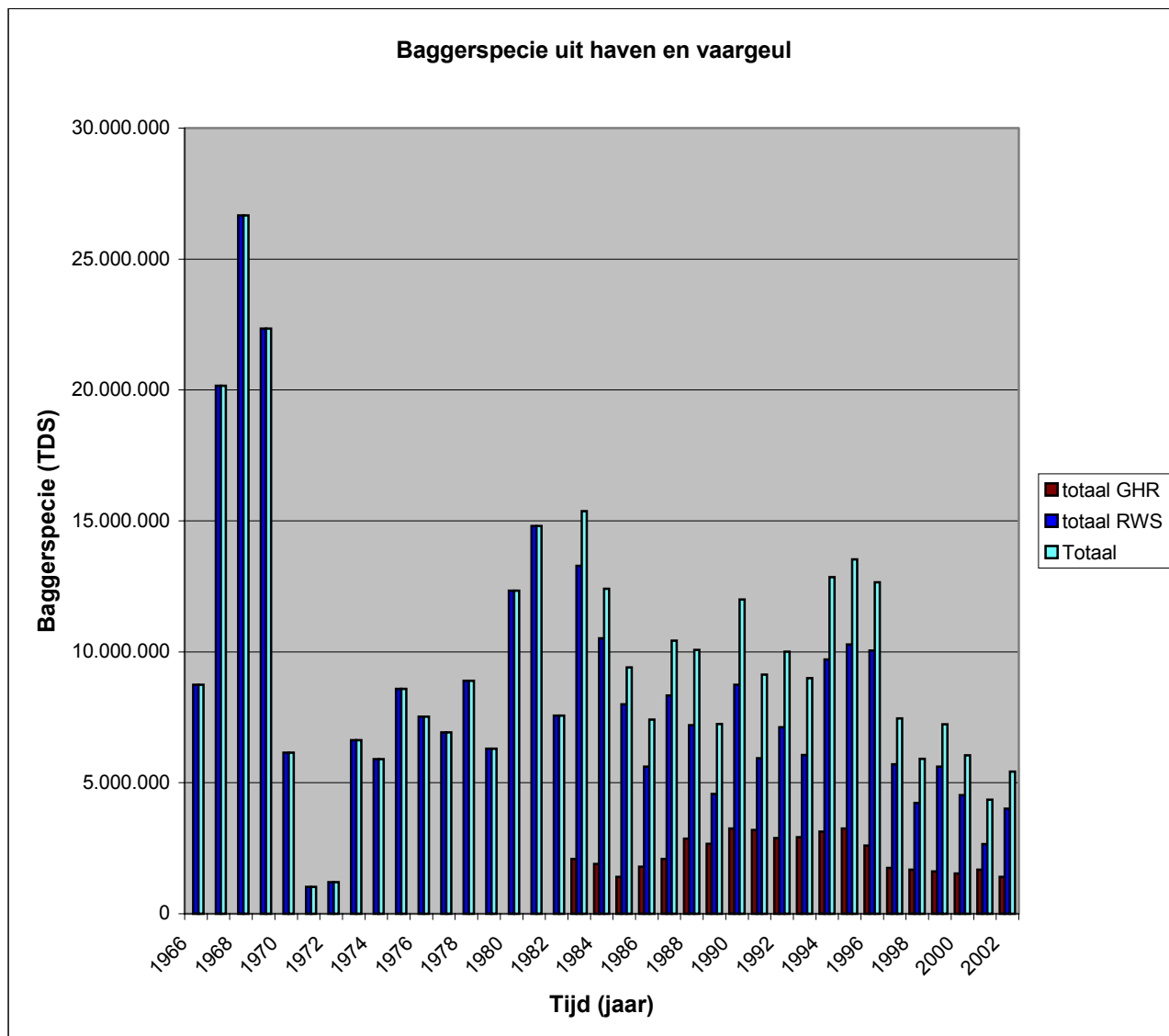
In Tabel 6-3 staan de resultaten.

Tabel 6-3 Afname baggerinspanning

Periode	Baggerinspanning in de vaargeul		Baggerinspanning in de haven		Totale baggerinspanning	
	MTDS	TDS/dag	MTDS	TDS/dag	MTDS	TDS/dag
1-1-1983 tot 1-7-1996 op Loswal Noord	113,4	23.004	35,7	7.244	149,1	30.248
1-7-1996 tot 15-8-2000 op Loswal Noordwest	21,40	14.221	4,87	3.234	26,3	17.444
Afname (%)		38,2 %		55,4 %		42,3 %

MTDS = miljoen ton droge stof

Figuur 6-14 Baggerinspanning in haven en vaargeul



De opgezogen hoeveelheid baggerspecie, de baggerinspanning, in de haven van Rotterdam van 1983 tot 2002, inclusief de baggerspecie die in de Papegaaienbek en in de Slufter is gestort (rode staafjes); en in de vaargeul van 1966 tot 2002 (blauwe staafjes) en het totaal (licht blauwe staafjes). Eind jaren '60 en begin jaren '80 zijn er verdiepingswerken uitgevoerd waarbij veel baggerspecie vrijkwam.

excel M:\groos\mal\stortopLNoord-a.xls #historie AB6

6.2.2 Verandering in baggerinspanning na ingebruikneming Loswal Noordwest

Na de ingebruikname van Loswal Noordwest is er een afname opgetreden in de baggerinspanning in de vaargeul van 38,2 %, in de havens van 55,4 % en in

de totale baggerinspanning van 42,3 %, gebaseerd op tonnen droge stof, zoals getoond in Tabel 6-3 .

Foutenschatting

Er is geen foutenschatting toegepast op de afname van de baggerinspanning omdat voor de opzuiggegevens voor 1996 geen foutenschatting bekend is.

6.2.3 Discussie

De jaar tot jaar variatie in de baggerinspanning is groot. De berekening van de afname van de baggerinspanning gaat uit van twee periodes, een van 13,5 en een van 4,5 jaar. Hoewel er door het ontbreken van de onderliggende foutenbronnen geen foutenschatting is uitgevoerd, is de verwachting gerechtvaardigd dat de gekozen periodes een voldoende betrouwbaar beeld opleveren.

In de haven is de afname van de baggerinspanning (55,4 %) groter dan in de vaargeul (38,2 %). Een verklaring hiervoor kan zijn dat vooral het retourtransport van slib_{< 63 µm} is afgenomen. Het (lichte) slib_{< 63 µm} sedimenteert (netto) in het algemeen niet zozeer in de vaargeul maar meer in de haven waar minder golfbeweging is om het gesedimenteerde slib_{< 63 µm} weer op te wervelen en weg te laten stromen. Een afname van het retourpercentage leidt zo mogelijk tot een grotere afname van de baggerinspanning in de haven dan in de vaargeul.

Een complicatie is dat het baggerregime (opzuigen) niet constant is geweest over de jaren heen. Zo zijn in 1984 en 1985 grote hoeveelheden in de haven opgebaggerd. Verder is in 1995/96 voor de haven overgestapt op een andere nautische bodem, wat ook invloed kan hebben gehad op de baggerinspanning.

Een onnauwkeurigheid in het verkregen resultaat wordt veroorzaakt door de 'nalevering' van teruggestroomde baggerspecie van Loswal Noord na 1 juli 1996. Deze terugstroom zal niet momentaan stoppen als er vanaf die datum op Loswal Noordwest wordt gestort. Ook zal na 15 augustus 2000 nog een terugstroom vanaf Loswal Noordwest plaatsvinden, die niet in deze berekening is meegenomen. Hopelijk zijn de gekozen periodes voldoende lang zodat deze onnauwkeurigheid verwaarloosbaar klein is, maar zekerheid hierover valt niet te geven.

Het retourpercentage hangt van meerdere stromen af. Het is niet alleen de retourstroom van de loswal (pijl 'c' uit Figuur 4-2, maar ook pijl de massastroom uit het zuiden (pijl 'a'). Zoals reeds opgemerkt, zijn deze stromen beïnvloed door het doorsteken van de Beerdam op twee plaatsen en het aanleggen van een nevengeul (§ 3.3) langs de vaargeul.

In hoofdstuk 10 wordt de berekende afname van het 'retourpercentage' van 42,3 % vergeleken met andere resultaten. Zo blijkt uit modelberekeningen een voorspelde afname van 31 à 32 %.

6.3 Wegstroompercentage Loswal Noordwest op grond van korrelgrootteverdeling

In deze paragraaf wordt het wegstroompercentage (pijl 'c' + 'e' uit Figuur 4-2) van Loswal Noordwest berekend op grond van het verschil tussen slibgehalte in haven en vaargeul en het slibgehalte in de stortberg.

6.3.1 Slibgehalte in haven en vaargeul

Het slibgehalte in de vaargeul is gemeten in monsters uit de vaargeul en uit de beun. Het slibgehalte uit de haven is alleen in monsters uit de beun gemeten.

Metingen in de beun

Er zijn baggerspeciemonsters genomen in de beun van de baggerschepen en in deze monsters is het slibgehalte bepaald.

Uit de baggerschepen die in de haven baggeren zijn 12 monsters genomen, zoveel mogelijk gespreid over het hele baggergebied van haven en vaargeul. Voor de vaargeul zijn 36 monsters genomen. Deze verhouding is gekozen om rekening te houden met het verschil in baggerinspanning in beide gebieden. Het slibgehalte is bepaald door het instituut NITG/TNO dat ook het slibgehalte in de slibberg heeft bepaald. Op deze wijze is 'slib' in beide gevallen op dezelfde manier gedefinieerd.

Het resultaat:

slibgehalte haven	85,8 %
slibgehalte in de vaargeul	27,8 %

In de periode juli 1996 tot 15 augustus 2000 is 4,76 MTDS opgebaggerd uit de haven en 22,5 MTDS uit de vaargeul. Het slibgehalte van alle baggerspecie bedraagt dus 37,9 % (massaprocenten).

De berekening is: $(4,76 * 85,8 + 22,5 * 27,8) / (4,76 + 22,5) = 37,9$

Metingen in de bodem van de vaargeul

Ook op een andere wijze is het slibgehalte in de vaargeul bepaald. In 1996 en 1997 zijn tweemaandelijks bodemonsters genomen in de vaargeul (zie bijlage 9). Het gemiddelde gehalte van materiaal groter dan 63 µm bedraagt 51 %, zodat het slibgehalte 49 % bedraagt. Deze monsters zijn echter door een ander instituut gemeten (nl. Laboratorium Zeeland/Walcheren). De analysemethode voor beide instituten blijkt echter te verschillen.

Ook verschilt de definitie van 'slib' bij beide berekeningswijzen. Bij de metingen van NITG/TNO is slib_{<63 µm} het steenachtige materiaal kleiner dan 63 µm; bij de tweede methode is 'slib' ook het kleine organische materiaal.

In dit geval bedraagt het gemiddelde slibgehalte van de baggerspecie 55,4 %.

De berekening is: $(4,76 * 85,8 + 22,5 * 49) / (4,76 + 22,5) = 55,43$

6.3.2 Korrelgrootteverdeling Loswal Noordwest

Op Loswal Noordwest zijn in juli 1999 in totaal 10 diepe steekboringen genomen van ongeveer 3 à 4 m lengte. Het gemiddelde slibgehalte bedraagt 17,7 %. Deze analyses zijn evenals de beunmonsters door NITG/TNO uitgevoerd zodat de resultaten onderling vergeleken mogen worden.

6.3.3 Wegstroompercentage

Het slibgehalte van de baggerspecie in de beun van de baggerschepen bedraagt gemiddeld 37,9 %, zoals gemeten is in beunmonsters. Nadat deze baggerspecie gestort is, daalt het slibgehalte op de loswal tot 17,7 % doordat een deel van het slib $< 63 \mu\text{m}$ wegspoelt. Indien wordt verondersteld dat er geen zand van de gestorte baggerspecie wegspoelt van de stortberg, kan het wegstroompercentage op grond van de afname van het slibgehalte worden berekend. Dit blijkt 24,5 % te bedragen, oftewel 24,5 ton van elke 100 ton gestort materiaal. Immers, als er van elke 100 ton baggerspecie 24,5 ton slib $< 63 \mu\text{m}$ wegstroomt, dan daalt het slibgehalte van 37,9 % naar 17,7 %. Het wegstroompercentage van baggerspecie bedraagt dus 24,5 %.

De berekening is als volgt:

STEL:		ER STROOMT WEG:	ER RESTEERT:	
Hoeveelheid zand in baggerspecie	Hoeveelheid slib $< 63 \mu\text{m}$ in baggerspecie	Er stroomt geen zand weg, maar wel 24,5 ton slib	Restant zand in resterende baggerspecie op Loswal Noordwest	Restant slib $< 63 \mu\text{m}$ in resterende baggerspecie op Loswal Noordwest
62,1 ton	37,9 ton		$62,1 - 0 = 62,1$ ton	$37,9 - 24,5 = 13,4$ ton
62,1 % zand	37,9 % slib		$62,1 / (62,1 + 13,4) = 82,3$ % zand	$13,4 / (62,1 + 13,4) = 17,7$ % slib

Als het slibgehalte van de baggerspecie geen 37,9 % bedraagt, maar 55,4 %, dan is wegstroompercentage van baggerspecie 45,8 %.

6.3.4 Discussie

Het berekende wegstroompercentage van baggerspecie dat gebaseerd is op het verschil in slibgehalte tussen de baggerspecie en de stortberg gaat uit van de veronderstelling dat er geen zand wegstroomt van de stortberg. Deze aanname valt niet empirisch te onderbouwen.

Er zijn twee sets data waaruit het wegstroompercentage berekend kan worden. De ene is gebaseerd op metingen van steenachtig materiaal kleiner dan $63 \mu\text{m}$ in de beun, de ander op al het materiaal dat geen 'zand' is. 'Zand' is dan al het materiaal groter dan $63 \mu\text{m}$. Een grondige analyse van de samenstelling van de baggerspecie in de beun, het resterende gestorte materiaal in de stortberg en van de gebruikte korrelgrootteanalyses kan uitsluitsel geven welke aanpak de

voorkeur verdient. Een dergelijke analyse is in de praktijk zeer lastig en schier ondoenlijk.

Het wegstroompercentage van 24,5 % is mogelijk betrouwbaarder omdat de korrelgrootteanalyses alle op dezelfde manier zijn uitgevoerd, waarbij de baggerspecie in de beun is gemeten en niet op de bodem van de vaargeul. Er kan een verschil zitten tussen het slibgehalte dat in de bodem wordt gemeten en het slibgehalte in de baggerspecie die uiteindelijk wordt opgezogen.

De waarde van 45,8 % gaat daarentegen uit van al het materiaal kleiner dan 63 µm dat weg kan stromen. De verkregen uitkomst is bijna gelijk is aan die welke uit van de lodingen volgt, nl. 50,4 %. Beide resultaten worden gepresenteerd.

6.4 Wegstroompercentage Loswal Noordwest op grond van lodingen

In deze paragraaf wordt het wegstroompercentage vanaf Loswal Noordwest uit lodingen berekend. Voor baggerspecie volgt een waarde van 50,4 % en voor slib_{< 63 µm} 77,9 %. Deze paragraaf geeft een uittreksel uit het werkdocument 'Retourpercentage van Loswal Noordwest' (Stutterheim 2002-b) waarin alle details van dit onderzoek en de berekeningwijze staan.

Het wegstroompercentage wordt schematisch weergegeven door pijl 'c' en 'e' in Figuur 4-2.

6.4.1 Hoeveelheid gestorte baggerspecie

De baggerspecie die op Loswal Noordwest terecht is gekomen, is afkomstig uit de havens van Rotterdam en de vaargeul. Voor 11 periodes is achterhaald hoeveel baggerspecie gestort is op Loswal Noordwest. Elk van de periodes loopt van de eerste loding in mei 1996 tot een van de elf gebruikte lodingen, waarvan de laatste in juni 2002 plaatsvond.

Van de baggerspecie die opgezogen is in de havens van Rotterdam is opgegeven hoeveel kubieke meter in de beun van baggerschepen zat. Omdat voor het opstellen van de massabalans de hoeveelheid droge stof bekend moet zijn, is gebruik gemaakt van een omrekenfactor. Deze factor, de droge dichtheid, bedraagt 0,4 ton droge stof per m³. Dit komt overeen met een natte dichtheid van 1,26 TDS.m⁻³.

Het slibgehalte van de baggerspecie uit de havens bedroeg 85,8 %.

Van de baggerspecie die afkomstig uit de vaargeul is wel de hoeveelheid droge stof bekend, zodat geen omrekening hoeft plaats te vinden.

Het slibgehalte van de baggerspecie uit de vaargeul is lager dan dat van de havens en bedroeg 27,8 %.

In Tabel 6-4 staat de gestorte hoeveelheid baggerspecie op Loswal Noordwest van 1 juli 1996 tot 13 juni 2002 (zie bijlage 11).

Er is in die periode gestort op de volgende vakken (zie Figuur 6-5):

- vak 29 vanaf juli 1996
- vak 30 vanaf mei 1998
- vak 31 vanaf mei 2000
- vak 32 vanaf april 2002

6.4.2 Lodingen en dichtheid

Om de gestorte massa baggerspecie op de zeebodem te kunnen vaststellen moet het volume en de dichtheid bekend zijn. Om vervolgens ook de slibmassa te kunnen bepalen, moet ook het slibgehalte bekend zijn.

Volume slibberg

In Figuur 6-3 is te zien dat zich slechts een 'halve' stortberg binnen de loswal en daarmee binnen het lodingsgebied bevindt. Om te corrigeren voor het ontbrekende deel is een partiële dubbeltelling toegepast van sommige stortvakken. Het betreft de vakken met apostrofje uit Figuur 6-5. Aangezien

verondersteld werd dat met deze 'dubbeltelling' nog niet alle massa in beeld was gebracht, is een toeslag van 6 % toegepast.

Alle volumes zijn berekend ten opzichte van de lading in mei 1996. Verder is stortvak 8 gebruikt als referentievak. Dat wil zeggen dat alle veranderingen die in vak 8 plaatsvonden als algemene veranderingen in het lodingsgebied zijn beschouwd waarvoor gecorrigeerd is.

De volumetoename staat in Tabel 6-5, met en zonder de correctie van 6 %.

Tabel 6-4 Gestorte hoeveelheid baggerspecie op Loswal Noordwest

Periode No.	Van 1 juli 1996 tot ...	Binnenhaven			Vaargeul			Binnenhaven + vaargeul	
		Baggerspecie (zand + slib _{<63µm})		Slib (85,8%)	Baggerspecie (zand + slib _{<63µm})		Slib (27,8%)	Baggerspecie (zand + slib _{<63µm})	Slib (37,9%)
		Mm ³	MTDS	MTDS	Mm ³	MTDS	MTDS	MTDS	MTDS
1 / t ₁	nov 1996	0,60	0,24	0,21	2,83	1,41	0,39	1,65	0,60
2	apr 1997	1,36	0,55	0,47	6,37	3,32	0,92	3,87	1,39
3	juni 1997	1,96	0,78	0,67	7,97	4,51	1,25	5,29	1,93
4 / t ₂	okt 1997	3,23	1,29	1,11	11,57	6,85	1,91	8,14	3,01
5	juli 1998	5,72	2,29	1,96	18,00	10,57	2,94	12,85	4,90
6	dec 1998	6,53	2,61	2,24	19,77	11,77	3,27	14,38	5,51
7	juli 1999	8,88	3,55	3,05	27,17	15,83	4,40	19,39	7,45
8	apr 2000	10,92	4,37	3,75	35,55	20,38	5,67	24,75	9,42
9	jan 2001	12,45	4,98	4,27	37,01	21,40	5,95	26,38	10,22
10	aug 2001	13,26	5,30	4,55	37,01	21,40	5,95	26,71	10,50
11	juni 2002	14,42	5,77	4,95	38,83	22,48	6,25	28,25	11,20

De baggerspecie uit binnenhaven en vaargeul, zowel de totale massa als het slib_{<63 µm}. Baggerspecie uit de haven is gebaggerd door het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam en uit de vaargeul door Directie Noordzee in opdracht van Directie Zuid-Holland. MTDS = miljoenen tonnen droge stof

Tabel 6-5 De volumetoename op Loswal Noordwest (zand plus slib)

Periode No.	Van 26 juni 1996 tot	Volumetoename door gestorte baggerspecie (zand+slib _{<63µm})		Relatieve fout
		49 vakken	49 vakken + 6 %	
		Mm ³	Mm ³	%
1 / t ₁	nov 1996	0,96	1,01	52
2	apr 1997	2,88	3,05	17
3	juni 1997	2,90	3,07	17
4 / t ₂	okt 1997	5,34	5,66	9
5	juli 1998	6,00	6,35	8
6	dec 1998	7,01	7,43	7
7	juli 1999	9,07	9,61	6
8	apr 2000	9,82	10,41	5
9	jan 2000	9,79	10,38	5
10	aug 2001	9,06	9,60	6
11	juni 2002	8,31	8,80	6

De volumetoename op Loswal Noordwest vanaf 9 mei 1996, de datum van de eerste lading, tot juni 2002 ten gevolge van de hoeveelheid van de gestorte baggerspecie die is achtergebleven op de loswal, de z.g. restmassa. Het betreft zowel het volume van 49 vakken, vermeerderd met 6 % (de geëxtrapoleerde hoeveelheid), waarbij vak 8 als referentievak is gebruikt.

Dichtheid

De dichtheid is op twee manieren gemeten. Bij de eerste manier is de natte dichtheid bepaald door met een z.g. γ -sonde de absorptie van γ -straling te meten, die een maat is voor de dichtheid, en bij de tweede manier is het gewicht van een vast volume uit een steekboring uit de loswal bepaald nadat het monster gedroogd is. Hiermee is de droge dichtheid bepaald, waarmee de bodemmassa baggerspecie uit het stortvolume rechtstreeks berekend kan worden

De resultaten met de metingen met de γ -sonde bleken achteraf niet betrouwbaar omdat de natte dichtheid groter was dan verwacht waardoor de dichtheid buiten het bereik van de meettechniek viel. Deze resultaten zijn dan ook verder niet in de beschouwing betrokken.

In juli 1999 en november 2001 is als natte dichtheid, via weging, respectievelijk 1,86 en 1,85 ton.m⁻³ bepaald. Met onderstaande formule valt de natte dichtheid om te rekenen in een droge dichtheid, hier de 'referentie droge dichtheid' genoemd. De referentie droge dichtheid is respectievelijk 1,38 en 1,37 ton.m⁻³.

De formule om natte dichtheid om te rekenen naar de droge dichtheid is als volgt:

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

De dimensie van beide dichtheden, droog en nat, is ton.m⁻³. De constante 1,02 ton.m⁻³ is het soortelijke gewicht van zeewater en 2,6 ton.m⁻³ is het soortelijke gewicht van de vaste fractie.

Doordat tijdens dit onderzoek zowel natte als droge dichtheden gemeten zijn, was het mogelijk om de veel gebruikte waarde van 2,6 te verifiëren. Het bleek dat het soortelijke gewicht van de vaste fractie nogal varieerde. Bij Loswal Noordwest lagen de waarden tussen 1,96 en 3,01 en bij de Verdiepte Loswal tussen de 1,89 en 3,17 ton.m⁻³. Omdat de waarde van de 'constante' 2,6 uit de formule niet constant bleek, is verder uitsluitend gebruik gemaakt van de gemeten droge dichtheid.

In november 2001 is een droge dichtheid gemeten van 1,59 ton.m⁻³, met een referentie natte dichtheid van 1,99 ton.m⁻³. Deze waarde van **1,59 ton.m⁻³** wordt in dit rapport voor de hele onderzoeksperiode van juli 1996 tot juni 2002 gebruikt. Doordat actuele dichtheidsgegevens uit de stortperiode ontbreken is een fout geïntroduceerd omdat de dichtheid in de loop van de tijd toeneemt, zoals uit onderzoek van de Verdiepte Loswal is gebleken.

Er is ook een tweede waarde voor de droge dichtheid gebruikt, en wel voor de eerste 15 maanden van het storten, toen de radiometrische kartering werd

uitgevoerd. In deze vroege periode is de dichtheid vermoedelijk veel lager geweest. Om de lodingen tijdens de derde kartering (t_3 , oktober 1996) om te rekenen naar massa is een droge dichtheid gebruikt van **1,15 ton.m⁻³**, die overeenkomt met een referentie natte dichtheid van 1,72 ton.m⁻³. Deze waarde komt uit het onderzoek naar de Verdiepte Loswal, en is 15 maanden na aanvang van het storten bepaald.

Slibgehalte

Om de hoeveelheid slib_{< 63 µm} die gestort is en de hoeveelheid slib_{< 63 µm} die achtergebleven is op de loswal te kunnen bepalen, is het slibgehalte gemeten.

De metingen leverden de volgende resultaten:

slibgehalte in de beun van baggerspecie uit de haven	85,8 %
slibgehalte in de beun van baggerspecie uit de vaargeul	27,8 %
slibgehalte van de stortberg	17,7 %

6.4.3 Massaberekening en foutenschatting

Massaberekening

De formule om de resterende massa op de zeebodem te berekenen luidt:

Massa (resterende baggerspecie op zeebodem [ton]) =

Volume (resterende baggerspecie op zeebodem [m³]) * droge dichtheid [ton.m⁻³]

De massatoename op Loswal Noordwest ten gevolge van de resterende hoeveelheid baggerspecie op de zeebodem staat in Tabel 6-6.

Foutenschatting

Bij de uiteindelijke berekening van het wegstroompercentage rijst direct de vraag wat de onzekerheid in het antwoord is. Om deze reden is een uitgebreide onzekerheidsanalyse uitgevoerd. Deze analyse valt in twee delen uiteen:

- welke foutenbronnen zijn er en wat is de omvang ervan?
- welke formules worden gebruikt om de standaardfout (= absolute fout) van het wegstroompercentage te berekenen?

Deze onzekerheidsanalyse staat uitgebreid beschreven in "Werkwijze voor de berekening van het wegstroompercentage en de standaardfout ervan voor Loswal Noordwest en de Verdiepte Loswal. Omvang van de standaardfout van het wegstroompercentage van de Verdiepte Loswal op grond van geschatte stortingen". (Stutterheim, S., 2002-a)

In Tabel 6-7 staan de **foutenbronnen** en hun **standaardfouten** die gebruikt zijn voor de berekening van de standaardfout in de massa en het wegstroompercentage.

Tabel 6-6 De massatoename op Loswal Noordwest (totaal en slib)

Periode No.	Van 1 juli 1996 tot	Gestort zand + slib _{< 63µm}	Massatoename door zand + slib _{< 63µm} in MTDS (Restmassa) (droge dichtheid 1,59 ton.m ⁻³)	Standaard-fout	Gestort slib	Massatoename door slib _{< 63µm} in MTDS (Restmassa slib) (droge dichtheid 1,59 ton.m ⁻³) (17,66 %)	Standaard-fout
			49 vakken + 6 %			49 vakken + 6 %	
		MTDS	MTDS	%	MTDS	MTDS	%
Op grond van lading							
1	nov 1996	1,65	1,61	50	0,60	0,28	54
2	apr 1997	3,87	4,85	18	1,39	0,86	20
3	juni 1997	5,29	4,87	18	1,93	0,81	20
4 / t ₂	okt 1997	8,14	9,00	11	3,01	1,59	14
5	juli 1998	12,85	10,10	10	4,90	1,78	13
6	dec 1998	14,38	11,81	9,3	5,51	2,09	12
7	juli 1999	19,39	15,28	8,3	7,45	2,70	12
8	apr 2000	24,75	16,55	8,0	9,42	2,92	11
9	jan 2001	26,38	16,51	8,0	10,03	2,91	11
10	aug 2001	26,71	15,26	8,3	10,03	2,70	12
11	juni 2002	28,25	14,00	8,6	10,33	2,47	12

De massatoename op Loswal Noordwest vanaf 1 juli 1996 ten gevolge van de hoeveelheid van de gestorte baggerspecie die is achtergebleven op de loswal. Het betreft de geëxtrapoleerde massa op 49 vakken, dus vermeerderd met 6 %, waarbij vak 8 als referentievak is gebruikt. De hoeveelheid slib_{< 63 µm} is apart weergegeven; de stortberg bevat 17,7 % slib_{< 63 µm}. Voor de droge dichtheid van de slibberg is de waarde van 1,59 ton.m⁻³ gebruikt.

MTDS = miljoenen tonnen droge stof

Tabel 6-7 Gebruikte foutenbronnen en hun standaardfouten

Relatieve fout beun DZH	Relatieve fout beun GHR	Fout diepte-bepaling	Relatieve fout droge dichtheid	Slibbepaling
%	%	m	%	%
20	30	0,14	6,8	7,5

De onderliggende foutenbronnen hebben een verschillende invloed op de uiteindelijke standaardfout van het wegstroompercentage.

De fouten in de beuninhoud hebben, hoewel ze per reis een grote waarde hebben, uiteindelijk maar een geringe invloed op de standaardfout van het wegstroompercentage. De fout in de diepte-bepaling en de fout in de droge dichtheid daarentegen hebben wel een grote invloed.

De formule om de standaardfout van het wegstroompercentage te berekenen, bestaat uit een aantal stappen.

Hieronder staat de aanpak waarmee **formules**, om de standaardfout te bepalen, zijn opgesteld.

1. Als er binnen de berekening voor het wegstroompercentage opgeteld of afgetrokken wordt, dan wordt de standaardfout berekend door de **kwadraten van de absolute fouten** op te tellen. De wortel uit deze som geeft weer de absolute fout.
Voorbeeld: het optellen van alle beun-volumes binnen de beschouwde periode.
2. Als er binnen de berekening voor het wegstroompercentage vermenigvuldigd of gedeeld wordt, dan worden de **kwadraten van de fracties van de standaardfouten** bij elkaar opgeteld. De wortel uit deze som geeft weer de fractie oftewel de relatieve standaardfout.
Voorbeeld: het vermenigvuldigen van het gelode volume met de droge dichtheid om van kuubs naar 'tonnen droge stof' om te rekenen.

Toepassing van deze regels leidt bijv. tot de volgende formule voor de absolute fout van de totaal gestorte massa.

Absolute fout gestorte massa (TDS) =

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n \left\{ \left(\frac{\text{relatieve fout in beunvolume}_i}{100} \right)^2 + \left(\frac{\text{relatieve fout in droge dichtheid}}{100} \right)^2 \right\} *}$$

$$\left\{ \left(\text{Baggervolume}_i (m^3) \right) * \left(\text{droge dichtheid (TDS} \cdot m^{-3}) \right) \right\}^2$$

Op overeenkomstige wijze zijn de formules voor de standaardfout opgesteld voor de formules uit § 6.4.4 en § 6.5.3. De berekende standaardfouten (= absolute fouten) staan in Tabel 6-5 en Tabel 6-6.

6.4.4 Wegstroompercentage met foutenschatting op grond van lodingen

De formule (A) voor het wegstroompercentage van baggerspecie (zand + slib) luidt:

A.

Het wegstroompercentage voor de totale hoeveelheid gestorte baggerspecie wanneer alleen de restmassa op Loswal Noordwest in beschouwing wordt genomen:

$$\text{Wegstroompercentage (z + s)} = \left(\frac{\text{Gestorte baggerspecie (z + s)} - \text{restmassa op loswal (z + s)}}{\text{Gestorte baggerspecie (z + s)}} \right) * 100$$

$$z + s = \text{zand} + \text{slib}_{< 63\mu\text{m}}$$

De formule voor slib_{< 63 µm} is overeenkomstig (zie bijlage 12).

De berekening is voor de hele periode van juli 1996 tot juni 2002 uitgevoerd. Er is geen gebruik gemaakt van de mogelijkheid om een aparte massabalans op de stellen voor de 'karteringsperiode', nl. van juni 1996 tot oktober 1997. De reden hiervoor is de grote mate van onzekerheid in de massabalans over die periode en de onbekendheid met de actuele dichtheid in die periode.

a) Wegstroompercentage voor baggerspecie (zand + slib)

Voor 11 periodes zijn wegstroompercentages berekend (Tabel 6-8). De gestorte massa is berekend vanaf 1 juli 1996, de eerste dag waarop baggerspecie op de loswal is gestort tot 20 juni 2002, de laatste dag waarop is gestort.

De berekende wegstroompercentages en de hiervoor gebruikte waarden staan in Tabel 6-8, terwijl een grafische weergave in Figuur 6-15 te zien is. De lijsten met gestorte hoeveelheden staan in de bijlage.

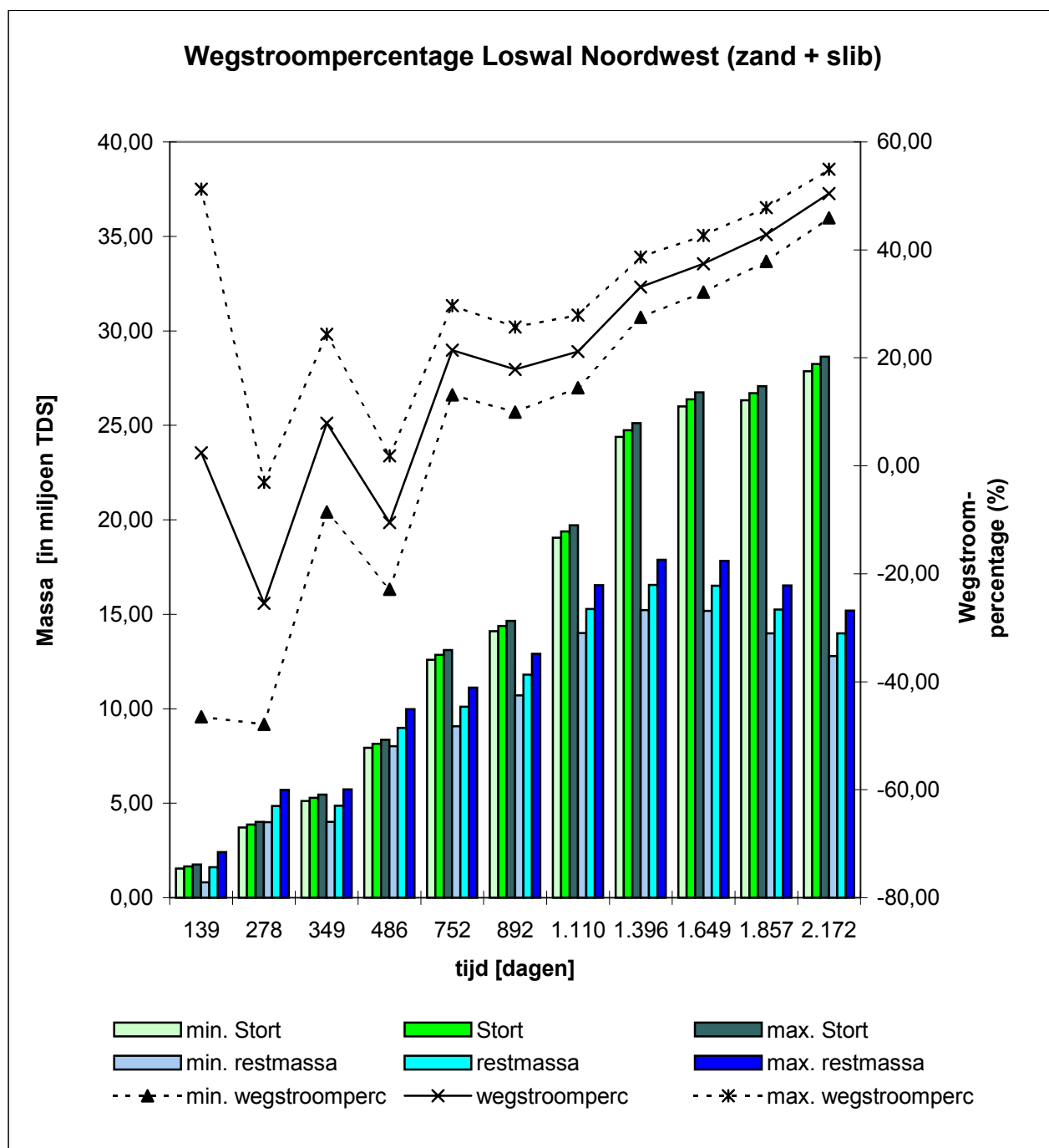
De twee na laatste en de laatste kolom tonen resp. het minimale en het maximale wegstroompercentage. Hiervoor is de berekende enkelvoudige standaardfout, oftewel de absolute fout, toegepast (zie bijlage 13).

Tabel 6-8 Wegstroompercentage van baggerspecie (zand + slib) en standaardfout op Loswal Noordwest

Periode	Van 1 juli 1996 tot ...	Aantal dagen na start storten	Gestorte massa (zand+slib _{< 63µm})	Relatieve fout	Massatoename op loswal (zand+slib _{< 63µm}) (+ 6 %)	Standaard-fout	Minimum wegstroom percentage	Wegstroompercentage (zand+slib _{< 63µm})	Maximum wegstroom percentage
No.	datum	N	MTDS	%	MTDS	%	%	%	%
			Tabel 6-4		Tabel 6-6	Tabel 6-6	0	0	0
1 / t ₁	nov 1996	139	1,65	6,1	1,61	50	-46,5	2,4	51,3
2	apr 1997	278	3,87	3,8	4,85	18	-47,9	-25,5	-3,0
3	juni 1997	349	5,29	3,2	4,87	18	-8,5	7,9	24,4
4 / t ₂	okt 1997	486	8,14	2,6	9,00	11	-22,9	-10,5	1,8
5	juli 1998	752	12,85	2,0	10,10	10	13,2	21,4	29,7
6	dec 1998	892	14,38	1,9	11,81	9,3	10,0	17,9	25,7
7	juli 1999	1110	19,39	1,7	15,28	8,3	14,5	21,2	27,9
8	apr 2000	1396	24,75	1,5	16,55	8,0	27,5	33,1	38,7
9	jan 2001	1649	26,38	1,4	16,51	8,0	32,2	37,4	42,7
10	aug 2001	1857	26,70	1,4	15,26	8,3	37,9	42,9	47,8
11	juni 2002	2172	28,25	1,4	14,00	8,6	45,9	50,4	55,0

Droge dichtheid 1,59 ton.m⁻³ (referentie natte dichtheid 1,99 ton.m⁻³) voor de gehele periode.

Figuur 6-15 Wegstroompercentage van baggerspecie (zand + slib) en standaardfout ervan voor Loswal Noordwest



De staafjes tonen de totale gestorte hoeveelheid baggerspecie (zand + slib_{<63µm}) en de teruggevonden massa op de bodem van Loswal Noordwest. Van links naar rechts het minimum, gemiddelde en maximum. De middelste lijn toont het wegstroompercentage van baggerspecie (zand + slib_{<63µm}) de onderste en bovenste lijn resp. het minimum en maximum ervan.

m:\groos\mal\ eind-rap\NW-eind-lod-slib-II.xls #grafiek A1

Figuur 6-15 laat behalve de gestorte en de resterende massa's ook het wegstroompercentage zien. Voor het berekenen van het wegstroompercentage is voor de gehele periode de droge dichtheid $1,59 \text{ ton.m}^{-3}$, overeenkomend met een referentie natte dichtheid van $1,99 \text{ ton.m}^{-3}$, gebruikt.

Bij de eerste vier ladingen, tot en met dag 539 na aanvang van het storten (circa 18 maanden) is het minimum wegstroompercentage of het wegstroompercentage zelf negatief. Deze onwaarschijnlijke waarden worden bij het bespreken van de resultaten verder buiten beschouwing gelaten.

Vanaf de vijfde lading, op dag 805 na het storten (circa 26 maanden) worden positieve waarden gevonden. Drie jaar na aanvang van het storten bedraagt het wegstroompercentage circa 20 %, en stijgt via 35 % (na 4 jaar) tot ongeveer 45 % na zes jaar storten. Het wegstroompercentage vertoont op dat moment nog steeds een stijgende lijn.

De standaardfout van het wegstroompercentage daalt in deze periode (van lading 5 t/m 11) successievelijk van 8 tot 4,5 procentpunt.

Het wegstroompercentage voor baggerspecie (zand + slib) bedraagt, 6 jaar na aanvang van het storten, 50,4 % (gebaseerd op een droge dichtheidsmeting, van $1,59 \text{ ton.m}^{-3}$, 1,99 referentie natte dichtheid van de slibberg).

De standaardfout bedraagt 4,5 procentpunt zodat het wegstroompercentage tussen de 45,9 en 55,0 % zit.

Invloed dichtheid op wegstroompercentage

Bij de berekening van het wegstroompercentage van baggerspecie is gebruik gemaakt van een droge dichtheid van $1,59 \text{ ton.m}^{-3}$, die overeenkomt met berekende referentie natte dichtheid van $1,99 \text{ ton.m}^{-3}$. Deze waarde ligt hoger dan sommigen hadden verwacht.

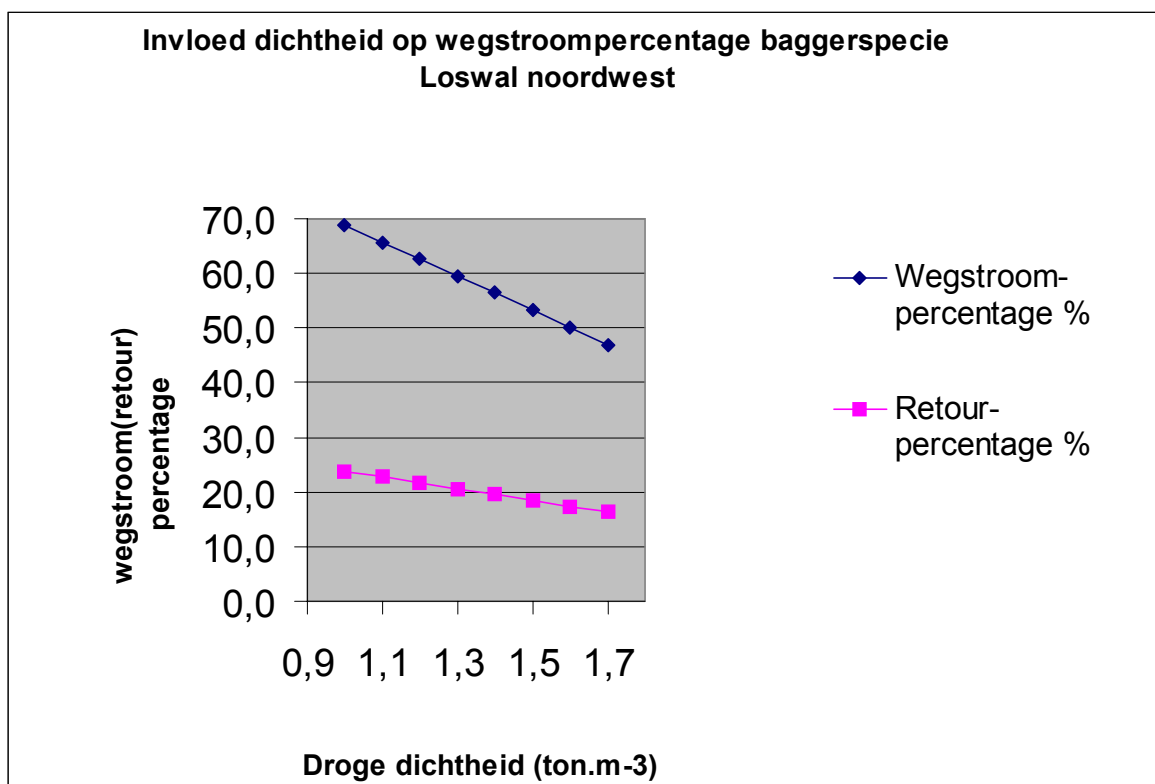
Uit het werkdocument 'Werkwijze voor de berekening van het wegstroompercentage van baggerspecie' (Stutterheim 2002-a) blijkt dat de droge dichtheid een grote invloed heeft op het wegstroom- en retourpercentage van baggerspecie. Om deze reden wordt hieronder de invloed van de droge dichtheid op het wegstroom- en retourpercentage gegeven. Het wegstroompercentage is berekend op grond van ladingen na 6 jaar storten (zie Tabel 6-2).

Uit Figuur 6-16 valt af te lezen dat het wegstroom- en het retourpercentage **toenemen** als de droge dichtheid **afneemt**. Bij een lagere dichtheid ligt er n.l. minder massa op de zeebodem, zodat er meer baggerspecie is weggespoeld van de stortlocatie.

Bij een droge dichtheid van $1,0$ -referentie natte dichtheid $1,63 \text{ ton.m}^{-3}$ - is het wegstroompercentage 68,8 % en het retourpercentage 23,8 %.

Bij de gebruikte droge dichtheid van $1,59$, referentie natte dichtheid $1,99 \text{ ton.m}^{-3}$, is het wegstroompercentage 50,4 % en het retourpercentage 17,4 %.

Figuur 6-16 Invloed droge dichtheid op wegstroom- en retourpercentage van baggerspecie



Invloed van de droge dichtheid op het wegstroom- en retourpercentage van baggerspecie, bepaald volgens lodingen en relatieve slibverdeling rondom de loswal.
(M:\groos\mal\ eind-rap\NW-eind-lod-slib II #,dh-ws%)

Verspreiding baggerspecie buiten de loswal

Uit de verspreiding van de gestorte baggerspecie op de loswal, zoals getoond in Figuur 6-3, blijkt dat de baggerspecie zich over grote afstanden kan verspreiden. Het is niet uitgesloten dat de baggerspecie zich tot buiten de grenzen van de loswal en daarmee tot buiten de grenzen van het lodingsgebied heeft verplaatst. Hierdoor is een fout geïntroduceerd, en wel een overschatting van het wegstroompercentage omdat er meer materiaal rondom de loswal is achtergebleven dan verondersteld en er dus minder is weggestroomd van de loswal. Bij de berekening hierboven is verondersteld dat zich geen materiaal heeft afgezet op vak 8. Vak 8 is namelijk gekozen als referentievak omdat zich hier de minste hoogteveranderingen hadden voorgedaan. Het is echter mogelijk dat zich toch materiaal heeft afgezet op vak 8, dan is de volgende fout gemaakt.

Stel dat de baggerspecie zich verspreid heeft over een oppervlak van 5 km x 5 km (de loswal zelf is 2 km x 4 km groot) en dat zich 1 cm materiaal op vak 8 en ook op het gebied van 25 km² heeft afgezet. In dat geval heeft zich 250.000 m³ (= 5000 x 5000 x 0,01) materiaal op de bodem afgezet. Uitgaande van de droge dichtheid van het bodemmateriaal van 1,59 ton.m⁻³, (een referentie natte dichtheid van 1,99) bevat, gaat het om 0,40 miljoen ton

droge stof ($= 0,25 \text{ Mm}^3 * 1,59 \text{ ton.m}^{-3}$) die extra op de bodem is achtergebleven. Op de loswal zelf was in die periode 27,86 MTDS baggerspecie (zand + slib) gestort.

Over de hele onderzoeksperiode van mei 1996 tot juni 2002 is 14,0 miljoen ton droge stof op de bodem van de loswal teruggevonden. Dit betekent dat 1 cm lodingsfout, die 0,40 miljoen TDS bevat, overeenkomt met 2,8 % ($= 100 * 0,40 / 14,0$) van de restmassa op de bodem. Het wegstroompercentage zal in dat geval gedaald zijn van 50,4 naar 48,9 %.

Dit betekent dus dat elke 1 cm materiaal die zich extra op de bodem heeft afgezet, die 2,8 % van de restmassa bevat, leidt tot een overschatting van het wegstroompercentage met 1,5 procentpunten ($= 100 * 0,40 / 27,86$).

Bovenstaande overweging heeft uitsluitend betrekking op de 'verhoging' van het referentievak 8 en is dus een andere correctie dan de extrapolatie met 6 % die het gevolg is van de ruimtelijke verspreiding van de gestorte baggerspecie tot buiten het lodingsgebied en het 'gespiegelde' lodingsgebied.

b) Wegstroompercentage voor slib

In § 6.4.4a) staat het wegstroompercentage voor baggerspecie (zand + slib) vermeld, gebaseerd op lodingen. Op overeenkomstige wijze is ook het wegstroompercentage voor slib $<_{63 \mu\text{m}}$ berekend. Uit de totale massa baggerspecie, opgebaggerd of gestort, wordt de slib-massa berekend, op grond van de gemeten slibgehaltenes.

Voor het berekenen van het wegstroompercentage wordt de formule uit § 6.4.4a) gebruikt, waarbij 'zand + slib' vervangen wordt door 'slib'. Op overeenkomstige wijze wordt de standaardfout berekend. De fout in de slibbepaling is 7,5 %. Zie voor de gebruikte omvang van de foutenbronnen Tabel 6-7.

De gevonden waarden voor het wegstroompercentage van slib $<_{63 \mu\text{m}}$ en de foutenschatting staat in Tabel 6-9 en Figuur 6-17. Hierbij is verondersteld dat de droge dichtheid op de loswal $1,59 \text{ ton.m}^{-3}$ (referentie natte dichtheid $1,99 \text{ ton.m}^{-3}$) is.

Het wegstroompercentage van slib $<_{63 \mu\text{m}}$ neemt in de onderzoeksperiode toe van ongeveer 52 % na een jaar storten tot circa 65 % na 3 jaar storten en bereikt **77,9** % na 6 jaar storten. De standaardfout neemt in deze periode af van ongeveer 26 tot **3,2** procentpunt.

Het wegstroompercentage van slib $<_{63 \mu\text{m}}$ vertoont de hele periode een stijgende lijn en het is niet duidelijk of het uiteindelijke niveau al bereikt is.

Tabel 6-9 Wegstroompercentage en standaardfout van slib_{< 63 µm} op Loswal Noordwest

Periode	Datum lading	Aantal dagen na start stort 1 juli 1996	Gestorte massa (slib)	Relatieve fout	Massatoename op loswal (slib) (+ 6 %)	Standaard-fout	Minimum wegstroom percentage	Wegstroom- percentage	Maximum wegstroom percentage
No.	datum	N	MTDS	%	MTDS	%	%	%	%
			Tabel 6-4		Tabel 6-6	Tabel 6-6	0	0	0
1 / t ₁	nov 1996	139	0,60	6,28	0,28	53,19	26,2	52,4	78,6
2	apr 1997	278	1,39	3,89	0,86	20,09	25,3	38,4	51,5
3	juni 1997	349	1,93	3,29	0,86	20,03	45,6	55,3	65,0
4 / t ₂	okt 1997	486	3,01	2,68	1,59	13,79	39,4	47,3	55,1
5	juli 1998	752	4,90	2,09	1,78	13,12	58,2	63,6	69,0
6	dec 1998	892	5,51	1,94	2,09	12,38	56,9	62,2	67,4
7	juli 1999	1110	7,45	1,72	2,70	11,53	59,1	63,8	68,5
8	apr 2000	1396	9,42	1,53	2,92	11,33	64,9	69,0	73,0
9	jan 2001	1649	10,22	1,48	2,91	11,34	67,7	71,5	75,2
10	aug 2001	1857	10,50	1,48	2,73	11,53	70,8	74,3	77,8
11	juni 2002	2172	11,20	1,48	2,47	11,78	74,7	77,9	81,1

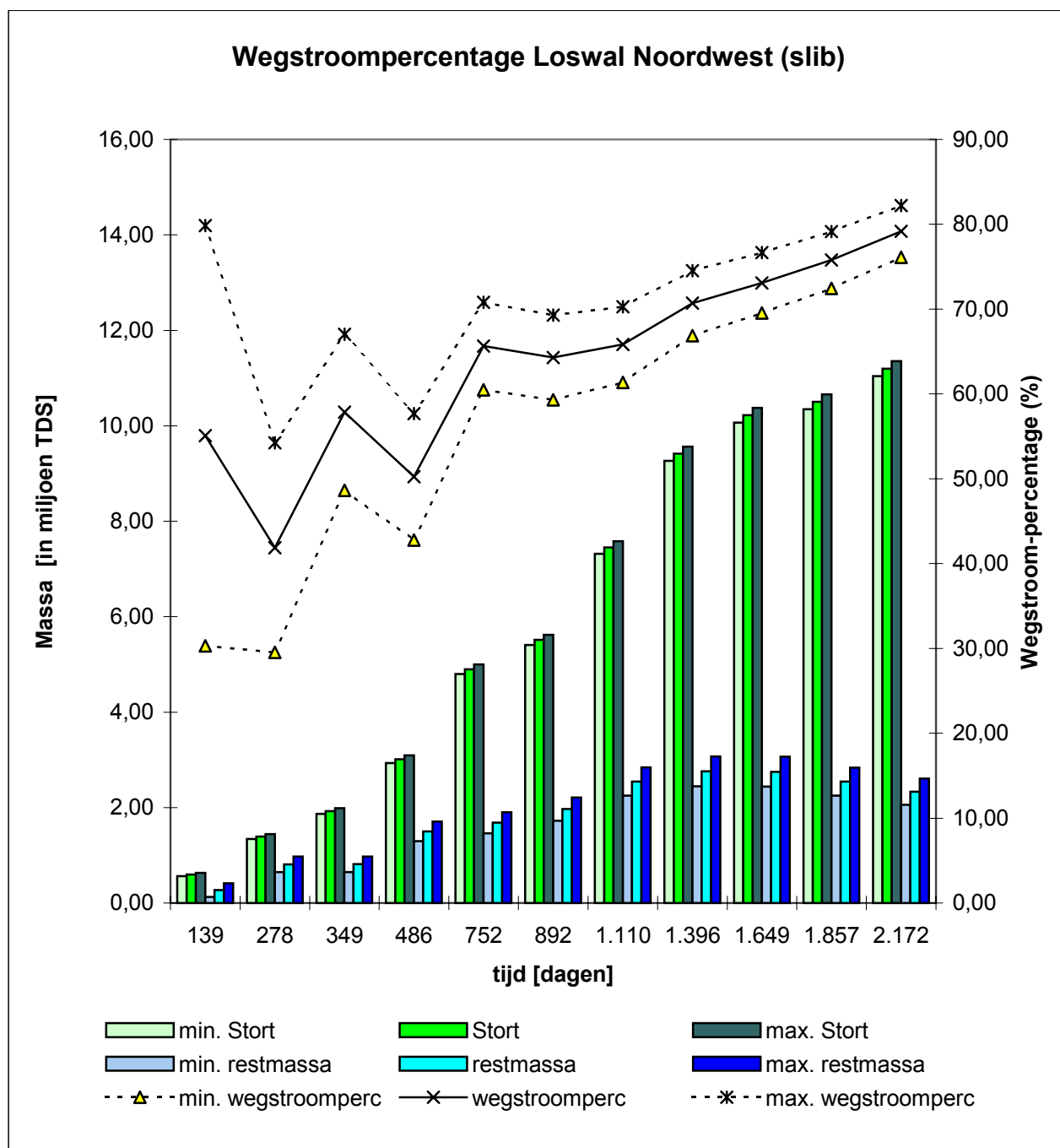
Droge dichtheid 1,59 ton.m⁻³ ; referentie natte dichtheid 1,986 ton.m⁻³, slibgehalte 17,7 %.

6.4.5 Discussie

Op grond van de baggeradministratie, ladingen en dichtheid is een wegstroompercentage voor baggerspecie (zand + slib) berekend van 50,4 %. Een onzekere factor hierin is de dichtheid. De droge dichtheid is pas op het eind van de onderzoeksperiode gemeten. Uit onderzoek in de Verdiepte Loswal blijkt dat de dichtheid in de loop van de tijd toeneemt. Dit is logisch omdat de baggerspecie die gelost wordt in de loop van de tijd ontwatert en inklinkt. Door een overschatting van de dichtheid in de beginperiode is het wegstroompercentage onderschat. Het wegstroompercentage aan het eind van het onderzoek is daarentegen wel juist berekend.

Van het gestorte slib_{< 63 µm} stroomt driekwart weg. Ook vertoont het wegstromen van slib een stijgende lijn zodat ook hier niet valt te zeggen of het uiteindelijke wegstroompercentage al bereikt is of dat er de komende tijd nog een toename zal plaatsvinden.

Figuur 6-17 Wegstroompercentage van slib_{< 63 µm} en standaardfout ervan voor Loswal Noordwest



De staafjes tonen de gestorte hoeveelheid slib_{< 63 µm} en de teruggevonden massa slib_{< 63 µm} op de bodem van Loswal Noordwest. Van links naar rechts: het minimum, gemiddelde en maximum. De middelste lijn toont het wegstroompercentage van slib_{< 63 µm}, de onderste en bovenste lijn resp. het minimum en maximum ervan.
 bron: M:\Groos\mal\ eind-rap\ NW-eind-lod-slib.xls # grafieken

6.5 Retourpercentage Loswal Noordwest op grond van lodingen en radiometrische kartering

In deze paragraaf wordt berekend dat het retourpercentage van baggerspecie 17,4 % en van slib_{< 63 µm} 27,0 % is. Deze paragraaf geeft een uittreksel uit het werkdocument 'Retourpercentage van Loswal Noordwest' (Stutterheim 2002-b) waarin alle details van dit onderzoek en de berekeningswijze staan. Het retourpercentage wordt schematisch weergegeven door pijl 'c' in Figuur 4-2.

6.5.1 Gebruik van de resultaten van de radiometrische kartering

Met de techniek van de radiometrische kartering is de hoeveelheid slib_{< 63 µm} rondom Loswal Noordwest bepaald. De resultaten hiervan staan in **Fout!** **Verwijzingsbron niet gevonden.** en Tabel 6-2. Aangezien er drie karteringen zijn uitgevoerd, valt er in principe voor twee periodes de slibmassa rondom de loswal te bepalen.

Er is gepoogd voor deze twee periodes een 'verbeterde' massabalans op te stellen met de gegevens uit de lodingen en radiometrische kartering, gebaseerd op:

- gestorte hoeveelheid baggerspecie (uit baggeradministratie)
- resterende massa baggerspecie op de loswal (uit lodingen)
- resterende massa baggerspecie rondom de loswal (uit radiometrische kartering)

Echter, het blijkt niet zinvol om een dergelijke, 'verbeterde' massabalans op te stellen.

In de 1^e periode van juli 1996 tot november 1996 ligt het berekende wegstroompercentage tussen de -47 en + 53 %. De fout is dermate groot dat het weinig zinvol deze resultaten te combineren met de gegevens uit de radiometrische kartering.

In de 2^e periode van juli 1996 tot oktober 1997 is op grond van de lodingen een wegstroompercentage van - 4 % berekend. Gecombineerd met de gegevens uit de radiometrische kartering levert dit een wegstroompercentage van - 20 %. Dit resultaat is fysisch niet reëel, zodat deze aanpak verlaten is.

Het is daarentegen wel mogelijk om gebruik te maken van de relatieve verdeling van het slib_{< 63 µm} rondom de loswal die bepaald is met de radiometrische kartering. Het gebied rondom de loswal is in vier sectoren onderverdeeld en in elk van de sectoren is bepaald wat het relatieve aandeel van het slib_{< 63 µm} is, zoals getoond in Figuur 6-13. In de zuidelijke sector ligt in de eerste periode 34,7 % van het slib en in de tweede periode 34,6 %. Het feit dat deze waarden dicht bij elkaar liggen, geeft vertrouwen in de uitkomst. Deze 'zuid-fractie' van 34,6 % is gebruikt bij de berekening van het retourpercentage.

6.5.2 Retourpercentage

Van het slib_{< 63 µm}, dat van de loswal is weggestroomd, ligt 34,6 % rondom de loswal in de zuidelijke sector. Er is aangenomen dat dan ook 34,6 % van de

baggerspecie in de waterfase ten zuiden van de loswal terecht komt en terugstroomt naar vaargeul en haven. Voor deze aanname bestaat enigszins een onderbouwing gezien de resultaten van de slibtransport-metingen (§ 8.3). Deze aanname wordt wl toegepast op het wegstroompercentage dat berekend is op grond van lodingen na 6 jaar storten.

Voor baggerspecie en slib_{< 63 µm} levert dit de volgende resultaten:

- het retourpercentage van baggerspecie (zand + slib) is **17,4 %** (= 0,346 * 50,4)
- het retourpercentage van slib_{< 63 µm} is **27,0 %** (= 0,346 * 76,1)

Foutenschatting

Van de nieuwe techniek van de radiometrische kartering bestaat geen foutenschatting. Om deze reden is niet mogelijk om een foutenschatting te geven van het retourpercentage.

6.5.3 Discussie

De berekening van het retourpercentage blijft omgeven met onzekerheden. Deze zijn:

- stroomt er evenveel procent van de gestorte baggerspecie naar het zuiden als er slib_{< 63 µm} op de bodem ligt in de zuid-sector, en
- is de slibfractie in de zuid-sector constant over de jaren?

Het verkregen resultaat is momenteel het beste wat mogelijk is op grond van lodingen en radiometrische kartering.

De evaluatie van de radiometrische kartering zelf staat in hoofdstuk 9.

6.6 Retourpercentage Loswal Noordwest op grond van modelstudie

Het retourpercentage voor Loswal Noordwest is berekend met behulp van een slibmodel. Het retourpercentage is pijltje 'c' in Figuur 4-2. Er zijn twee modelberekeningen uitgevoerd, een onder standaardomstandigheden en een onder stormomstandigheden. Het idee bestond dat tijdens stormen het grootste deel van het transport van het gestorte materiaal plaatsvindt.

6.6.1 Standaardomstandigheden

In 1999 is in opdracht van RIKZ een modelberekening uitgevoerd naar het retourpercentage vanaf Loswal Noordwest onder standaardomstandigheden. De resultaten staan beschreven in Aardoom (1999), in de Kok en Sandeh (2000) en in de Kok (2002). Standaardomstandigheden wil zeggen dat gerekend wordt met een gemiddeld getij, gemiddelde windsnelheid en windrichting en gemiddelde Rijnafvoer.

a) Gebruikt rekenmodel voor standaardomstandigheden

Het gebruikte model staat beschreven in hoofdstuk 6, rekenmodellen uit 1991 en 1999 (§ 6.2.2) en in bijlage 8, *'Gebruikte rekenmodellen voor slibstromen'*.

b) Modelresultaten voor standaardomstandigheden

Volgens de berekeningen met het model uit 1999 bedraagt het retourpercentage vanaf Loswal Noordwest **11 %** van de totale gestorte hoeveelheid. Het model uit 1991, echter, had een veel lager retourpercentage berekend, nl. 0 %. Deze resultaten staan vermeld in § 6.2.3 in tabel 6-1. Hier staat ook vermeld dat ingebruikneming van Loswal Noordwest tot een reductie in het retourpercentage van 30 à 32,5 % punt van de totale gestorte hoeveelheid zou leiden.

6.6.2 Stormomstandigheden

Omdat verondersteld wordt dat tijdens storm veel gestort materiaal verplaatst wordt, is het model, genoemd in § 7.5.1, ook toegepast onder stormomstandigheden. Het betreft zowel een noordwesterstorm als een zuidwesterstorm. Met het model SLIB3D zijn twee scenario's doorgerekend om slibverspreiding en sedimentatie na een storm te bepalen. Elk scenario bestaat uit drie runs, een initialisatierun, een stormrun en een herverdelingsrun, zodat de slibverdeling, en daarmee het retourpercentage, na een noordwesterstorm en een zuidwesterstorm wordt verkregen.

a) Gebruikt rekenmodel voor stormomstandigheden

Voor de modelberekeningen is het slibmodel SLIB3D, versie 3.7, toegepast. De opbouw van het model en de gedraaide runs staan beschreven in bijlage 8 en verder in Eij (2000; p8-13). Een korte beschrijving staat hieronder.

Bij de eerste run, de initialisatierun, wordt 1 miljoen kg slib_{< 63 µm} ingebracht in de onderste waterlaag van het model. Deze run wordt zodanig uitgevoerd dat na 40 getijperioden de verdeling van het slib_{< 63 µm} in de bodem overeenkomt met de verdeling van het slib_{< 63 µm} in de bodem zoals die gemeten is met de techniek van de radiometrische kartering. De meetresultaten van de radiometrische kartering uit 1996 en 1997 staan in § 7.1.2 *'Vorm en bodemsamenstelling Loswal Noordwest'*. Bij deze run wordt een deel van het slib_{< 63 µm} op Loswal Noordwest begraven en is niet meer beschikbaar voor resuspensie. Het betreft 0,5 % per tijdsstap. Een deel van het slib_{< 63 µm} wordt over de randen van het model getransporteerd en de rest wordt verdeeld over de acht waterlagen van het model. Bij deze run wordt gerekend met gemiddeld getij, windsnelheid en windrichting en gemiddelde Rijnaafvoer.

De uitkomsten van de initialisatierun worden gebruikt als invoer voor de stormrun, voor zowel een noordwesterstorm als voor een zuidwesterstorm. Door deze storm komt de begraven slibhoeveelheid gedeeltelijk weer beschikbaar voor verspreiding. Om te simuleren dat een deel van het slib_{< 63 µm} permanent in de afdekkingsbodemplaat achterblijft, wordt een deel van de massa, nl. 20 % van de initieel gestorte hoeveelheid slib, niet overgeplaatst van de afdekkingsbodemplaat naar de standaardbodemplaat (zie eind van deze paragraaf). Al het slib_{< 63 µm} dat niet permanent is begraven, wordt geresuspenderd tijdens de storm. Bij de stormrun, die drie getijperioden duurt, wordt geen slib_{< 63 µm} meer begraven.

Tot slot wordt de 'herverspreidingsrun' gedraaid waarin het geresuspenderde slib_{< 63 µm} opnieuw verspreid wordt. Deze run duurt 40 getijperioden en hierbij is het "sand-buried mechanisme" uitgeschakeld, dat wil zeggen, er wordt geen slib_{< 63 µm} begraven. Met de uitkomsten van deze run wordt het retourpercentage berekend.

Het slibmodel SLIB3D is een numeriek model en bestaat uit 8 waterlagen en 2 bodemplaten. Als input gebruikt het model hydrodynamica in de vorm van waterbewegingsvelden uit het driedimensionale waterbewegingsmodel, TRIWAQ. Het model is binnen de randen massabehoudend. De getijperiode van 12,5 uur wordt opgedeeld in 75 tijdstappen van 10 minuten.

Bij dit model is de bodem opgebouwd uit twee bodemplaten. In het bovenste bodemplaat, de standaard bodemplaat, kan materiaal sedimenteren en later weer in suspensie komen, afhankelijk van de stromingscondities. Het materiaal dat in de tweede bodemplaat, de afdekkingsbodemplaat, terechtkomt, blijft daar onder gemiddelde omstandigheden liggen maar kan onder stormomstandigheden weer vrijkomen. Dit is de z.g. "sand-buried sedimentation". Per tijdstap wordt in de initialisatierun 0,5 % van de massa die aanwezig is in de onderste waterlaag, nummer 8, vastgelegd in de afdekkingsbodemplaat.

b) Modelresultaten voor stormomstandigheden

In deze paragraaf wordt voor Loswal Noordwest de berekende slibverdeling na een noordwester- en een zuidwesterstorm gegeven. In Tabel 6-10 wordt

getoond hoeveel procent van het initieel gestorte slib $< 63 \mu\text{m}$ in welk deel van het gebiedsdeel terecht is gekomen. **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** laat zien hoe de verdeling van het slib $< 63 \mu\text{m}$ verandert over de beide bodemlagen en de waterfase en ook hoeveel slib $< 63 \mu\text{m}$ over de randen van het model verdwijnt.

De verdeling van het slib $< 63 \mu\text{m}$ wordt gegeven voor:

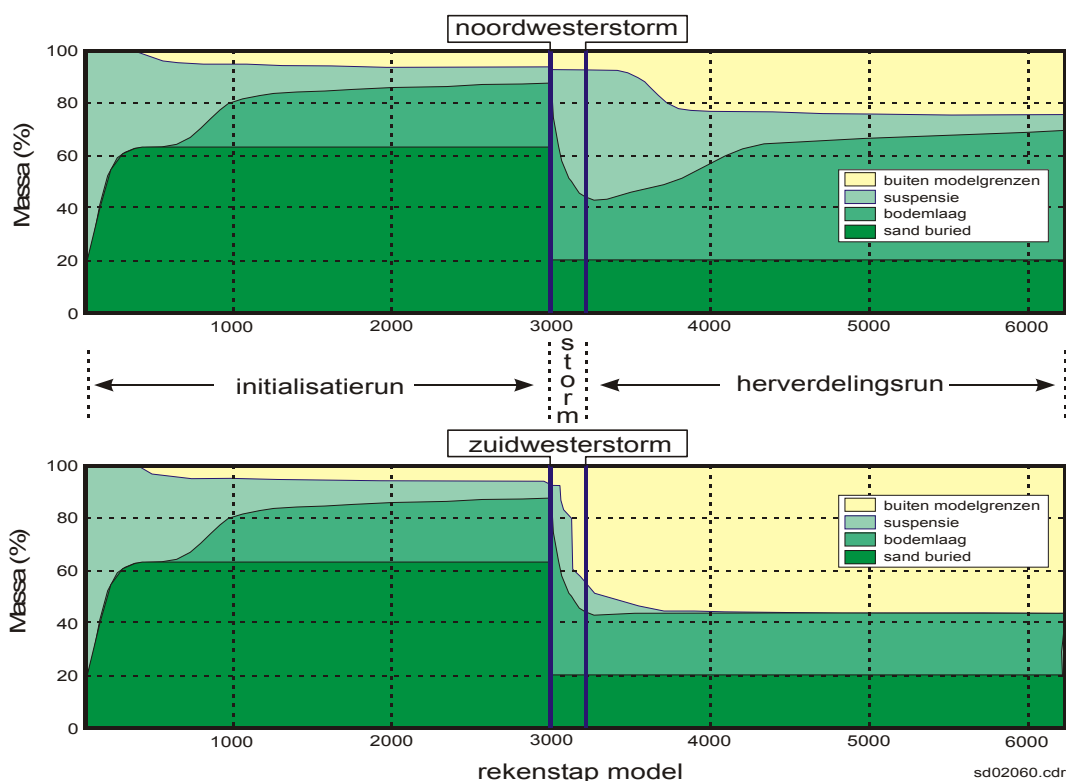
- het hele onderzoeksgebied;
- de Maasmonding plus Haringvliet,
- het binnengebied = Caland-Beerkanaal, Nieuwe Waterweg en de binnenhavens;
- buiten het modelgebied.

Het slib $< 63 \mu\text{m}$ bevindt zich in:

- suspensie;
- de standaardbodemaal (van waaruit resuspensie mogelijk is);
- de afdekkingsbodemaal (waarin het slib $< 63 \mu\text{m}$ is begraven);
- buiten het modelgebied.

Hierbij wordt opgemerkt dat het buiten de modelgrenzen raken van het slib $< 63 \mu\text{m}$ niet hoeft te betekenen dat het slib $< 63 \mu\text{m}$ in werkelijkheid niet meer terug kan keren binnen het modelgebied. Alle resultaten staan uitgebreid beschreven in Eij (2000).

Figuur 6-18 Berekende slibverdeling over verschillende compartimenten na een storm



Verloop in de tijd van de verdeling van het slib $< 63 \mu\text{m}$ in het hele modelgebied over de waterlagen (in suspensie), de standaardbodemaal, de afdekkingsbodemaal en buiten de modelgrenzen, gedurende elk van de twee scenario's, nl. een noordwester- en een zuidwesterstorm. (Eij 2000)

sd02060

Figuur 6-18 toont het verloop van de slibverdeling in de tijd. In de **initialisatierun** wordt door de gegeven instelling in relatief korte tijd, enkele getijperioden, 63 % van het slib_{< 63 µm} begraven in de afdekkingsbodemplaat op Loswal Noordwest. De rest van het slib_{< 63 µm} is dan nog in suspensie. In volgende getijperioden van de initialisatierun sedimenteert het slib_{< 63 µm} en raakt het slib_{< 63 µm} ook buiten de modelgrenzen zodat maar een kleine fractie in het model in suspensie blijft.

Noordwesterstorm

Bij het begin van de noordwesterstorm neemt de hoeveelheid begraven slib_{< 63 µm} af tot 20 %, zoals van tevoren opgelegd. De hoeveelheid slib_{< 63 µm} in de standaardbodemplaat is hoog aan het begin van de stormrun en neemt in drie getijperioden af tot 23 %. De hoeveelheid slib_{< 63 µm} in suspensie stijgt tot 49 %. Er verdwijnt weinig slib_{< 63 µm} over de modelgrenzen.

In de **herverdelingsrun** na de noordwesterstorm sedimenteert een groot deel van het slib en er verdwijnt ook een deel over de modelgrenzen.

Zuidwesterstorm

Ook bij het begin van de zuidwesterstorm neemt de hoeveelheid begraven slib_{< 63 µm} af tot 20 %, zoals van tevoren opgelegd. De hoeveelheid slib in de standaardbodemplaat is hoog aan het begin van de stormrun en neemt in drie getijperioden af tot 24 %. De hoeveelheid slib_{< 63 µm} in suspensie daalt tot 13 %. Er verdwijnt veel slib_{< 63 µm} over de modelgrenzen, n.l. 43 %. In de modelberekeningen keert geen slib_{< 63 µm} terug dat over de randen is verdwenen, maar in werkelijkheid kan dit op een later tijdstip wel plaatsvinden. Met name kunnen hierdoor de resultaten van de zuidwesterstorm, waarbij een aanzienlijk deel van het slib_{< 63 µm} over de rand verdwijnt, een vertekend beeld geven.

In de **herverdelingsrun** na de zuidwesterstorm verandert de hoeveelheid gesedimenteerd slib_{< 63 µm} nauwelijks en verdwijnt het gesuspendeerde slib_{< 63 µm} over de modelrand.

In Tabel 6-10 staat de verdeling van het slib in percentages van de initieel gestorte hoeveelheid weergegeven na de verschillende runs voor de verschillende modelgebieden.

Retourpercentage

Om het retourpercentage van de gestorte baggerspecie te kunnen berekenen moet in de eerste plaats bekend zijn hoeveel slib_{< 63 µm} gesedimenteerd is in het binnengebied, dus in de haven. Voor en na een noordwesterstorm is de hoeveelheid gesedimenteerd slib in de haven (binnengebied) zo'n 21 %. Na een herverdeling gedurende 40 getijperioden, zo'n 20 dagen, is de hoeveelheid gesedimenteerd slib_{< 63 µm} in de haven gestegen tot **43** %.

Bij een zuidwesterstorm is de beginsituatie hetzelfde. Maar zo'n 20 dagen na de storm is de hoeveelheid gesedimenteerd slib_{< 63 µm} in het binnengebied, de haven, nauwelijks toegenomen en bedraagt dan **23** %.

Tabel 6-10 Berekende slibverdeling over de verschillende gebieden na een storm

Resultaat narun	Hele gebied			Binnengebied		Maasmonding + Haringvliet		Buiten model- gebied
	Suspensie	Slib $< 63 \mu\text{m}$ in de bodem (standaard- bodemlaag)	Slib $< 63 \mu\text{m}$ in bodem (afdekkings- bodemlaag) Alleen op Loswal Noordwest	Sus- pensie	Slib $< 63 \mu\text{m}$ in de bodem (standaard- bodemlaag)	Suspensie	Slib $< 63 \mu\text{m}$ in de bodem (standaard- bodemlaag)	
	%	%	%	%	%	%	%	%
Initialisatierun	6	26	63	0	21	0	4	5
Noordwester- storm	49	23	20	0,4	22	0,2	4	8
Herversprei- dingsrun na NW-storm	6	49	20	0	43	0	8	25
Zuidwester- storm	13	24	20	0,4	22	0,4	4	43
Herversprei- dingsrun na ZW-storm	1	23	20	0	23	0	4	56

Percentages van het initieel gestorte slib $< 63 \mu\text{m}$ dat na afloop van de verschillende runs in suspensie, in de standaardbodemlaag of in de afdekkingsbodemlaag terecht is gekomen voor het hele modelgebied, binnengebied (=Caland-Beerkanaal + binnenhavens en Nieuwe Waterweg), Maasmonding + Haringvliet en of buiten het modelgebied is geraakt (Eij 2000).

Om het gemiddelde retourpercentage van de hoeveelheid baggerspecie over een heel jaar te kunnen bepalen is informatie nodig over:

- de slibfractie
- resuspensie van slib
- kans op noordwesterstorm
- retourpercentage bij noordwesterstorm
- kans op zuidwesterstorm
- retourpercentage bij zuidwesterstorm

Daarnaast is het nodig te weten hoe groot het wegstroompercentage van baggerspecie tijdens rustig weer is.

De uitkomst van deze berekening (de Kok, 2002) is dat **13 %** van de gestorte baggerspecie weer terugstroomt naar haven en vaargeul, rekening houdend met 'gemiddelde' stormomstandigheden en jaargemiddeld retourtransport.

6.6.3 Discussie

Zoals in § 5.2.4 al is vermeld zijn deelmodeluitkomsten niet verifieerbaar. Bij het berekenen van de slibverspreiding onder stormomstandigheden, en daarmee het retourpercentage, zijn een paar aannames gedaan. De eerste aanname is dat per rekenstap 0,5 % van de slibmassa uit onderste waterlaag begraven wordt op Loswal Noordwest tot een hoeveelheid van 63 %. De tweede aanname is dat door de storm 80 % van het begraven slib geresuspendeerd wordt, ten derde dat na de storm geen slib meer wordt begraven en tenslotte dat slib dat over de modelgrenzen verdwijnt, niet terugkeert in het model. Hoewel bovenstaande benaderingen de beste zijn die op dit moment gedaan kunnen worden, blijven er onzekerheden aan kleven. Er zijn alleen lange termijn gemiddelden voor begin- en randvoorwaarden beschikbaar, maar onvoldoende gegevens voor de actuele situatie. Bij de interpretatie van de resultaten moet met een zekere onzekerheidsmarge van tientallen procenten rekening worden gehouden.

In hoofdstuk 7 staat een opsomming van de verschillende methodes om het wegstroom- en retourpercentage te berekenen.

7 Discussie verschillende methodes voor bepaling retourstroompercentage

In Tabel 7-1 staat een overzicht van de gemeten en berekende retourpercentages en wegstroompercentages voor Loswal Noord en Loswal Noordwest, voor zover mogelijk met foutenschatting.

Tabel 7-1 Overzicht van de retour- en wegstroompercentages

Methode	Bron	Wegstroompercentage		Retourpercentage	
		baggerspecie (zand + slib)	slib	baggerspecie (zand + slib)	slib
Loswal Noord					
<i>MODEL</i>					
(MER)-Model 1991 Gemiddelde omstandigheden	MER	50 %	80 %	32 %	44 %
1999-MODEL					
Model 1999 Gemiddelde omstandigheden	7.6.2			44 ± 22 %	
Loswal Noordwest					
<i>MODEL</i>					
(MER)-Model 1991 Gemiddelde omstandigheden	MER	29 %	68 %	0 %	0 %
Model – 1999 - Gemiddelde omstandigheden - Noordwesterstorm - Zuidwesterstorm - Storm + gemiddelde omstandigheden	7.6	24 à 48 %	42 à 84 %	16 ± 6 % 28 % 0 % 13 ± 6,5 %	32,5 % 59 % 0 % 22 ± 11 %
Afname baggerinspanning - model 1991 - model 1999	6.2.3			32 - 0 = 32 44 - 13 = 31	
<i>METING</i>					
Afname baggerinspanning - haven - vaargeul - totaal	7.2			55,4 % 38,2 % 42,3 %	
Slibgehalte - beun - bodem - vaargeul	7.3	24,5 % 45,8 %			
Loding	7.4	50,4 ± 4,5 %	77,9 ± 3,2 %		
Loding + kartering	7.5			17,4 %	27,0 %

Bij alle wegstroom- en retourpercentages in Tabel 7-1 kunnen de volgende opmerkingen worden geplaatst.

Afname baggerinspanning

Vanuit economische perspectief is de afname in het retourpercentage van de baggerspecie na verplaatsing van de loswal een belangrijk getal. In het MER uit 1991 was een verandering voorspeld in het retourpercentage van 32 naar 0 %, dus een vermindering van **32 %**. In latere modelberekeningen was een verandering van 44 naar 13 % voorspeld, dus een afname van **31 %**.

Er is een afname van de baggerinspanning gevonden van **42,3%**. De relatie tussen de afname de baggerinspanning en de afname van het retourpercentage is niet eenduidig. In Tabel 7-1 is de afname van de baggerinspanning gemakshalve in de kolom 'retourpercentage' opgenomen.

Wegstroompercentage baggerspecie Loswal Noordwest

Het wegstroompercentage voor baggerspecie vanaf Loswal Noordwest is in 1991 voorspeld als **29 %**, in 1999 voorspeld als **24 à 48 %**, terwijl de gemeten waarde volgens de lodingen in 2002 **50,4 %** bedraagt.

Uit de grafiek waarin het verloop van het wegstroompercentage van baggerspecie tegen de tijd is uitgezet (Figuur 6-15) blijkt dat dit nog steeds stijgend is. Het is mogelijk dat het uiteindelijke niveau van het wegstroompercentage nog hoger ligt.

Uit veranderingen in het slibgehalte in beun en stortberg volgt een wegstroompercentage van **25 %**. Uit de verandering tussen bodem van de vaargeul en de stortberg volgt **46 %**. Het is op dit moment niet mogelijk om een uitspraak te doen welke waarde het meest betrouwbaar is. De grootte-orde klopt met die van de metingen die op lodingen zijn gebaseerd, nl. 50,4 %.

In 1991 had het model in de MER-studie voorspeld dat noch baggerspecie noch slib_{< 63 µm} van Loswal Noordwest zou terugstromen. De modelresultaten uit 1999 laten zowel voor baggerspecie (**13 %**) als voor slib_{< 63 µm} (**22 %**) een retourpercentage zien. Uit metingen met lodingen, dichtheid en radiometrische kartering volgt een retourpercentage van **17 %** voor baggerspecie en van **26 %** voor slib_{< 63 µm}.

Het is aannemelijk dat zowel baggerspecie als slib_{< 63 µm} wegstromen van de loswal, temeer daar dit ook blijkt uit stromingsonderzoek. De omvang voor het retourpercentage ligt voor meting en modelresultaat in dezelfde orde van grootte.

Conclusie

De afname van de baggerinspanning had idealiter het meest betrouwbare getal opgeleverd voor verandering in het retourpercentage, maar in de periode van 1996 tot 2000 is ook een nevengeul (§ 3.3) gegraven en is de Beerdam doorgestoken. De invloed van de verschillende ingrepen is niet te onderscheiden.

Uit al deze onderzoeken blijkt dat het niet eenvoudig is om het wegstroom- en retourpercentage voor zowel baggerspecie als slib_{< 63 µm} te bepalen. Er zijn vele aannames nodig, enkele metingen zijn niet 100 % betrouwbaar en sommige resultaten zijn tegenstrijdig. Echter, uit de combinatie van gegevens en berekeningen kan een globaal beeld wordt opgesteld. De weggestroomde hoeveelheid van de loswal zal ruim een derde tot de helft van de gestorte hoeveelheid zijn en het retourpercentage bedraagt hier ongeveer eenderde van.

8 Gemeten water- en slibstromen op Loswal Noordwest

Om uitspraken te kunnen doen over het retourpercentage is het nodig om meer zicht te krijgen op het water- en slibtransport. Uit modelberekeningen was gebleken dat ter hoogte van Loswal Noordwest de overgang lag van zuidwaarts naar noordwaartse gerichte stromen (zie § 4.1.4, **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Om een meer gefundeerde uitspraak te kunnen doen over de stroomrichting, stroomsnelheid en slibtransport is een onderzoek gestart waarbij in een winterperiode een meetframe met stroom- en slibmeters op Loswal Noordwest is geplaatst. De vragen waarmee dit onderzoek is gestart, waren:

- Hoeveel procent van de tijd is de stroming vanaf de loswal naar de Rotterdamse haven gericht?
- Is het überhaupt mogelijk dat er baggerspecie vanaf de loswal terugstroomt naar de haven?
- Hoeveel specie wordt vanaf de loswal naar de haven getransporteerd?

Het onderzoek staat beschreven in Bunt (2000) en Zindler et al. (2001).

8.1 Opzet meting

Als locatie voor de meting is vak 27 van Loswal Noordwest gekozen omdat dit vak op 1 km afstand van de gebruikte stortvakken 29 en 30 ligt maar niet door de stortingen wordt beïnvloed. De locatie is weergegeven in Figuur 6-5. Op de bodem van vak 27 is een meetframe geplaatst met twee stroomsnelheidsmeters en twee troebelheidsmeters. De apparatuur bevond zich op een hoogte van 0,15 tot 0,55 m boven de bodem. De metingen zijn uitgevoerd van 30 november 1999 tot 24 april 2000.

Om de reststromen te kunnen bepalen zijn 5-minuutsmetingen uitgevoerd. Hierbij wordt om de 15 minuten gedurende 5 minuten gemeten met een frequentie van 1 of 2 Hz. Van de meetgegevens zijn direct de gemiddelden en standaardafwijking bepaald en weggeschreven.

De beide troebelheidsmeters maten gedurende 5 minuten met een frequentie van 0,5 Hz alternerend de troebelheid in instrument-eenheden. Kalibratie vond plaats met behulp van materiaal uit bodemonsters uit de vaargeul, vak F.

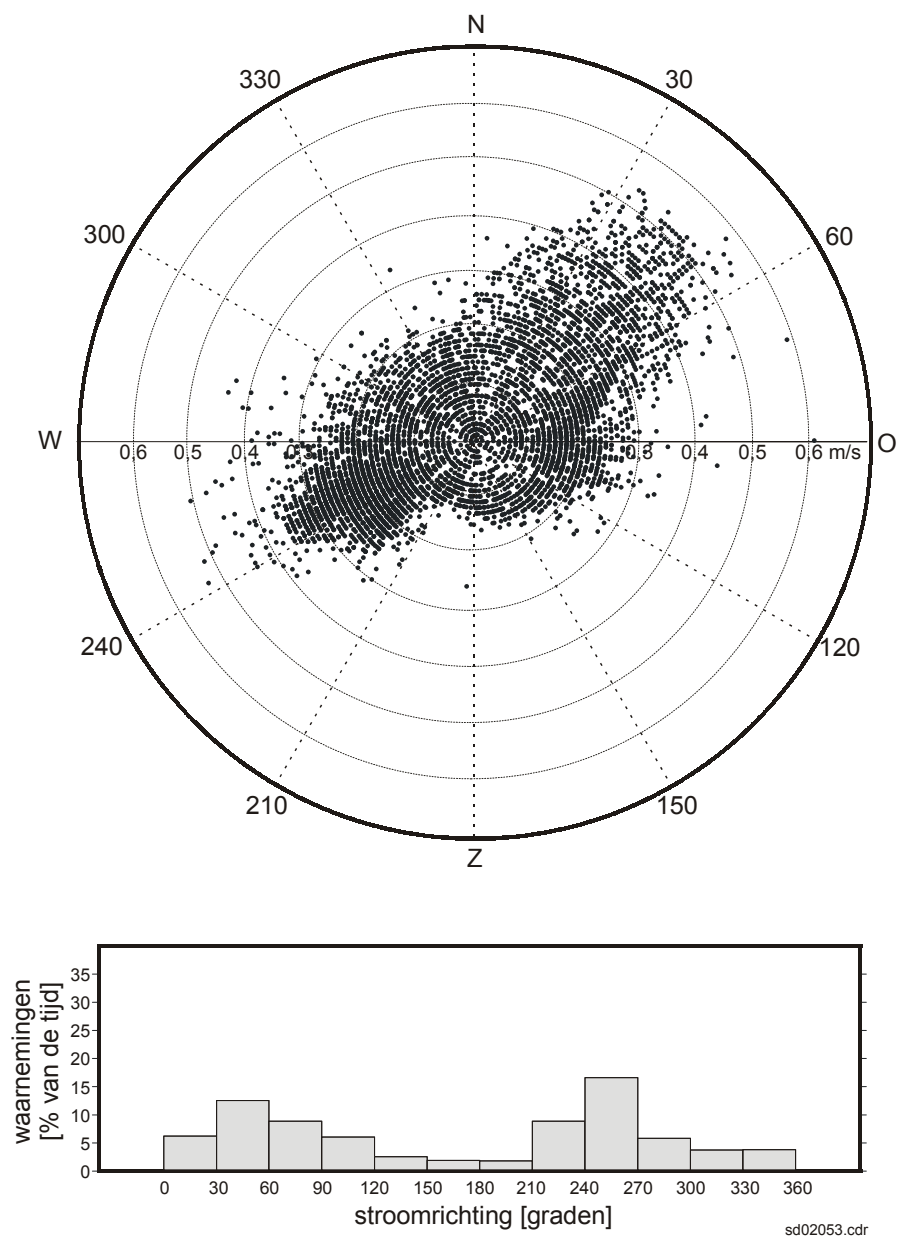
Naast de gegevens over stroomsnelheid en troebelheid is gebruik gemaakt van de gegevens van (1) windsnelheid en -richting (meetpost Noordwijk), (2) golfhoogte en golfperiode (IJmuiden) en (3) de waterstand (Hoek Van Holland).

8.2 Resultaten water- en slibstromen

Stroomrichting en stroomsnelheid

Figuur 8-1 laat een scatterdiagram zien van de stroomrichting en stroomsnelheid op een diepte van 0,55 m boven de bodem in de periode van 29 februari tot 28 april 2000. De stroomrichting is voornamelijk noordoostelijk en zuidwestelijk.

Figuur 8-1 Stroomrichting en stroomsnelheid op Loswal Noordwest



In vak 27 van Loswal Noordwest is de stroomrichting en stroomsnelheid (m/s) bepaald, zoals getoond in scatterplot en staafdiagram. Meting op 0,55 m boven de bodem in de periode 29-2-2000 tot 28-4-2000. (Zindler et al. 2000)

sd02053

Tabel 8-1 geeft inzicht in de gemiddelde gegevens van de momentane stroomsnelheid van het water over de gehele meetperiode. De waarde voor een hoogte van 35 cm boven de bodem zijn verkregen door de gegevens van 15 cm en 55 cm te middelen.

Tabel 8-1 De gemiddelde momentane stroomsnelheid op vak 27 van Loswal Noordwest

	Meting 15 cm boven de bodem	Meting 55 cm boven de bodem	35 cm boven de bodem (gemiddeld)
Noord tot noordoostelijke richting			
Stroomrichting in % van de tijd	29 %	30 %	30 %
Maximale stroomsnelheid	0,43 m/s	0,51 m/s	0,47 m/s
Zuid tot zuidwestelijke richting			
Stroomrichting in % van de tijd	38 %	38 %	38 %
Maximale stroomsnelheid	0,35 m/s	0,44 m/s	0,39 m/s

De richting noord tot noordoost komt ongeveer overeen met 0° en 60°, voor het zuidwesten is dit gelijk aan circa 210° en 270°. Wat duidelijk uit Tabel 8-1 naar voren komt is dat de hoogste watersnelheden zijn gemeten in noordelijke tot noordoostelijke richting, terwijl de stroming vaker in zuidwestelijke tot westelijke richting optreedt. De stroommeters op een hoogte van 0,55 m hebben hogere snelheden geregistreerd dan de meters op van 0,15 m. Verder is uit de metingen het effect van het getij te zien (niet getoond).

Gedurende de gehele meetperiode (november 1999 tot april 2000) is de reststroming overwegend naar het noorden gericht. Een duidelijke uitzondering hierop is de derde week van januari en vanaf de tweede week van februari tot begin maart, wanneer de reststroming overwegend een zuidwestelijke richting heeft.

Troebelheid

In de hele meetperiode zijn 8 periodes, die in duur varieerden van 1 tot 8 dagen, aan te wijzen met verhoogde slibconcentraties. Deze periodes duurden in totaal 30 dagen op een meetperiode van 128 dagen.

Slibtransport vanaf de loswal

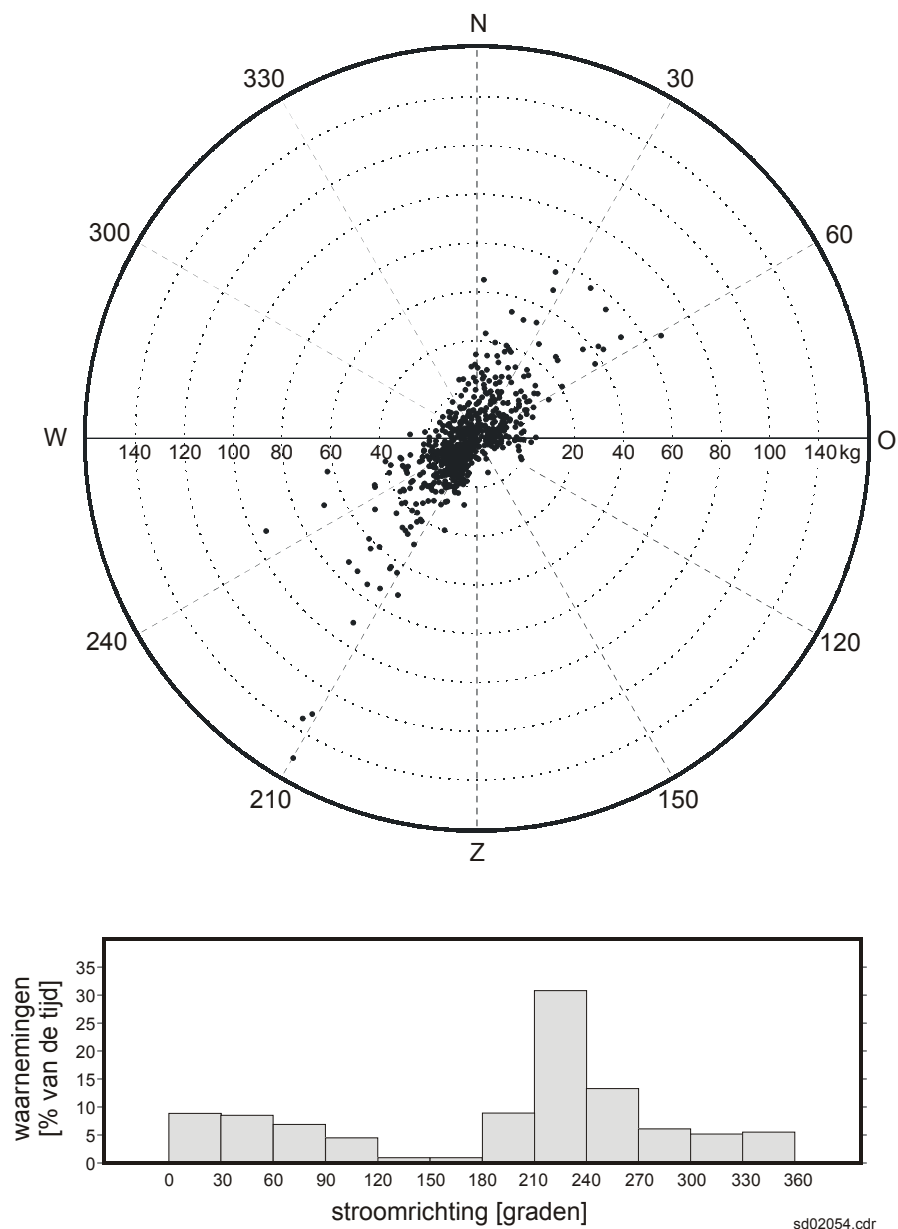
Het slibtransport vond ongelijkmatig plaats. In december vond 52 % van het slibtransport plaats, in januari 5 %, in februari 31 % en in maart 12,5 %. Van het totale transport vond 62,4 % plaats op 7 dagen, oftewel 6 % van de tijd. In Figuur 8-2 is een scatterplot te zien met de richting en de hoeveelheid van het resttransport voor de gehele meetperiode. De scatterplot is geconstrueerd op basis van de momentane stroomsnelheid en stroomrichting (dus niet het lopend gemiddelde over 12,5 uur) en de momentane concentratie slib_{< 63 µm}.

Op basis van de gegevens die zijn gevisualiseerd in Figuur 8-2, is een inschatting te geven van het percentage slib_{< 63 µm} dat vanaf de meetlocatie in de richting van de Maasmond wordt getransporteerd. Moeilijkheid hierbij is wel, dat deze inschatting wordt gedaan op basis van metingen op één punt. De meetgegevens geven namelijk geen inzicht in de richting waarin het slib_{< 63 µm} wordt getransporteerd zodra het de meetlocatie heeft verlaten. Er zijn daarom meerdere inschattingen te maken. Zo kan de aanname worden gedaan dat alleen het materiaal dat vanaf de loswal in de richting van de Maasmond wordt getransporteerd, daar ook zal aankomen (scenario 1). Een ander uiterste vormt de aanname dat al het materiaal dat vanaf de Loswal in zuidelijke richting wordt getransporteerd, in de Maasmond terecht kan komen (scenario 7). De locatie van het meetframe ten opzichte van de Maasmond is bijna pal Noord (ongeveer 10°). Hierbij dient ook te worden opgemerkt dat de exacte richting van de stroming onzeker is, omdat de oriëntatie van de apparaten niet exact is

bepaald. Het is daarom veiliger om uit te gaan van een wat ruimer bereik, zoals bijvoorbeeld scenario 4 (tabel 3).

In Figuur 8-3 en Tabel 8-2 is aangegeven welk percentage van de totale flux in de verschillende richtingen is opgetreden.

Figuur 8-2 Slibrichting en slibhoeveelheid vanaf Loswal Noordwest

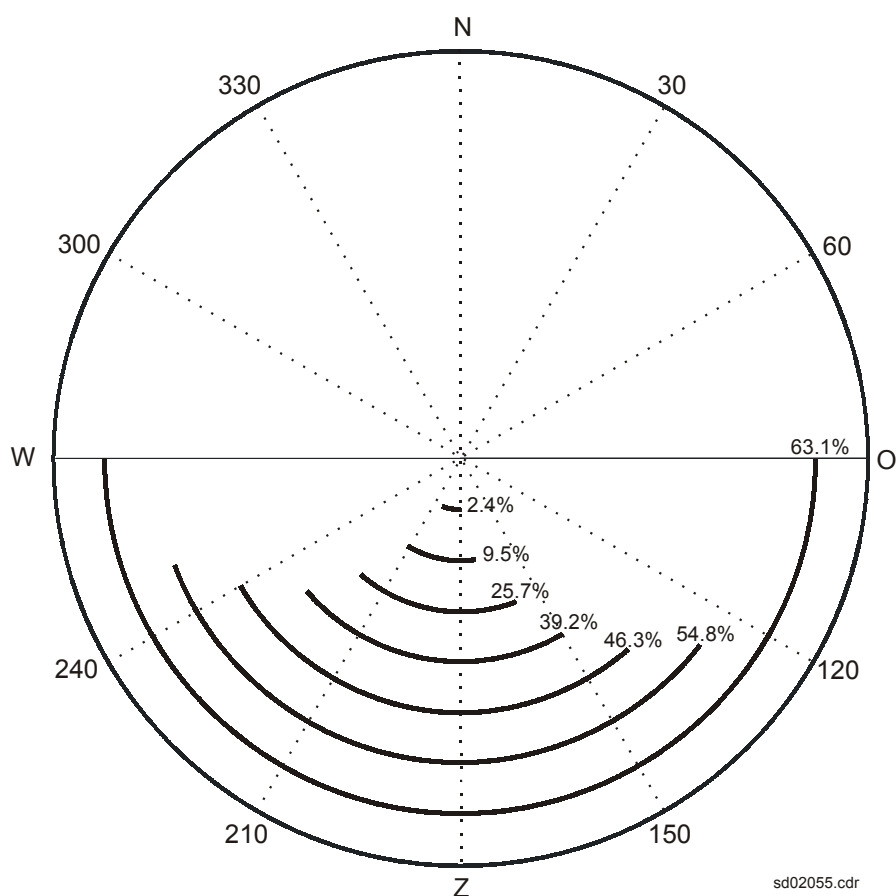


In de periode 30 november 1999 tot 30 maart 2000 is de slibrichting en slibhoeveelheid vanaf Loswal Noordwest bepaald (Zindler, 2000).

sd02054

Figuur 8-3
richtingen

Percentage van de totale flux in verschillende zuidelijke



De gesommeerde fluxen van slib_{< 63 µm} vanaf Loswal Noordwest in zuidelijke richting (Zindler, 2001).

sd02055

Tabel 8-2 Percentage van de totale flux naar de verschillende richtingen

	van	tot	percentage
Scenario 1	180°	200°	2,4
Scenario 2	170°	210°	9,5
Scenario 3	160°	220°	25,7
Scenario 4	150°	230°	39,2
Scenario 5	140°	240°	46,3
Scenario 6	130°	250°	54,8
Scenario 7	90°	270°	63,1

Uit Tabel 8-2 blijkt dat er vanaf de meetlocatie in vak 27 van de Loswal Noordwest meer slib_{< 63 µm} naar het zuiden dan naar het noorden wordt getransporteerd, de z.g. resttransportvector. Dit blijkt uit scenario 7, welk scenario laat zien dat meer dan 60 % van al het transport in zuidelijke richting (90 tot 270°) plaatsvindt. Zoals gezegd, is op basis van een puntmeting niet in

te schatten welk percentage van het slib_{< 63 µm} precies terugkomt in de Maasmond.

Wind

De meeste dagen met harde tot zeer harde wind zijn in december 1999 geweest. In deze maand waren de slibtransporten zeer omvangrijk aangezien meer dan de helft van het totale transport dat plaatsvond tijdens de meetperiode is opgetreden in december. Na 3 december, de dag waarop de hoogste windsnelheden (23 m/s) zijn gemeten, heeft een substantieel deel (28,5 %) van het totale slibtransport vanaf de loswal plaatsgevonden. Op 17 december, toen de wind eveneens kracht 9 had, is ruim 10 % van het totale slibtransport opgetreden. De harde wind van 24 en 25 december heeft echter geen significante transporten tot gevolg gehad. Op of direct na de dagen waarop windkracht 8 is gemeten, zijn eveneens geen belangrijke transporten gemeten. Zie hiervoor Bunt (2000) en Zindler et al. (2001).

Golven

Begin december was de wind hard en waren de lange golven hoog. Ook de significante golfhoogte was aanzienlijk. Na 2 dagen met hoge lange golven, vond 28,5 % van het totale transport plaats. Het grootste gedeelte hiervan (19,5 %) trad echter op toen de hoogte van de lange golven weer was afgenomen. Op 17 december vond ruim 10 % van het totale transport plaats. Op deze dag waren de golven hoog, maar dit geldt niet voor de lange golven. Op 9 februari (6% van het totale transport) waren de lange golven wel hoog. Zie hiervoor Bunt (2000) en Zindler et al. (2001).

8.3 Discussie

De vragen uit het begin van dit hoofdstuk zijn als volgt te beantwoorden. In 38 % van de tijd is de momentane stroomrichting van het water naar het zuiden of zuidwesten gericht, met een gemiddelde snelheid van 0,39 m/s. De snelheid is lager dan die naar het noorden, 0,47 m/s. De reststroomrichting is naar het noorden gericht. De resttransportvector van slib_{< 63 µm} is naar de zuidelijke sector gericht. Van het slibtransport treedt dan ook 63 % in zuidelijke richting op.

Het slibtransport is ongelijk verdeeld in de tijd: 62 % van het transport is opgetreden in 6% van de tijd.

Hoge slibconcentraties hoeven niet per definitie te leiden tot grote slibtransporten, omdat transport ook afhankelijk is van de stroomsnelheid. Uit de meetgegevens komt naar voren dat in februari het vaakst slibconcentraties van meer dan 200 mg/l in het water zijn gemeten, terwijl de grootste transporten hebben plaatsgevonden in december 1999.

Over het algemeen kan worden gesteld dat het verband tussen de **windkracht** en de **significante golfhoogte** duidelijk uit de gegevens naar voren komt. Op de dagen met harde tot zeer harde wind zijn hoge golven gemeten. Deze harde wind resulteerde niet altijd in hoge lange golven (golven met een periode van meer dan 10 seconden).

Het verband tussen **golfhoogte** en **slibtransport** is echter niet eenduidig uit de gegevens te halen. Voor de dagen waarop de belangrijkste slibtransporten hebben plaatsgevonden (4, 5 en 17 december) kan er wel een relatie worden

gelegd tussen de hoogte van de golven in de dagen voorafgaand aan of van het transport (waarbij op 17 december geen hoge lange golven zijn gemeten). Op een aantal dagen (18 en 19 december, 30 januari, 4 maart) zijn wel lange golven met hogere golfhoogte gemeten, maar waren er geen of geringe transporten.

Het is niet mogelijk om op basis van één puntmeting de grootte van de retourstroom in te schatten. Het is namelijk niet mogelijk om te bepalen welke kant het slib_{< 63 µm} opgaat zodra het de meetlocatie heeft verlaten. Ook is het onbekend hoe lang het slib_{< 63 µm} na het verlaten van de meetlocatie nog in suspensie is.

De metingen sluiten dus niet uit dat er transport in zuidelijke richting plaatsvindt. Dit is echter nog geen argument dat er ook retourtransport, het transport naar de haven, optreedt.

De resultaten van het slibtransportonderzoek uit dit hoofdstuk en van de radiometrische kartering, waarbij het slibpatroon op de zeebodem in kaart wordt gebracht en gekwantificeerd (§ 6.1.2) kunnen naast elkaar worden gelegd.

Op de zeebodem van de zuid-sector van het survey-gebied van de radiometrische kartering ligt **35 %** van het slib_{< 63 µm}, dat vanaf Loswal Noordwest is weggestroomd. In scenario 4 van het slibtransportonderzoek wordt ongeveer dezelfde (windroos)richting in beschouwing genomen als de zuid-sector. In scenario 4, van 150° tot 240°, stroomt **39 %** van het slib_{< 63 µm} vanaf vak 27 in zuidelijke 'zuid-sector-richting'.

De overeenkomst tussen deze twee waarden (35 en 39 %) geeft steun aan de veronderstelling dat de hoeveelheid slib_{< 63 µm} die zich op de zeebodem heeft afgezet in zuidelijke richting, maatgevend is voor de hoeveelheid slib_{< 63 µm} die in zuidelijke richting in de waterfase verplaatst wordt.

9 Evaluatie radiometrische kartering

Het Kernfysisch Versneller Instituut (KVI) heeft een methode om de sedimentsamenstelling van de zeebodem te bepalen geoperationaliseerd, de z.g. radiometrische kartering. Deze methode is gebaseerd op metingen van de natuurlijke achtergrondstraling van een aantal isotopen. Hiertoe wordt een radioactiviteitsensor achter een boot over de zeebodem gesleept. Door deze methode herhaald toe te passen is men onder bepaalde voorwaarden in staat om sedimenttransport te monitoren. Bij dit evaluatierapport is deze methode gebruikt om de retourstroom van baggerspecie van de loswal naar de haven te schatten. De radiometrische kartering is in bepaalde opzichten veel gevoeliger voor slib_{< 63 µm} dan de bathymetrie, de gewone lodingen. De standaardfout bij lodingen is circa 15 cm, terwijl bij de radiometrie sliblaagjes van enkele millimeters kunnen worden gemeten. Bovendien is de methode efficiënt omdat er - anders dan bij de sondemetingen - al varende gemeten kan worden.

In dit hoofdstuk wordt deze radiometrische methode beoordeeld. Hiervoor is gebruik gemaakt van de rapporten van Blacqui re (1999) en Roberti (1999).

9.1 Sterke punten

De radiometrische kartering heeft de volgende sterke punten:

- **De methode is efficiënt. Er wordt continu gemeten. Er worden in situ metingen uitgevoerd zonder dat er telkens een sonde afgevierd** hoeft te worden.
- De methode is zeer gevoelig. Een laagje slib_{< 63 µm} van slechts enkele millimeters dik in of op zand kan gedetecteerd worden. Vergeleken met een (multibeam)echosounder, die op zijn best een laagdikte van een decimeter nauwkeurigheid haalt, is dit een grote sprong voorwaarts. In dit evaluatierapport wordt met een standaardfout van 14 cm gerekend voor de lodingen.
- De methode kan onderscheid maken tussen verschillende fracties, wat bijv. met echosounding nauwelijks mogelijk is.
- Langs de meetraai is de meetdichtheid hoog, wat een gedetailleerd beeld oplevert met een resolutie van circa 20 m. Hierdoor is ook een variogram goed te bepalen, wat de kwaliteit van Kriging interpolatie-resultaten ten goede komt.

9.2 Zwakke punten

De radiometrische kartering is nog niet volledig uitontwikkeld. De volgende zwakke punten van deze techniek worden in dit hoofdstuk besproken:

- Kalibratie
- Aantal te onderscheiden fracties
- Koppeling fingerprints aan sedimenttypes
- Laagdikte
- Interpolatie

Verder kan opgemerkt worden dat stormen het slibpatroon op de zeebodem danig kunnen verstoren, maar dit probleem is niet specifiek voor de radiometrische kartering.

A. Kalibratie

De kalibratie van de radiometrische kartering vindt onder relatief moeilijke praktijkomstandigheden plaats. Zo verandert bijvoorbeeld de bodemdichtheid en is het contact van de sensor met de bodem niet altijd gegarandeerd. Er is aangenomen dat de dichtheid van het materiaal waardoor c.q. waarover de sensor gesleept wordt, constant is. Het is niet waarschijnlijk dat deze aanname opgaat. De invloed van dichtheidsvariaties op het meetresultaat is niet bekend.

Er is verder verondersteld dat de sensor voortdurend in contact blijft met de bodem. Om na te gaan of aan deze aanname wordt voldaan, is een microfoon aanwezig. De aanwezigheid van een voldoende sterk akoestisch signaal duidt op wrijving met de bodem. Op deze manier is nagegaan wanneer aan deze aanname is voldaan.

B. Aantal te onderscheiden fracties

Bij het vertalen van de straling naar verschillende typen sediment worden de volgende typen onderscheiden:

- zand deeltjesgrootte tussen de 63 μm en 2 mm;
- silt deeltjesgrootte tussen de 16 μm en 63 μm ;
- klei deeltjesgrootte kleiner dan 16 μm .

Men veronderstelt dat verschillende typen sediment elk hun eigen radiometrische 'fingerprint' hebben, d.w.z. dat zij gekarakteriseerd kunnen worden door een specifieke verhouding van de meetbare isotoopconcentraties ^{40}K , ^{214}Bi , ^{232}Th en ^{137}Cs (cesium is van antropogene oorsprong). De elementen ^{214}Bi en ^{232}Th zijn niet onafhankelijk. Aangezien dus drie van deze nucliden onafhankelijk zijn, dat wil zeggen dat er geen sterke correlatie bestaat tussen hun activiteitenconcentraties, is het maximale aantal sedimenttypen dat geschat kan worden drie. In de rapportage van de radiometrische kartering worden slechts twee typen (slib $<63 \mu\text{m}$ en zand $>63 \mu\text{m}$) onderscheiden worden. De methode is geschikt omdat er twee sedimenttypen onderscheiden worden.

Een onzekerheid in de bepaling is dat gasvormig ^{222}Rn kan ontsnappen voordat het verval tot de vaste stof ^{214}Bi .

C. Koppeling fingerprints aan sedimenttypes

Bij het toekennen van radiologische 'fingerprints' aan sedimenttypen op basis van deeltjesgrootte wordt ervan uitgegaan dat zowel de transport-eigenschappen als de radiometrische eigenschappen van zo'n sedimenttype constant zijn. Er is voldoende reden om aan te nemen dat men inderdaad verschillende klassen sediment kan onderscheiden die elk een eigen 'fingerprint' hebben. Echter, een verdeling gebaseerd op deeltjesgrootte is hiervoor mogelijk niet optimaal. De radioactieve eigenschappen zijn nu eenmaal niet voor 100 % gecorreleerd met deeltjesgrootte. Vervolgens zijn natuurlijk ook de sedimenttransporteigenschappen niet 100 % gecorreleerd met de deeltjesgrootte.

D. Laagdikte

De radioactieve straling wordt zo verzwakt bij zijn tocht door de bodem dat deze straling na 30 cm niet meer te detecteren valt. Bij de berekeningen is verondersteld dat het slib $<63 \mu\text{m}$ homogeen verdeeld is over deze laag. Als niet aan deze veronderstelling wordt voldaan, dus zowel in het geval van een dikkere homogene laag, als in geval van een inhomogene laag, zal de nauwkeurigheid van de methode afnemen.

-
- Zo geeft een laagje slib_{< 63 µm} dat bovenop het sediment ligt een driemaal zo grote straling af als dezelfde hoeveelheid slib_{< 63 µm} die homogeen verdeeld is in een bodemlaag van 30 cm.
 - Stel de bovenste homogene laag is dikker dan 30 cm, bijvoorbeeld 60 cm. In dat geval zit er een factor twee tussen het berekende volume van het sediment en de werkelijk aanwezige hoeveelheid.

Uit de 50 cm diepe bodemonsters rondom Loswal Noordwest (zie Figuur 6-4) blijkt dat er sprake van gelaagdheid in de bodem en dat het slib_{< 63 µm} niet homogeen verdeeld is.

E. Interpolatie

Bij de radiometrische kartering wordt in raaien gevaren. Van de, in feite, puntvormige meetpunten¹, wordt met behulp van interpolatie een gebiedskaart met sedimentkarakteristieken gemaakt. Voor het verkrijgen van een goed interpolatieresultaat is een voldoende grote dichtheid van de meetpunten van belang. Bij de eerste metingen waren de gevaren raaien in de geïnterpoleerde resultaten duidelijk te zien. De oorzaken hiervoor zijn een onjuist uitgevoerde interpolatie en onvoldoende meetgegevens.

Voor de interpolatie is de 'Kriging-methode' gebruikt, een geavanceerde spatiële interpolatiemethode die rekening houdt met partiële variaties die optreden. Voor deze 'Kriging-methode' mag de afstand tussen de raaien voor kalium 600 m, voor het 'klei-signaal' 400 m en voor het 'zand-signaal' 720 m zijn. Om deze reden is de raai afstand bij de latere karteringen verlaagd van 1 km tot 500 m. Voor klei is dit nog iets te groot, maar anders werd het te duur en te arbeidsintensief.

De bovenstaande zwakke punten kunnen verbeterd worden als

- - de vertaling van de gemeten radioactiviteitsconcentraties naar sedimenttypen verbeterd wordt;
- - er een alternatief komt voor de aanname van een 30 cm dikke homogene laag;
- - er een goede strategie voor de spatiële sampling komt, dus de juiste raai-afstand wordt gecombineerd met de juiste Kriging interpolatie.

9.3 Toepassing van de radiometrische kartering

De methode van radiometrische kartering is in dit evaluatieonderzoek gebruikt voor het monitoren van sedimenttransport. Voorwaarde is dat er nog geen stabiele situatie is ontstaan. Deze eis wordt trouwens ook aan de bathymetrie gesteld.

Het resultaat van de radiometrische methode op een bepaald tijdstip is een beeld van de sedimentsamenstelling van de bodem. Door de meting te herhalen, kan men dus volgen hoe deze samenstelling verandert als functie van de tijd. In principe is er geen directe relatie met transport want men meet de bergingscapaciteit van het survey-gebied.

Bij het opstellen van de massabalans is verondersteld dat de trend, die zich binnen het survey-gebied voordoet, zich daarbuiten voortzet. Echter, in een

¹ Ten opzichte van de schaal van het meetgebied is sprake van meet'punten'; meettechnisch zijn het meettrajecten van 20 seconden varen.

gebied met ingewikkelde stromingspatronen, vlak voor de kust, is het niet logisch om aan te nemen dat geconstateerde trends binnen een relatief klein gebied zich daarbuiten inderdaad ongewijzigd zouden voortzetten, maar je moet het doen met wat je hebt.

Bij dit evaluatie-onderzoek wordt niet rechtstreeks naar het transport van slib_{< 63 µm} gekeken. De massabalans van de baggerspecie wordt aan de hand van de baggeradministratie, de lodingsgegevens en de radiometrische kartering opgesteld. De radiometrische kartering wordt hierbij op twee manieren gebruikt.

In de eerste plaats wordt de absolute hoeveelheid baggerspecie in het survey-gebied rondom de loswal bepaald. De nauwkeurigheid van het meetresultaat van de radiometrische kartering bepaalt de nauwkeurigheid van de hoeveelheid slib_{< 63 µm}. Deze nauwkeurigheid wordt in § 9.4 verder besproken.

In de tweede plaats wordt bepaald welke fractie van het slib_{< 63 µm} in zuidelijke richting is gestroomd. Dit wordt bepaald door de fractie van het slib_{< 63 µm} te berekenen die in de zuid-sector ligt, dus de hoeveelheid ten opzichte van al het slib_{< 63 µm} rondom de loswal. Deze berekening staat beschreven in § 6.1.2e). Als de relatieve fout van de radiometrische kartering over het hele survey-gebied gelijk is, valt deze weg in de berekening van de zuidfractie.

9.4 Nauwkeurigheid van het eindresultaat

Het is een bijna onmogelijke opgave om de nauwkeurigheid van de radiometrische kartering te kwantificeren. Toch is er een poging gedaan (Roberti, 1999).

Er zijn verschillende stappen te onderscheiden in het proces van 'bodem', via 'activiteitsconcentraties' naar slibmassa, waarbij elke stap zijn eigen nauwkeurigheid heeft.

Voor stap 2, het omrekenen van activiteitsconcentraties naar sedimentfracties, wordt de relatieve fout geschat tussen de 10 % en 100 %. Er wordt in dit hoofdstuk verder gerekend met het gemiddelde, 50 %.

Bij stap drie, de interpolatie van de gemeten sedimentfracties, wordt gerekend met de opgegeven relatieve fout, 50 %.

Een grote fout wordt veroorzaakt door het al dan niet aanwezig zijn van bodemgelaagdheid. Uit de bodemmonsters die getoond worden in Figuur 6-4 blijkt dat er bodemgelaagdheid aanwezig is. Op grond van deze metingen is een relatieve fout van 100 % aangenomen.

De gekwantificeerde relatieve fouten tezamen komen uit op een totale relatieve fout van **200 %** (50+50+100), dus een factor drie te hoog of te laag.

In Tabel 9-2 staat de hoeveelheid slib_{< 63 µm} die via de radiometrische kartering in de periode juni 1996 tot oktober 1997, de t_0 tot t_2 , rondom Loswal Noordwest is teruggevonden, nl. 3,84 miljoen ton droge stof slib_{< 63 µm}. Gezien de onnauwkeurigheid kan dit minimaal 1,28 en maximaal 11,5 miljoen ton droge stof zijn. Dit is een groot verschil.

Als het slib_{< 63 µm} homogeen gemengd is in de toplaag van 30 cm van de zeebodem ligt er 3,84 MTDS slib_{< 63 µm}. Ligt echter al het slib_{< 63 µm} in een laag op de zeebodem, dan ligt er slechts 1,28 MTDS omdat in dit geval het radioactiviteitssignaal overschat is doordat de extinctie in de 30 cm laag ontbreekt. In het onwaarschijnlijke geval dat al het slib_{< 63 µm} net onder de 30 cm

laag ligt, is de hoeveelheid onderschat en ligt er 11,5 MTDS. Dit is fysiek onmogelijk omdat er minder is gestort.

In deze periode is 8,14 miljoen ton droge stof gestort. In procenten uitgedrukt is van de gestorte baggerspecie 47 % teruggevonden in het surveygebied rondom de loswal, nl. 3,84 MTDS.

Tabel 9-1 De foutenschatting van de radiometrische kartering

Bepalingsstap	absolute fout	relatieve fout
Bij de <u>eerste</u> stap, waarin de activiteitsconcentraties bepaald worden, worden de volgende foutenbronnen onderscheiden: <ul style="list-style-type: none"> - detectoreigenschappen - het bodemcontact van de sensor - kwaliteit van de spectrumanalyse 	?	?
<u>Stap twee</u> , van activiteitsconcentraties naar sedimentfracties met de volgende foutenbronnen: <ul style="list-style-type: none"> - aantal bodemmonsters - fingerprint bodemmonsters - in categorieën onderbrengen van bodemmonsters - dekkingsgraad van de gekozen sedimenttypen 	10 procentpunten	10 %-100 % 50 %
<u>Stap drie</u> , de interpolatie van de gemeten sedimentfracties met de volgende foutenbronnen: <ul style="list-style-type: none"> - plaatsbepaling - ligging raaien en variogram analyse - interpolatieschema - 	0-30 procentpunten	50 % 50 %
<u>Stap vier</u> , bepaling van gebiedsgemiddelde waarden met de volgende foutenbronnen: <ul style="list-style-type: none"> - gelaagdheid bodem - keuze gevoeligheidsdiepteprofiel - aantal meetpunten binnen gebied 		200 % 100 %

Tabel 9-2 Massabalans Loswal Noordwest

Baggerspecie (Zand + slib _{<63µm})	Techniek / Bepaling	Hoeveelheid gestort of teruggevonden materiaal		
		Minimum (miljoen TDS)	Bepaald (miljoen TDS)	Maximum (miljoen TDS)
		slib _{<63 µm} op top	gemengd	slib _{<63 µm} onderaan
Gestort op Loswal Noordwest	Bagger- administratie		8,14 (= 100 %)	
Restmassa op Loswal Noordwest	Loding		6,10 (= 75 %)	
Restmassa rondom Loswal Noordwest	Radiometrische kartering	1,28 (= 16 %)	3,84 (= 47 %)	11,5 (= 142 %)
Restmassa op en rondom Loswal Noordwest	Loding plus radiometrische kartering	6,10 + 1,28 = 7,38 (= 91 %)	6,10 + 3,84 = 9,94 (= 122 %)	6,10 + 11,5 17,6 (= 216 %)

De hoeveelheid gestorte baggerspecie en de hoeveelheden teruggevonden baggerspecie, de z.g. restmassa, zowel op als rondom Loswal Noordwest in de periode juni 1996 tot oktober 1997, de t_0 tot t_2 , (in miljoen ton droge stof, TDS).

Als met de onnauwkeurigheid rekening wordt gehouden kan tussen de 16 en 142 % van het gestorte slib_{< 63 µm} in het surveygebied liggen (dus niet op maar rondom de loswal) . Via de klassieke loding is op de loswal zelf 6,10 miljoen ton droge stof, oftewel 75 % teruggevonden, op de loswal. De totale restmassa op de bodem bedraagt 91 of 122 of 216 % van de gestorte massa. Hierbij moet worden opgemerkt dat in het surveygebied alleen de hoeveelheid slib_{< 63 µm} is gemeten en niet de hoeveelheid zand. Er wordt dus een onderschatting gemaakt van de hoeveelheid teruggevonden baggerspecie.

In paragraaf 6.5 is gebruik gemaakt van de slibbalans die met de radiometrische kartering is opgesteld. Aangezien hieruit een negatief wegstroompercentage volgde, wat fysisch niet reëel is, is de absolute kwantificering van slib_{< 63 µm} van de radiometrische kartering verder niet gebruikt.

9.5 Conclusie

De radiometrische kartering is momenteel de enige methode om dunne lagen slib_{< 63 µm} op de zeebodem te bepalen. Naast sterke kanten, heeft deze methode ook zwakke kanten. Door de zwakke kanten heeft de methode een grote mate van onnauwkeurigheid.

De sterke punten zijn dat het slibpatroon rondom de loswal is goed waar te nemen. Dit betreft zowel het patroon voor aanvang van het storten als tijdens het storten. Uit het verschil tussen deze twee patronen vóór en tijdens het storten valt de invloed van het storten van baggerspecie op het verspreidingspatroon van slib_{< 63 µm} op te maken.

Verder valt met de radiometrische kartering aan te tonen dat een aanzienlijk deel van het slib_{< 63 µm} uit de gestorte baggerspecie in dunne lagen van enkele mm's tot enkel cm's dik in een straal van 10 tot 15 km rondom de loswal ligt.

De relatieve kwantificering van de radiometrische kartering lijkt betrouwbaar. Op grond van de verdeling van het slib_{< 63 µm} rondom de loswal is berekend dat de fractie slib, die naar het zuiden stroomt, de z.g. zuidfractie, 0,35 bedraagt. De mate van onzekerheid in deze fractie is geringer dan bij de slibmassabepaling omdat dan de systematische fouten tegen elkaar wegvallen. De waarde van deze fractie is nodig om uit het wegstroompercentage het retourpercentage vast te stellen.

Een zwak punt is de absolute kwantificering omdat de mate van onnauwkeurigheid niet precies is aan te geven. Op grond van de foutenschatting is berekend dat de laagste en hoogste waarde van de hoeveelheid resterende baggerspecie op de zeebodem buiten de eigenlijke loswal in het survey-gebied, resp. 1,28 en 11,5 miljoen TDS bedraagt. Dit is resp. 16 % en 142 % van de totale hoeveelheid gestorte baggerspecie. Voor deze berekening is de periode juni 1996 tot oktober 1997 in beschouwing genomen, dus t_0 tot t_2 .

De totaal teruggevonden hoeveelheid baggerspecie ligt hiermee tussen de 91 en 216 %, aangenomen dat 75 % op de loswal zelf is achtergebleven. Deze getallen betekenen dat de radiometrische kartering de slibmassa op de bodem overschat, terwijl fysisch onmogelijke (meer 'teruggevonden' dan gestort:) zijn gevonden.

Het meest waarschijnlijk is dat het slib_{< 63 µm} **op** de zeebodem ligt zodat er 16 % (1,28 MTDS) van de gestorte hoeveelheid baggerspecie rondom de loswal ligt.

Op grond van lodingen en de radiometrische kartering is het retourpercentage van baggerspecie 17,4 % en van slib_{< 63µm} 27,0 %.

De basale aanname voor de berekening van het retourpercentage, n.l. dat de situatie binnen het surveygebied geëxtrapoleerd kan worden tot buiten het surveygebied, kan niet onderbouwd worden, maar lijkt redelijk.

Los van de gebruikte techniek, de radiometrische kartering, kan ook de aanname dat de hoeveelheid slib_{< 63 µm} die afgezet is op de bodem een maat is voor de hoeveelheid slib_{< 63 µm} die in de waterfase naar het zuiden stroomt, niet bewezen worden. Maar deze aanname lijkt redelijk omdat de hoeveelheid slib_{< 63µm} die in zuidelijke richting wordt getransporteerd 39,2 % (zie Tabel 8-2) bedraagt terwijl volgens de radiometrische kartering 35 % in de zuid-sector ligt.

Deel III

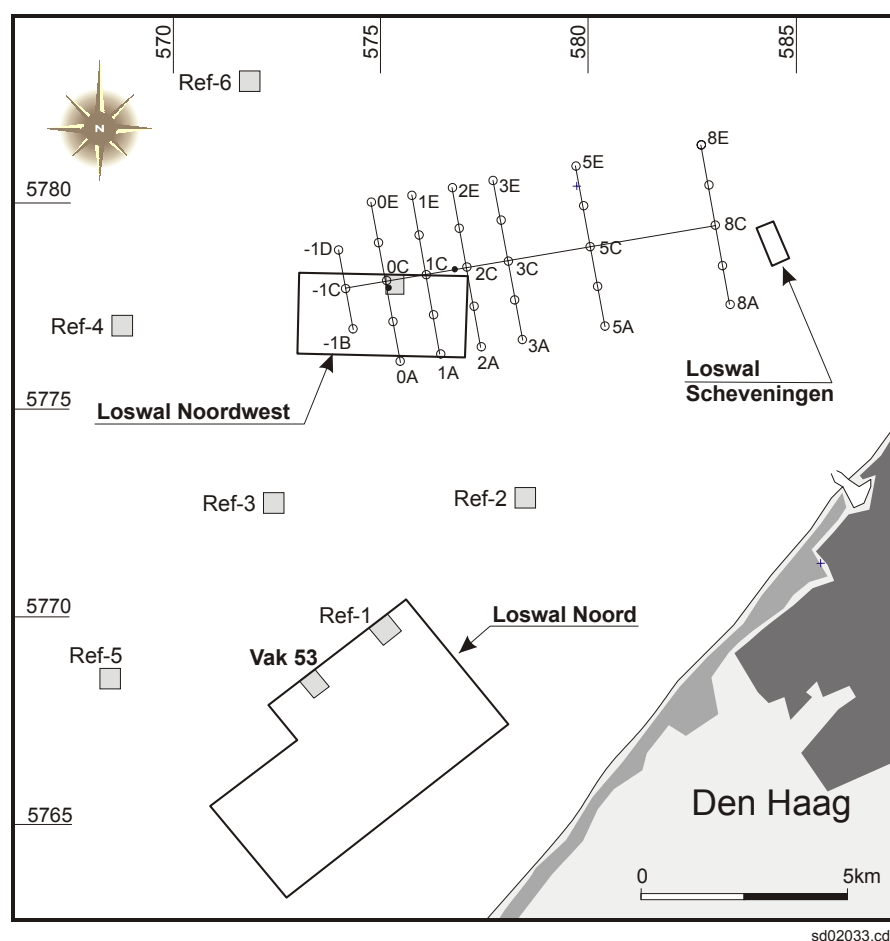
Ecologische effecten

10 Verontreinigende stoffen in het sediment

10.1 Uitvoering metingen op Loswal Noord en Noordwest

Op Loswal Noord en Noordwest zijn gedurende 4 jaar bodemonsters genomen waarin het gehalte aan verontreinigende stoffen is bepaald. De monsterlocaties staan in Figuur 10-1. De gehalten aan organisch koolstof, zware metalen, PAK's en PCB's zijn bepaald. Alle details staan in bijlage 14.

Figuur 10-1 Monitoringslocaties bodemonsters verontreiniging



De locaties voor de sedimentmonsters in 1996, 1997 en 1998 om de chemische verontreinigingen in het sediment op Loswal Noord en Noordwest vast te stellen (zie ook tabel 5.2.1/ a).

sd02033

10.2 Resultaten verontreiniging sediment op Loswal Noord

Hieronder staan de resultaten van het onderzoek naar het voorkomen van verontreinigingen op de oude Loswal Noord. Dit onderzoek is uitgevoerd door het Instituut voor Milieuvraagstukken (IVM), zoals beschreven in bijlage 14.

Resultaten 1996, de t₀-situatie

In september 1996 heeft het Instituut voor Milieuvraagstukken zes monsters genomen op de oude Loswal Noord en de referentielocatie, kort nadat de laatste baggerspeciestortingen daar hadden plaatsgevonden. In deze monsters zijn de korrelgrootteverdelingen en de gehalten aan microverontreinigingen bepaald. Hieronder worden, tenzij anders vermeld, de gestandaardiseerde gehalten besproken (zie bijlage 14). De monsters zijn gescheiden in fracties kleiner dan 2 µm, tussen 2 en 16 µm en tussen 16 en 63 µm.

De gevonden resultaten zijn als volgt.

Het **slibgehalte**_{<63µm} op de Loswal Vak 53 van de oude Loswal Noord (zie Figuur 10-1) was bijna 10 keer hoger dan op de nabij gelegen referentielocatie Ref-1 en bijna 20 keer hoger dan op de referentielocatie Ref-4. De gehalten bedroegen op Vak 53, Ref-1 en Ref-4 resp. 17,1 - 2,35 en 0,91 %. Maar het percentage organische koolstof op het stortvak 53 en Ref-1 was de helft lager vergeleken met de referentielocatie Ref-4, nl. 2,15 % en 2,14 % t.o.v. 4,73 %.

In de belaste locaties Vak 53 en Ref-1 werd voor **kwik** een lichte verhoging van een factor twee geconstateerd in de slibfractie_{<63µm} ten opzichte van de referentielocatie, Ref-4 (Figuur 10-1). Het gemiddelde kwikgehalte van Vak 53 en Ref-1 bedroeg 0,66 resp. 0,58 µg/g, en dat van de referentielocatie 0,28 µg/g. Alle waarden zijn gestandaardiseerd.

Het **cadmiumgehalte** was op het stortvak en Ref-1 ruim een factor twee hoger dan op de referentielocatie Ref-4. Het gemiddelde cadmiumgehalte van Vak 53 en Ref-1 bedroeg 1,44 resp. 1,40 µg/g, en dat van de referentielocatie 0,56 µg/g, alle gestandaardiseerd.

Na standaardisering waren de gemiddelde gehalten voor lood, koper, zink, chroom en nikkel in de slibfractie ongeveer gelijk voor de beide belaste locaties Vak 53 en Ref-1 en de referentielocatie Ref-4.

De gestandaardiseerde gehalten van de onderzochte **PCB-congeneren** zijn voor Vak 53 en Ref-1 vergelijkbaar. Ten opzichte van de referentielocatie (Ref-4) zijn ze een factor 3 tot 5 toegenomen (zie Figuur 10-1).

Voor de PAK's liggen de gehalten een factor 2-3 hoger dan op de referentielocatie Ref-4.

De gehalten van **tributyltin** op stortvak 53 en Ref-1 zijn bijna een factor drie verhoogd ten opzichte van de referentielocatie Ref-4 (resp. 36 en 46 ng/g t.o.v. 13 ng/g).

Ook de **oliegehalten** zijn bepaald. De gehalten bij Loswal Noord zijn juist niet verhoogd. De kustgebieden 'Referentie-1' en Loswal Noordwest vertonen echter hogere oliegehalten dan Referentie-4 en Loswal Noordwest, zeezijde.

Resultaten 1997, de t₁-situatie

Bij metingen van juli/augustus 1997, dus één jaar na het staken van het storten, op Vak 53 van de oude Loswal Noord, het vak waar het laatst gestort is, werden over het algemeen geen duidelijke veranderingen in contaminantgehalte geconstateerd die zouden wijzen op een voorspoedig milieuchemisch herstel, echter met uitzondering van kwik, PAK's en TBT, waarvan de gehalten wel afnamen.

De **slibfractie** (< 63 µm) is op stortvak 53 gestegen ten opzichte van het vorige jaar, nl. van 17,1 % tot 20,7 %. De slibfractie is daarmee een factor 13 hoger ten opzichte van de nabijgelegen referentielocatie Ref-1 en een factor 10 hoger dan de verder af gelegen referentielocatie Ref-4.

De **organisch koolstofgehalten** zijn nog steeds zeer laag in de monsters afkomstig van Loswal Noord (ruim 2 % in de gezeefde fractie <63µm). Het percentage organisch koolstof is sterk gestegen bij de nabijgelegen referentielocatie Ref-1, stroomopwaarts van het oude stortvak, van 2,1 % tot 4,7 %. Dit zou een aanwijzing kunnen zijn voor herstel. Het gehalte is hoog op de verder af gelegen referentielocatie Ref-4 en ligt ongeveer op het niveau van de standaardbodem (4,5 %).

Het is echter mogelijk dat de slibfractie op stortvak 53 onderschat is omdat één van de vijf monsternames van Vak 53C net naast de stortplaats genomen zou kunnen zijn aangezien het sedimentmonsters slechts 0,9 % fijn materiaal (<63 µm) bevat. De overige vier monsternames op Vak 53A, 53B, 53D en 53M tonen hogere gehalten, nl. 36,6 - 29,6 - 22,9 resp. 13,4 %. Hierdoor moeten de resultaten van Vak 53 met enige voorbehoud worden geïnterpreteerd.

Meer in detail kunnen de volgende opmerkingen gemaakt worden. In de sedimentmonsters van stortvak 53 werden **cadmiumgehalten** gemeten die een factor drie hoger lagen dan in de referentielocatie Ref-4 (gestandaardiseerd; 1,56 / 0,51 mg cadmium/kg sediment). Deze waarden zijn vergelijkbaar met de waarden van een jaar eerder. Op de nabij gelegen referentielocatie Ref-1 ligt het gehalte, 0,96 mg cadmium /kg sediment, gestandaardiseerd, tussen dat van het stortvak (1,56) en de verder af gelegen referentielocatie Ref-4 (0,51) in. Bij Ref-1 is het gehalte in één jaar met 30 % gedaald tot 0,96 mg cadmium/kg.

Voor **kwik** ligt het gehalte op Vak 53 bijna een factor 3 hoger dan op Ref-4 (0,53 / 0,20). Bij Vak 53 en Ref-4 is een daling van 20 % te zien ten opzichte van 1996. Bij de nabij gelegen referentielocatie Ref-1 ligt het gehalte weer tussen die van het stortvak (0,53) en Ref-4 (0,20) in en is daarmee 52 % gedaald in één jaar.

De som **PCB-gehalten** zijn in stortvak 53 ruim een factor drie hoger dan op de referentielocatie Ref-4 (36 / 10 ng/g). De daling op Vak 53 is gering ten opzichte van 1996, zo'n 14 %. Er is dus weinig herstel opgetreden. De daling op de nabij gelegen referentielocatie Ref-1 is groter, zo'n 44 %, nl. van 35, 6 naar 20,0 ng/g,

De gehalten van de **PAK's** zijn voor het laatst gebruikte stortvak van de oude Loswal Noord een factor anderhalf resp. twee en een half hoger dan op de nabij en de verder af gelegen referentielocatie (2.100 t.o.v. 1.088 en 787 ng ΣPAK/g sediment). Op het stortvak, Vak 53, is een daling van bijna 30 % opgetreden ten opzichte van het jaar ervoor. Bij de referentielocaties bedraagt deze daling 60 % resp. 16 %.

De **tributyltingehalten** op Loswal Noord zijn 2 tot 3 keer hoger dan op de niet beïnvloede locaties stroomopwaarts bij de nieuwe Loswal Noordwest en de referentielocatie Ref-4. Echter, het gehalte op de nabij gelegen referentielocatie Ref-1 is veel hoger dan op het stortvak, nl. 125 ng Sn /g sediment, en daarmee 9 keer hoger. Vergelijking met de referentielocatie Ref-1 is in dit geval echter lastig omdat hier in dit jaar slechts één monster is genomen. Vergeleken met 1996 is het gehalte een kleine 20 % gedaald. Echter, de verandering bij de referentielocatie Ref-4 is groter, zo'n 33 %. Dus aan deze daling kan niet al te veel gewicht worden toegekend.

Het aantonen van een dalende trend zou makkelijker gaan als slechts een beperkt deel van de toplaag bemonsterd was, zo'n 5 cm. Echter, met de boxcore wordt het sediment op een grotere diepte bemonsterd. Door biotransformatie en verwijdering van verontreinigd slib_{< 63 µm} door bioturbatie en deeltjestransport vindt in de toplaag de sterkste daling plaats. Deze redenering gaat uit van het ontbreken van menging. Er zijn echter metingen die aangetoond hebben dat het sediment tot een diepte van 25 - 40 cm homogeen gemengd is door golfwerking.

Resultaten 1998, de t₂ situatie

De volgende waarnemingen zijn gedaan op Vak 53 van de oude Loswal Noord, het vak waar het laatst gestort is in 1996.

Het **slibgehalte** (fractie < 63 µm) is op het stortvak 53 veel hoger dan op de referentielocaties Ref-1 en Ref-4, nl. zo'n 16 tot 10 keer hoger. Sinds het staken van het storten is het slibgehalte op Vak 53 gehalveerd tot 10,6 %.

Het percentage **organisch koolstof** is op Vak 53 sinds 1996 op het lage niveau van ongeveer 2 % gebleven. Dit is de helft van de referentielocatie Ref-4 (Figuur 10-1).

Het **cadmiumgehalte** is onveranderd hoog gebleven op het stortvak zodat er dus geen sprake is van herstel (Figuur 10-1). Het kwikgehalte bleef gelijk op het iets lagere niveau van 1997.

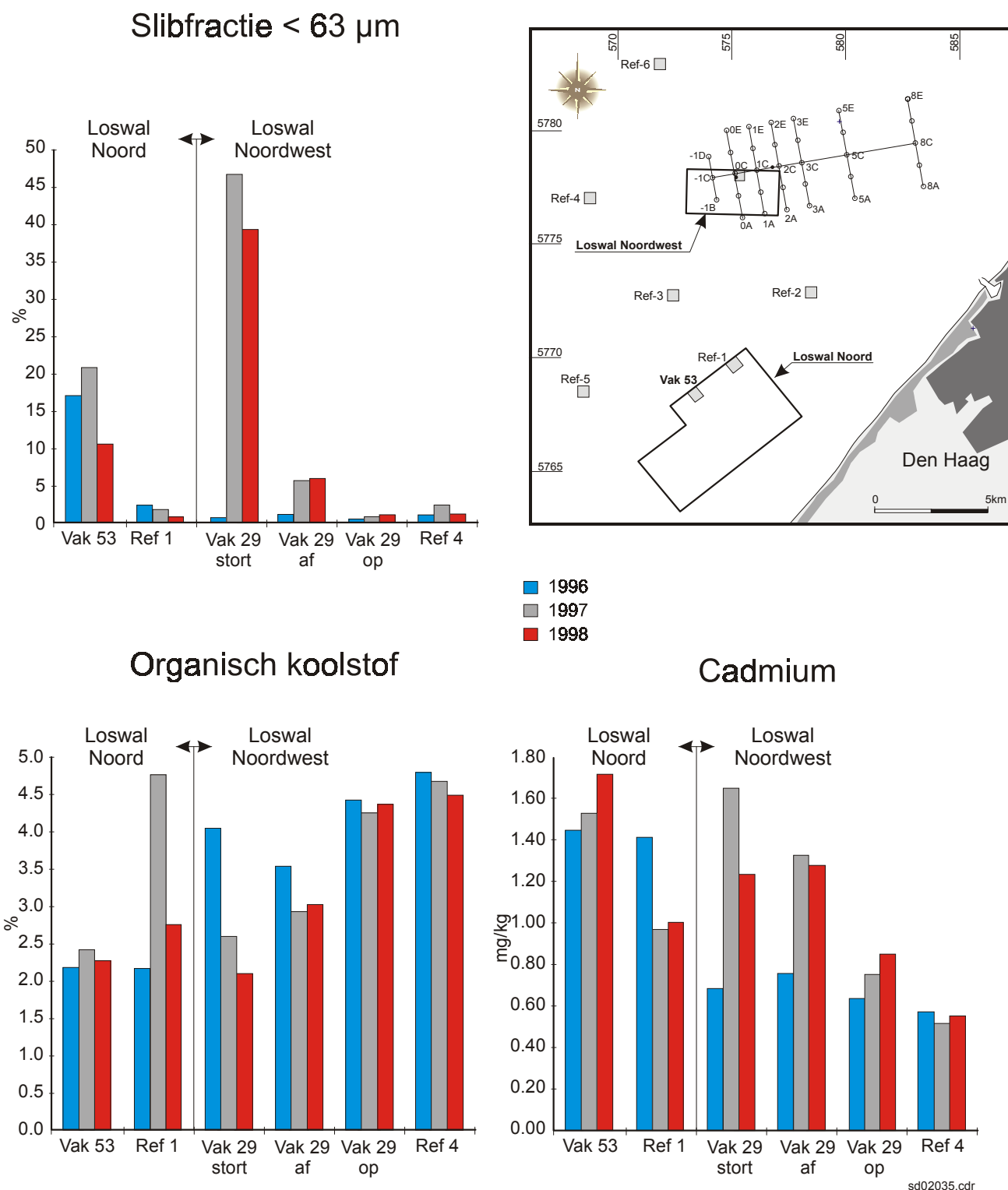
Voor de overige metalen zijn ook geen verandering opgetreden.

Voor **PCB's** is geen daling waar te nemen bij locatie Vak 53 van de oude Loswal in 1998; het gehalte is zelfs iets gestegen ten opzichte van de voorafgaande jaren (Figuur 10-1).

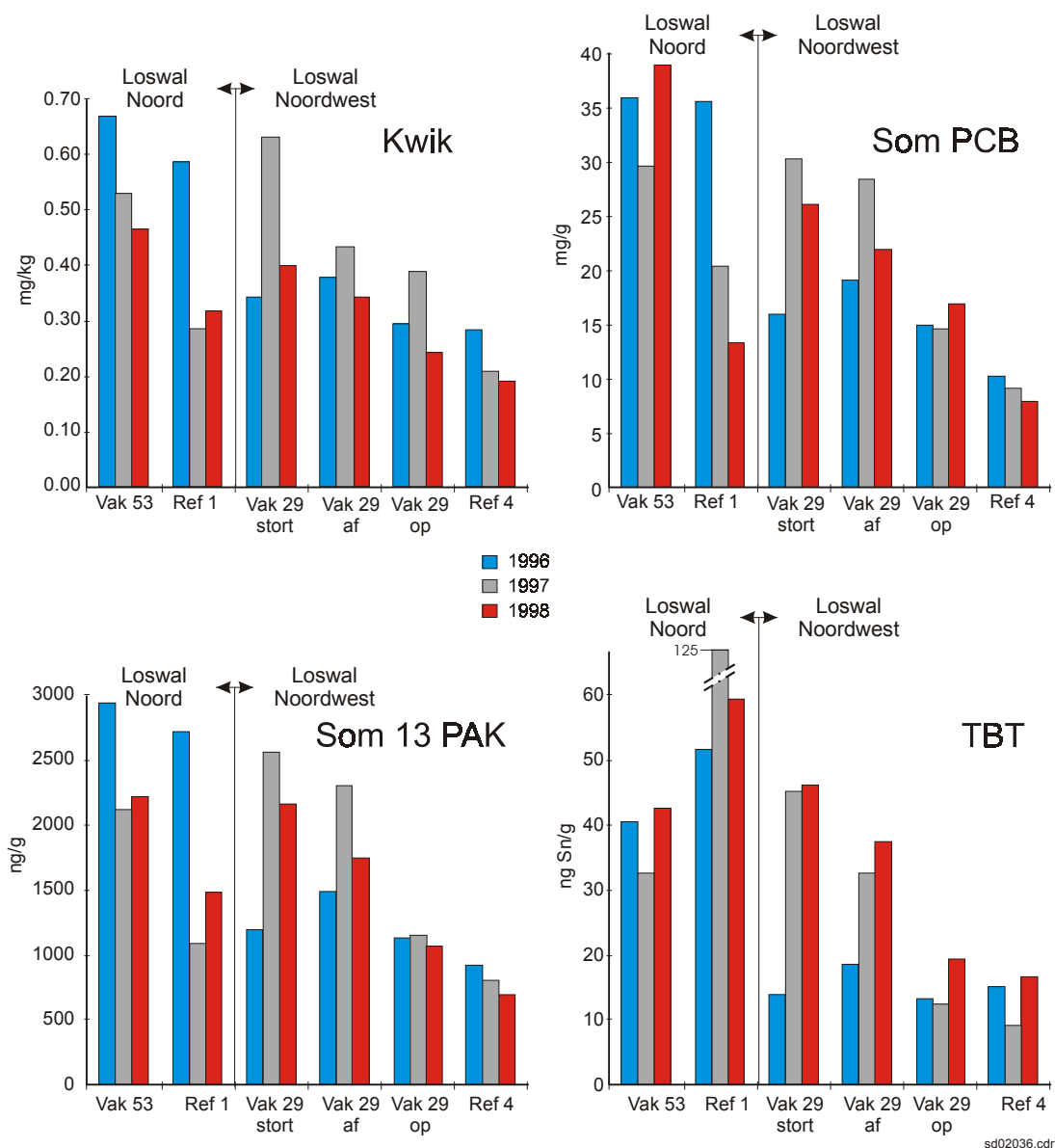
De lichte daling die de **PAK's** lieten zien in 1997 heeft zich niet doorgezet in 1998 (Figuur 10-1).

Bij Vak 53 zijn de **tributyltingehalten** twee jaar na dato nog steeds op hetzelfde niveau als voor de buitengebruikstelling (Figuur 10-1).

Figuur 10-2 Slibfractie, organisch koolstof en microverontreinigingen



(Figuur 10-2) Slibfractie, organisch koolstof en microverontreinigingen (vervolg)



Sediment karakteristieken, gehalten zware metalen en organische microverontreinigingen in 1996, 1997 en 1998.

Gemiddelden per gebied drooggewicht, gestandaardiseerd. Gehaltes zoals aangegeven.

Links boven: Slibfractie en organisch koolstof. Gemiddelden per gebied in gewichtsprocenten.

Slibfractie: Fractie fijn materiaal <63µm bepaald uit zeefopbrengst

Organisch koolstof: Gehalte organische koolstof (elementair C) in zeeffractie

De waarde van Ref-1 in 1997 voor tributyltin bedraagt 125 ng/g (figuur niet op schaal)

Vak 53: vak waar het laatst gestort is in 1996 op Loswal Noord; **Ref-1**: referentiegebied; **Vak 29 stort**: stortvak op Loswal Noordwest; **Ref-4**: referentiegebied 4 (zie Figuur 10-1); **Vak 29 af**: locaties stroomafwaarts ten opzichte van stortvak Loswal Noordwest; **Vak 29 op**: locaties stroomopwaarts ten opzichte van stortvak Loswal Noordwest (zie Figuur 10-3)

sd02035+036

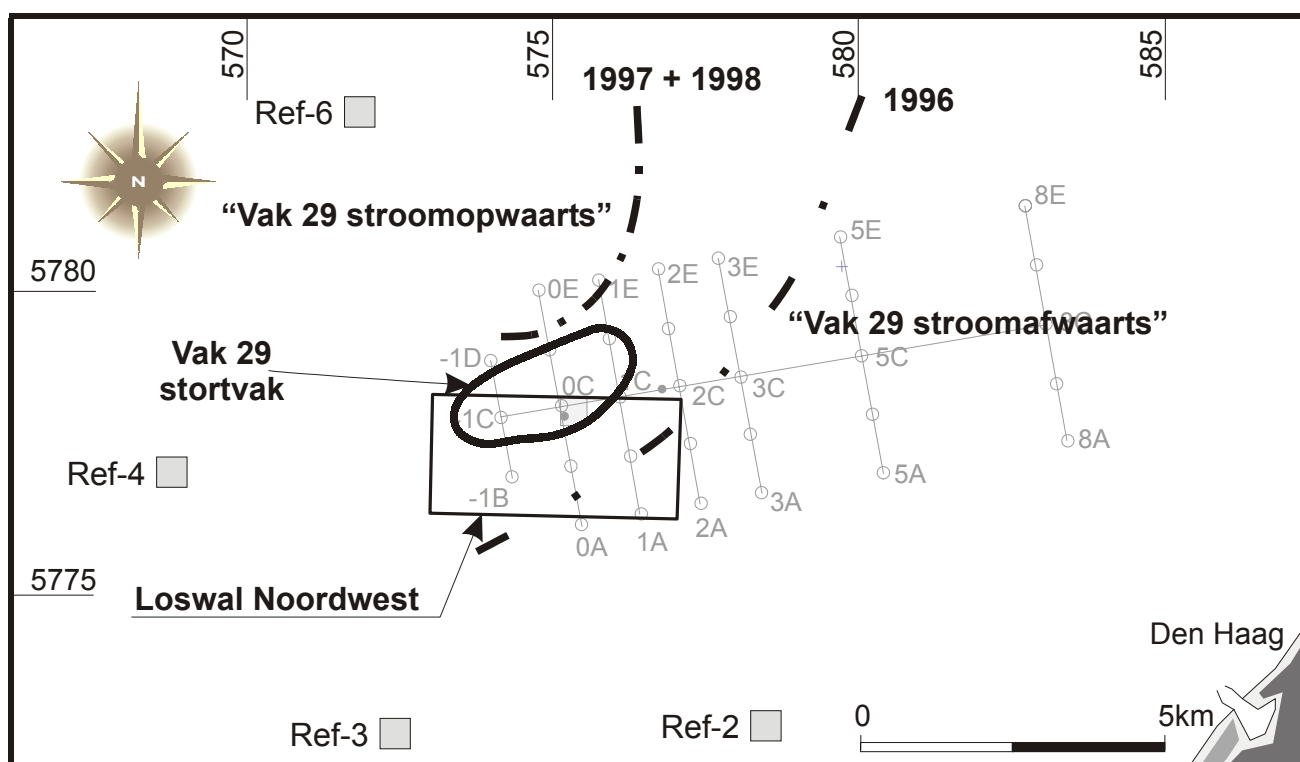
10.3 Resultaten verontreiniging sediment op Loswal Noordwest

Hieronder staan de resultaten van het onderzoek naar het voorkomen van verontreinigingen op de nieuwe Loswal Noordwest. Dit onderzoek is uitgevoerd door het Instituut voor Milieuvraagstukken (IVM), zoals beschreven in bijlage 14.

Resultaten 1996

De korrelgrootteverdeling en de gehalten aan microverontreiniging zijn in het sediment van de nieuwe Loswal Noordwest bepaald. De resultaten zijn als volgt. Op grond van deze metingen zijn de meetpunten van Loswal Noordwest voor 1996 onderverdeeld in twee groepen (zie Tabel 10-1). Hierbij is gekeken naar het percentage bodemmateriaal dat kleiner is dan $63\mu\text{m}$, het slib $< 63\mu\text{m}$ (zeefopbrengst) en het organisch koolstofgehalte in deze fractie $< 63\mu\text{m}$. Er zijn twee gebieden te onderscheiden: stroomopwaarts, dus aan de zeezijde en stroomafwaarts dus aan de landzijde, in de richting van de reststroom. De verdeling staat in Tabel 10-1 en Figuur 10-3.

Figuur 10-3 Monsterlocaties stroomopwaarts en stroomafwaarts



sd02034.cdr

sd02034

Tabel 10-1 Monsterlocaties stroomopwaarts en stroomafwaarts

Groep	Jaar	Locaties
Stroomopwaarts (zeezijde)	1996	0-C, 0-E, 1-C, 1-E, 2-C, 2-E en 3-E
Stroomafwaarts (kustzijde)	1996	0-A, 1-A, 2-A, 3-A, 3-C, 5-A, 5-C, 5-E en 8-C
Vak 29 Stortgebied	1997 en 1998	0-C, 1-C
Vak 29 Stroomopwaarts (zeezijde)	1997 en 1998	0-E, 1-E
Vak 29 Stroomafwaarts (kustzijde)	1997 en 1998	0-A, 1-A, 2-A, 3-A, 3-C, 5-A, 5-C, 5-E en 8-C 2-C, 2-E, 3-E

Onderverdeling monsterlocaties Loswal Noordwest voor de jaren 1996, 1997 en 1998 op grond van het percentage materiaal kleiner dan 63 μm en het organisch koolstofgehalte in deze fractie < 63 μm .

Voordat baggerspecie gestort werd op Loswal Noordwest waren de gehalten aan slib (< 63 μm), organisch koolstof, zware metalen en microverontreinigingen ruwweg gelijk aan die van de nabijgelegen referentielocatie Ref-4.

De **oliegehaltenes** waren in 1996 hoog bij Loswal Noordwest. Deze verhoging is mogelijkwerwijs niet door de stortingen veroorzaakt maar door de scheepvaartroutes aangezien de oliegehaltenes bij de oude Loswal Noord opvallend laag waren.

Resultaten 1997

De monsterpunten van de nieuwe Loswal Noordwest zijn in 1997 onderverdeeld in drie groepen op grond van het slibgehalte en het percentage organische koolstof, zoals aangegeven in Tabel 10-1:

- 1) Vak 29, de stortplaats
 - 2) Vak 29, stroomafwaarts ten opzichte van de stortplaats, dus ten zuiden, oosten en noordoosten
 - 3) Vak 29, stroomopwaarts ten opzichte van de stortplaats, dus ten noorden
- Bij de beschrijving van de resultaten zullen de gebieden dan ook als zodanig worden aangeduid.

Het bleek dat in 1997 twee punten zodanige overeenkomsten vertonen dat ze beide tot het stortgebied worden gerekend (0-C en 1-C) en dat twee punten niet of nauwelijks meer slib < 63 μm vertoonden dan voor de ingebruikneming van Loswal Noordwest (0-E en 1-E).

In 1997, het eerste jaar na aanvang van de stortingen van baggerspecie, blijkt uit de slibgehaltenes dat de monsterpunten Vak 29-0C en Vak 29-1C binnen of direct naast het nieuwe stortgebied vallen. Het slibgehalte, de fractie kleiner dan 63 μm , bedraagt bijna 50 %, gemeten als zeefopbrengst. Dit is bijna 80 keer meer dan in 1996. Echter ook de punten verder naar het zuiden, oosten en noordoosten van Vak 29, de vakken stroomafwaarts, zijn veel slibrijker geworden, zo'n 6 keer hoger. De toename bedraagt van gemiddeld 0,9 % in 1996 tot 5,3 % in 1997, zie Figuur 10-2. Hieruit kan geconcludeerd worden dat in dit gebied het fijne materiaal grotendeels één en dezelfde oorsprong heeft. Dit wordt bevestigd door de geringe verschillen in contaminantgehaltenes zoals bepaald met chemische analyses.

Ten noorden van de nieuwe Loswal Noordwest blijkt het slibgehalte onveranderd laag op de locaties 0E en 1E. Dit wijst er op dat deze locaties stroomopwaarts liggen ten opzichte van Loswal Noordwest en veel minder beïnvloed worden door baggerstort.

De **organische koolstofpercentages** in de gezeefde fractie zijn bij het stortvak 29 lager dan bij de referentielocatie Ref-4, nl. 45 % lager en bij de vakken stroomafwaarts 38 % lager (Figuur 10-2).

De verlaging op Vak 29 ten opzichte van 1996 bedraagt 37 %, wat duidt op ecologische achteruitgang.

Het **cadmiumgehalte** in de fractie kleiner dan 63 µm is een jaar na aanvang van het storten van op het stortvak Vak 29 meer dan drie keer zo hoog als op de referentielocatie Ref-4, nl. 1,65 resp. 0,51 µg/ g sediment. Het gehalte op het vak stroomafwaarts bedraagt 1,32 µg /g en is daarmee twee en een half keer zo hoog als de op de referentielocatie, terwijl stroomopwaarts nauwelijks veranderingen waren te zien (Figuur 10-2).

De toename op het stortvak en het vak stroomafwaarts bedroeg in 1996 ten opzichte van 1997 resp. 143 % en 78 %. Het cadmiumgehalte in de referentiegebieden is ongeveer gelijk aan dat in 1996.

Het **kwikgehalte** in de fractie kleiner dan 63 µm is een jaar na aanvang van het storten van op het stortvak Vak 29 meer dan drie keer zo hoog als op de referentielocatie Ref-4, nl. 0,63 resp. 0,20 µg/ g sediment. Het gehalte op het vak stroomafwaarts bedraagt 0,43 µg /g en is daarmee twee keer zo hoog als de op de referentielocatie, terwijl stroomopwaarts nauwelijks veranderingen waren te zien (Figuur 10-2).

De toename op het stortvak en het vak stroomafwaarts bedroeg in 1996 ten opzichte van 1997 resp. 85 % en 13 %. Ook het gehalte in het vak stroomopwaarts is met 34 % toegenomen. Het kwikgehalte in de referentiegebieden is, verassend, 30 % lager dan in 1996.

De **Σ₇PCB-gehalten** zijn in 1997 op de nieuwe Loswal Noordwest drie keer hoger ten opzichte de referentielocatie Ref-4, nl. 30 resp. 9,3 ng/g sediment. Het gehalte op het vak stroomafwaarts is bijna even hoog als op het stortvak, nl. 28 ng/g.

Ten opzichte van 1996 vindt bij het stortvak zelf bijna een verdubbeling plaats van 15,6 tot 30 ng/g, en bij de vakken stroomafwaarts een toename van 50 %, nl. van 18,8 naar 28 ng/g. Bij de vakken stroomopwaarts vindt nauwelijks een verandering plaats ten opzichte van 1996 (zie Figuur 10-2).

De Σ₇PCB-gehalten in de referentiegebieden zijn ongeveer gelijk zijn aan die in 1996.

De **PAK-gehalten** vertonen een grotendeels vergelijkbare trend, nl. een duidelijke verhoging bij Vak 29, na normering op organisch stof. Het PAK-gehalte op het stortvak (2.569 ng/g) is ruim drie keer hoger dan op de referentielocatie Ref-4 (787 ng/g). Het gehalte op het vak stroomafwaarts (2.306 ng/g) is bijna drie keer hoger dan op de referentie. Het gehalte op het stortvak is ten opzichte van 1996 ruim verdubbeld (van 1.200 tot 2.569) en op het vak stroomafwaarts 54 % toegenomen (van 1.500 tot 2.306).

De PAK-gehalten op de referentielocaties komen overeen met die van 1996, maar bij Ref-4 lijkt sprake van een geringe daling van 16 %.

De **tributyltingehalten** zijn in 1997 op Vak 29 ruim 5 keer zo hoog, ten opzichte van 1996, als in de referentielocatie Ref-4, nl. 40,7 ten opzichte van 8,0 ng/g. Het vak stroomafwaarts is met 29,0 ng/g ruim drie keer zo hoog. De toename in een jaar na aanvang van het storten is op het stortvak ruim tweehonderd procent, nl. van 12,4 naar 40,7). De toename van het vak

stroomafwaarts is 73 %, van 16,7 naar 29 %. Op het vak stroomopwaarts deden zich geen veranderingen voor.

De tributyltingehalten op de referentielocatie Ref-4 zijn gedaald van 13,5 ng Sn/g sediment in 1996 tot 8 ng Sn /g in 1997, een daling met 40 %.

Resultaten 1998

Voor de aanvang van de stortingen in 1996 werd op vrijwel alle punten rond Vak 29 van de nieuwe Loswal Noordwest een laag **slibpercentage** (fractie < 63 µm) gevonden, meestal minder dan 1 % in zeeffractie kleiner dan 63 µm. Sinds de stortingen van de baggerspecie zijn de korrelgrootteverdelingen drastisch veranderd zoals te zien in Figuur 10-2. Op de meetlocaties zelf op het stortvak (0C en 1C) is de toename in slibgehalte zeer groot, maar ook aanzienlijk in de vakken stroomafwaarts. Er traden nauwelijks wijzigingen op in de vakken stroomopwaarts en op de referentielocatie Ref-4, zodat de gebiedsindeling van 1997 in 1998 is gehandhaafd.

Op het stortvak Vak 29 was het **cadmiumgehalte** (gestandaardiseerd) in 1998 bijna 30 % lager dan in 1997 maar nog steeds verdubbeld ten opzichte van de uitgangssituatie in 1996 (Figuur 10-2). De gehalten zijn in 1998, 1997 en 1996 resp. 1,22 , 1,65 en 0,68 µg/g.

In de vakken stroomafwaarts trad geen verandering op in het hoge niveau van 1997 (1,28 µg/g), terwijl in de vakken stroomopwaarts een heel licht stijgende trend te zien is van 0,74 naar 0,86 µg/g.

Bij **kwik** is in 1998 op het stortvak het gehalte (0,40 µg/g) nog maar nauwelijks verhoogd ten opzichte van de uitgangssituatie in 1996 (0,34 µg/g). Bij de vakken stroomopwaarts en stroomafwaarts een daling te zien van zo'n 20 % ten opzichte van 1997, (resp. van 0,43 tot 0,34 en van 0,39 tot 0,24) . Bij de referentielocatie Ref-4 is het gehalte nagenoeg gelijk gebleven (0,18).

Bij de overige zware metalen zijn slechts geringe verschillen waar te nemen tussen de verschillende gebieden en is van een duidelijke geografische trend geen sprake.

Voor de som van **7 PCB-congeneren**, gestandaardiseerd, is het gehalte in 1998 op het stortvak iets gedaald (12 %; van 30 naar 26 ng/g) ten opzichte van 1997, maar nog steeds hoger (26 t.o.v. 16 ng/g) dan in 1996. De gehalten bij de vakken stroomafwaarts zijn iets afgenomen (van 28 naar 22 ng/g) en stroomopwaarts iets toegenomen (van 14 naar 16 ng/g) t.o.v. 1997 zodat ze in 1998 iets boven niveau van 1996 liggen. Ook op referentielocatie Ref-4 is een geringe daling te zien (van 9,3 naar 7,6 ng/g). Zie hiervoor Figuur 10-2.

De gehalten **PAK** zijn in 1998 op het stortvak Vak 29 een factor 3 verhoogd ten opzichte van de referentielocatie Ref-4, gebaseerd op gestandaardiseerde gehalten, nl. 2.175 t.o.v. 713 ng/g. Op de vakken stroomafwaarts is een verhoging van 150 % zichtbaar ten opzichte van het referentiegebied Ref-4, nl. 1.763 t.o.v. 713 ng/g.

Op het stortvak zelf is het gehalte met 15 % gedaald ten opzichte van 1997, van 2.569 naar 2.175 ng/g. Zie voor de details Figuur 10-2.

De PAK-gehalten bij referentielocatie Ref-4 en de vakken stroomopwaarts zijn in 1998 ongeveer gelijk aan die van 1996 en 1997.

Het **tributyltingehalte** op het stortvak Vak 29 is in 1998 bijna drie keer hoger dan op de referentielocatie, resp. 41,3 en 14,7 ng/g en op de vakken stroomafwaarts is sprake van een verdubbeling, 33,7 t.o.v. 14,7 ng/g.

Het gehalte op het stortvak is in 1998 is nagenoeg gelijk aan die van 1997 (41,3 ng/g), terwijl ook in de vakken stroomafwaarts een slechts geringe stijging valt te zien van 29,0 naar 33,7 ng/g. De variaties bij de referentielocatie Ref-4 over de drie gemeten jaren is zelfs groter en varieert tussen 8 en 14,7 ng/g.

De toename op het stortvak en de vakken stroomafwaarts bedraagt vergeleken met de uitgangssituatie in 1996 een factor 4 resp. 2 in 1998. Zie ook Figuur 10-2.

Vergelijking met de Uniforme Gehalte Toets

Alleen baggerspecie uit de baggervakken die voldoen aan de milieunorm, Uniforme Gehalte Toets (UGT) mogen in zee worden gestort. In onderstaande tabel (Tabel 10-2) wordt een vergelijking gemaakt tussen de norm en de maximaal gemeten gehalte op Loswal Noord en Noordwest.

Tabel 10-2 Loswallen voldoen aan de milieunorm

Stofnaam	Uniforme Gehalte Toets	Maximale gehalte op Loswal Noord 1996-1999	% van UGT	Maximale gehalte op Loswal Noordwest 1996-1999	% van UGT
	µg/g	µg/g	%	µg/g	%
Cadmium	4	1,71	43	1,65	41
Kwik	1,2	0,66	55	0,63	53
Som PCB	0,21	36,9	18	30,0	14
Som 16 PAK	10	2,94	29	2,57	26

Vergelijking tussen de Uniforme Gehalte Toets (UGT) en de maximale gehalten van de betreffende stof gemeten op Loswal Noord en Loswal Noordwest. Gehaltes op de loswallen ook gegeven als percentage van de UGT. Norm voor Som PCB en PAK berekend door die van de afzonderlijke congenen op te tellen. Alle gehalten omgerekend naar standaardbodem.

Uit de gemeten maximale gehalten blijkt dat de gehalten verontreinigde stoffen op de stortwallen voldoen aan de Uniforme Gehalte Toets. Aan de milieuregels is dus voldaan.

10.4 Conclusie en discussie

Loswal Noord

Van 1996 tot en met 1998 zijn een aantal stoffen in de bodem op en rond de oude loswal Noord onderzocht. Het storten van licht verontreinigde baggerspecie uit de haven van Rotterdam op de dynamische Loswal Noord resulteert in een beperkte toename van de gehalte van microverontreinigingen in het sediment, variërend van een factor 2 tot 5.

Het slibgehalte (fractie < 63 µm) was ruim 4x hoger vergeleken met de referentielocaties, terwijl het percentage organisch koolstof gehalveerd was. Op Loswal Noord waren de gehalten aan microverontreinigingen in het sediment in het laatste jaar van de stortingen (1996) hoger dan in de omgeving: cadmium en kwik 2x, PCB 3-5x, PAK 2-3x en TBT 3x. De metalen lood, koper, zink, chroom en nikkel, vertoonden geen verhoogde gehalten ten opzichte van de referentielocatie. Alle gehalten zijn gemeten in de fijne fractie (< 63 µm) en gestandaardiseerd. Het oliegehalte is laag.

In de twee opeenvolgende jaren na het staken van de stortingen is een geringe verbetering van verontreinigingen in sediment opgemerkt. Het slibgehalte halveerde, maar het gehalte organisch koolstof bleef gelijk. Er werd nauwelijks herstel gezien van de contaminantenlast in sediment. De mate van verontreiniging met PAK en kwik is tussen 1996 en 1998 verbeterd maar niet sterk significant. Het kwikgehalte in het slib_{<63 µm} daalde met 30 %, maar een overeenkomstige daling werd ook in de referentielocaties Ref-1 en Ref-4 gezien, resp. 46 % en 36 %. Blijkbaar zijn dit geen achtergrondwaarden.

De chemische kwaliteit van het slib_{<63 µm} is 2 jaar na het beëindigen van de stort nog niet vergelijkbaar met de achtergrondniveaus. Het verschil in gehalten tussen het stortvak en de omgeving is echter beperkt (factor 2 tot 5).

Uit deze resultaten volgt dat de baggerspecie, die in de Noordzee gestort mag worden (de klassen I en II die voldoen aan de Uniforme Gehalte Toets), weinig bijdraagt aan de verontreinigingsgraad van de Noordzee. Maar ook is te zien dat deze verhoging van de verontreinigingsgraad niet binnen twee jaar verdwenen is.

Gezien de geringe afname van de verontreinigingsgraad is dit onderzoek naar de verontreiniging in het sediment niet voortgezet na 1998, terwijl bovendien alle gehalten onder Uniforme Gehalte Toets zaten.

De resultaten van de oliegehalten duiden er op dat olieverontreinigingen in het gebied slechts ten dele veroorzaakt worden door het storten van licht verontreinigde baggerspecie. Vermoedelijk is een belangrijk deel het resultaat van operationele en illegale emissies van schepen gezien de nabijheid van druk bevaren scheepvaartroutes. Deze extra input wordt in een gebied als Vak 53 van Loswal Noord verdund over een grote hoeveelheid slib, maar veroorzaakt in minder slibrijke gebieden zoals Referentie-1 en Loswal Noordwest, kustzijde, een significante verhoging van het oliegehalte in de fijne fractie.

Aangezien de gehalten aan contaminanten onder de norm (UGT) liggen, is het niet waarschijnlijk dat de bodemorganismen negatieve effecten van deze contaminanten zullen ondervinden.

Loswal Noordwest

Voor de aanvang van de stortingen in 1996 op de nieuwe Loswal Noordwest is deze loswal niet te onderscheiden van de omgeving wat betreft bodemsamenstelling en stoffenniveau.

In 1997, een jaar na de t_0 metingen (1996), is de concentratie in het sediment van Loswal Noordwest aanzienlijk toegenomen van slib_{<63 µm} (80x hoger), cadmium, kwik, PCB en PAK (2x), en TBT (3x hoger). De gemiddelde gehalten lood, koper, zink, chroom en nikkel verschillen na normering niet veel tussen de belaste gebieden en de referentiegebieden. De uitstraling is ongeveer 5 km. Na een jaar storten is hetzelfde niveau bereikt als van de oude Loswal Noord in Vak 53 in het laatste stortjaar.

In 1998, twee jaar na de ingebruikneming, zijn de PCB, PAK en TBT gehalten niet verder toegenomen en lijkt een zekere stabilisatie op te treden. In geval van cadmium en kwik zijn de gevonden gehalten zelfs lager dan in 1997.

De locaties stroomafwaarts van Loswal Noordwest worden sterk beïnvloed door de aanvoer van licht verontreinigd slib, waarbij de reeds voor 1996 aanwezige hoeveelheid slib verwaarloosbaar lijkt. Hierdoor zijn in de gebieden

stroomafwaarts de contaminantgehaltenes (per kg fijn slib) in vrijwel dezelfde mate gestegen als bij Loswal Noordwest zelf. De sedimentfracties in het gebied 'stroomopwaarts' van het stortvak vertoonden geen verhoogde gehaltenes.

Eén jaar na aanvang van het storten zijn de concentraties slib_{< 63 µm} en verontreinigende stoffen verhoogd, maar de situatie lijkt nog niet gestabiliseerd. Omdat echter de verschillen met de omgeving vrij gering zijn en er op grond van het onderzoek op Loswal Noord met de gebruikte meettechnieken ook geen relevante ecotoxicologische effecten te verwachten zijn, zijn de metingen van de verontreinigingsgraad na 1998 niet voortgezet. De verontreinigingsgraad is voorts sterk met slibhoeveelheden gecorreleerd. Het slibgehalte wordt wel gemonitord.

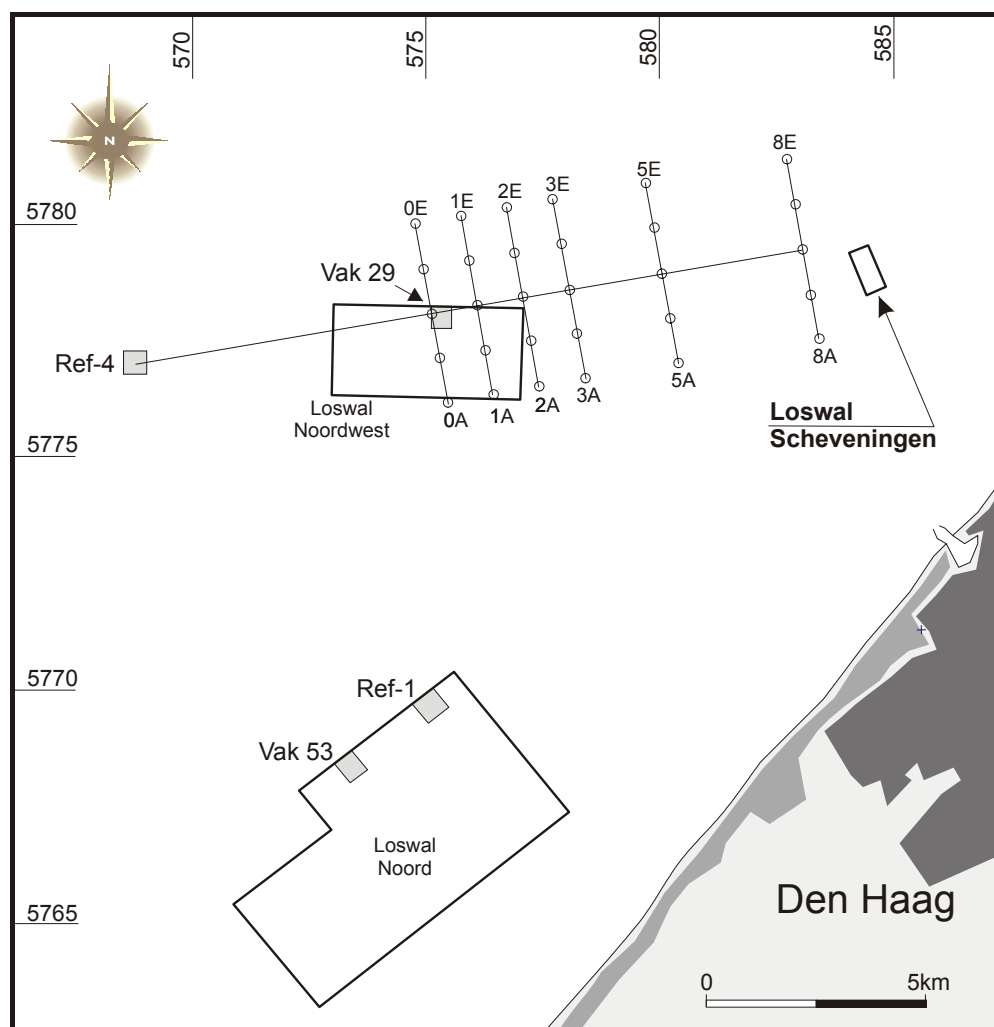
Aangezien de gehaltenes aan contaminanten onder de norm (UGT) liggen, is het niet waarschijnlijk dat de bodemorganismen negatieve effecten van deze contaminanten zullen ondervinden.

11 Ecotoxicologische effecten van gestorte baggerspecie

11.1 Uitvoering ecotoxicologische metingen op Loswal Noord

Er zijn metingen verricht aan zeesterren en er zijn bioassays met sediment uitgevoerd. Hiertoe zijn er zeesterren verzameld op Loswal Noord en zijn er sedimentmonsters genomen, zie voor locaties Figuur 11-1. De beschrijving van de uitvoering van het onderzoek staat in bijlage 15.

Figuur 11-1 Monitoringslocaties ecotoxicologische metingen



sd02032.cdr
sd02032

11.2 Resultaten ecotoxicologische effecten rond Loswal Noord

In juli 1996 zijn ecotoxicologische testen uitgevoerd met het gestorte sediment van de oude Loswal Noord. De testen betreffen de bioaccumulatie en biomarkers van zeesterren en de pathologie van platvis.

De resultaten van deze staan in Tabel 11-1 waar ook een vergelijking met de referentielocatie Ref-4. kan worden gemaakt.

In het weefsel van de zeester van de Loswal Noord zijn de gehalten kwik, lood en zink een factor 1,5 hoger en PCB's een factor 2 dan die van de referentielocatie (Ref-4). De andere parameters toonden geen groot verschil. De referentielocatie Ref-4 ligt op 10 km ten noord-noordwesten van Loswal Noord en kan als een relatief onbeïnvloede referentie beschouwd worden vanwege de grote afstand en omdat hij niet in de richting van de reststroom ligt.

Geen nadelige effecten werden waargenomen in de sedimenttesten met de zeeëgel *Echinocardium cordatum* en de amfipode *Corophium volutator* en in de poriewatertest met *Brachionus plicatilis*.

De overleving van de amfipode *Bathyporeia sarsi* op het stortvak was lager (90 %) dan op de referentielocatie (95 %) maar aangezien dit verschil buiten de betrouwbaarheidsmarge valt, wordt de uitkomst niet als significant beschouwd.

In de zeesterren die op de Loswal Noord verzameld waren, is geen significante toename van inductie² van cytochroom P450 aangetroffen, nl. slecht 7 %. Daarentegen waren de CALUX-DRE concentraties twee keer zo hoog waren als in weefsels van de referentielocatie (Ref-4). Deze parameter geeft in dit geval waarschijnlijk de verdubbeling van de PCB-gehalten aan. Hoewel de -DRE concentraties verdubbeld zijn, blijven de absolute waarden laag.

De inductie van benzo-a-pyreen-hydroxylase in platvis en de remming van acetylcholinesterase was niet significant afwijkend van de referentielocatie (Ref-4). Ook hier geldt dat de absolute waarden laag zijn.

Ook de F-waarde van de DNA-integriteit was niet verhoogd op het stortvak. Dit betekent dat er geen DNA beschadigingen zijn opgetreden.

Geen levertumoren werden aangetroffen in de platvis *Limanda limanda* maar wel kleinere huidbeschadigingen bij 2 % van de vissen van Loswal Noord.

Op grond hiervan zijn deze ecotoxicologische metingen in de volgende jaren niet herhaald want de effecten zullen in de loop van de tijd alleen maar minder worden doordat de belastende stoffen uitspoelen en/of vermengd worden met schoner materiaal. En als op Loswal Noord na 35 jaar storten geen effecten meetbaar zijn, zal dit zeker niet het geval zijn op Loswal Noordwest. Dus ook hier zijn geen metingen verricht.

² Inductie houdt de extra aanmaak in van een eiwit of enzym, veroorzaakt door externe factoren.

Tabel 11-1 Ecotoxicologie Loswal Noord

Test	Eenheid	Oude Loswal Noord	Referentielocatie Ref-4	Vershil %
Verontreinigingen in zeesterren				
cadmium	µg / g natgewicht	0,4	0,6	-33
kwik	µg / g natgewicht	0,3	0,2	50
lood	µg / g natgewicht	0,5	0,3	67
koper	µg / g natgewicht	15	13	15
chroom	µg / g natgewicht	< det. grens	< det. grens	?
nikkel	µg / g natgewicht	< det. grens	< det. grens	?
zink	µg / g natgewicht	159	97	64
PCB, som van zeven congenen	ng / g natgewicht	83	43	93
PAK, som 16 EPA congenen	ng / g natgewicht	< det. grens	< det. grens	?
Tribytultin	ng / g natgewicht	5	5	0,0
Trifenyultin	ng / g natgewicht	24	21	14
Bioassays met sediment				
<i>Echinocardium cordatum</i>	percentage overleven (na 14 dagen)	100	100	0
<i>Corophium volutator</i>	percentage overleven	94	97	-3
<i>Bathyporeia sarsi</i>	percentage overleven	90	95	-5
<i>Brachionus plicatilis</i>	percentage overleven	100	100	0
Visziekte				
lever tumoren	percentage aangetaste vis	0	0	0
huidbeschadigingen	percentage aangetaste vis	2	0	?
Biomarkers in zeesterren				
Cytochroom P450	pmol / mg eiwit	81	76	7
Calux-DRE	pg TEQ / g vet	223	122	83
DNA integriteit	F-waarde	0,27	0,32	-16
Acetylcholine esterase remmer	nmol / mg eiwit.min	11	5	120
Benzo-a-pyreen hydroxylase	pmol / nmol cytP450.min	10	11	-9

Overzicht van de ecotoxicologische situatie op de oude Loswal Noord in juli/augustus 1996, vergeleken met de referentielocatie Ref-4.

Het 'verschil' in kolom 5 is als volgt berekend: $(([\text{Loswal Noord}] - [\text{Referentie}]) / [\text{Referentie}]) * 100$

11.3 Discussie

Voor de oude Loswal Noord werden ecotoxiciteitstesten uitgevoerd in 1996. De ecotoxicologische metingen laten met name verschillen zien in blootstellingsgerelateerde parameters (bioaccumulatie, CALUX). In de effectgerelateerde parameters worden geen verschillen gevonden. Om deze reden lijkt het niet waarschijnlijk dat dergelijke stortingen sterk nadelige effecten hebben veroorzaakt op de benthische fauna wat betreft soortenrijkdom, dichtheid en biomassa als de vergelijking wordt gemaakt met de invloed van scheepvaart, atmosferische depositie en input van rivieren op de plaatselijke achtergrond. Op de Loswal Noord waren de weefselgehalten van microverontreinigingen in zeesterren slechts een factor $\approx 1,5$ hoger. Verder werden er geen effecten van de biomarkers in zeesterren, van sedimentgiftigheid of pathologie van vissen waargenomen. Alleen de biomarker CALUX-DRE was twee keer zo hoog, wat een afspiegeling vormt van het gehalte PCB wat ook twee keer zo hoog was op het stortvak vergeleken met de referentielocatie.

Opvallend is dus het ontbreken van nadelige effecten van het storten van licht verontreinigd sediment op het ecosysteem rond een loswal die vele decennia is gebruikt. Dit resultaat is echter in lijn met de bevindingen van de chemische verontreiniging en bevestigt de conclusie dat het storten van licht verontreinigde havenspecie geen nadelige ecotoxicologische effecten heeft op het functioneren van het ecosysteem.

Op Loswal Noord is in de uitgangssituatie in 1996 geen verschil aantoonbaar tussen de loswal en referentie wat betreft ecotoxicologische effecten. De opmerkelijke conclusie is dat er na 35 jaar storten geen aantoonbaar nadelige effecten op het ecosysteem via bio-assays, die in 1996 beschikbaar waren, zijn aan te tonen.

Het is natuurlijk mogelijk dat met nieuwe technieken die later beschikbaar zijn gekomen, wel effecten zouden zijn aangetoond. Er zijn geen redenen gevonden om dit onderzoek te herhalen.

Gezien de beperkte omvang van de geobserveerde effecten, de beperkte set beschikbare testen en de geringe verhoging van de gehalten in sediment van een aantal onderzochte verbindingen, werd het niet zinvol geacht de ecotoxicologische effecten nog verder te onderzoeken na het eenmalige onderzoek in 1996.

Er is geen ecotoxicologisch onderzoek uitgevoerd op de nieuwe Loswal Noordwest omdat op de oude Loswal Noord na 35 jaar storten van baggerspecie geen effecten werden gevonden. Noch de contaminantenlast in zeesterweefsel, noch de ecotoxicologische effecten bleken op loswal Noord significant te verschillen van de referentielocaties.

12 Effecten op bodemecosysteem

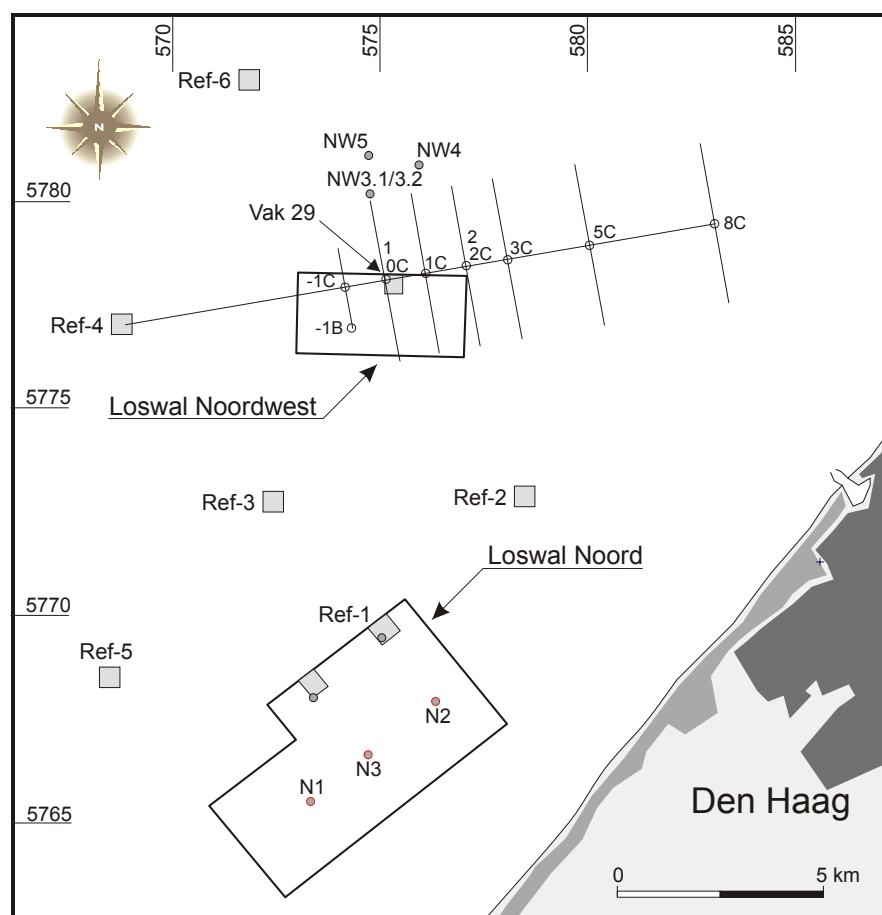
Dit hoofdstuk gaat in op de resultaten van het onderzoek naar de effecten van het storten van baggerspecie op het bodemleven (§ 12.1 en 12.2) en daarna volgt de discussie (§ 12.3).

De behandeling van het bodemleven (*benthos*) in dit hoofdstuk beperkt zich tot grotere diersoorten. Voor plantaardige groei is de bodem van de loswallocaties te donker en door de gebruikte methodieken worden kleine (< 1mm) grootteklassen zoals het meiobenthos niet verzameld.

Het onderzoek is uitgevoerd door twee verschillende instituten die verschillende bemonsteringmethodieken hanteerden.

AquaSense nam bodemmonsters met een boxcorer. Op elk station werden tien monsters genomen met een totaal oppervlak van 0,68 m². Met een zeef met gaatjes van 1 mm werden alle organismen met een diameter boven 1 mm geselecteerd. De details van de bemonstering en de verwerking van de monsters staan in bijlage 16. In Figuur 12-1 staan de monsterlocaties.

Figuur 12-1 Monitoringslocaties van Macrobenthos



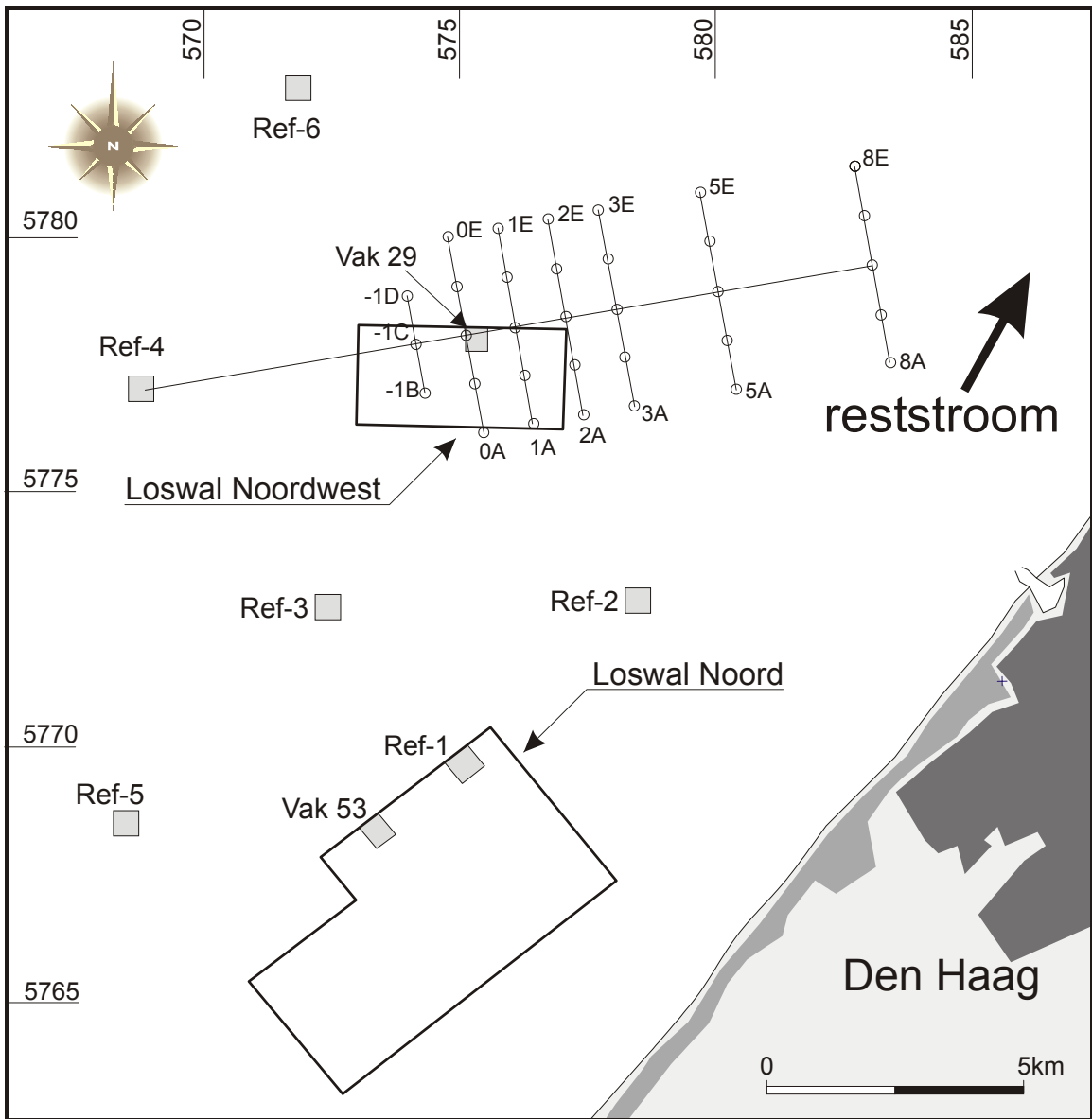
Monitoringslocaties van Macrofauna door AquaSense op Loswal Noord en Noordwest, van 1996 t/m 1999. Voor specificaties, zie Tabel 12-1.

sd02015

Het **NIOZ** hanteerde een bodemschaaf. Per schaaf trek werd daarmee een oppervlak van 16 tot 40 m² bemonsterd en afhankelijk van het monsterprogramma werden er per station één of vijf van dergelijk trekken gedaan. Omdat de selectie van organismen plaatsvond door het gebruik van een net met een maaswijdte van 7 x 7 mm werden hiermee voornamelijk grotere organismen verzameld.

De details van de bemonstering en de verwerking van de monsters staan in bijlage 16. In Figuur 12-2 staan de monsterlocaties.

Figuur 12-2 Monitoringslocaties van Megafauna



Monitoringslocaties van Megafauna door NIOZ op Loswal Noord en Noordwest, van 1996 t/m 1999. Voor specificaties, zie Tabel 12-1.

sd02016

Het idee achter het gebruik van de bodemschaaf is dat een dusdanig groot oppervlak wordt bemonsterd dat grotere, vaak langlevende organismen daarin in voldoende aantallen terechtkomen om er betrouwbare dichtheidsschattingen van te maken. Boxcores daarentegen leveren in combinatie met de 1 mm zeef juist meer informatie op over de aanwezigheid van kleine organismen zoals borstelwormen, vlokreeftjes en juvenielen van schelpdieren ('broed'). Deze bemonsteringsmethoden vullen elkaar dus prima aan.

Omdat grotere organismen zoals zeesterren en krabben weliswaar in lage dichtheden maar relatief vaak aan het oppervlak van het sediment leven bestaat de vangst van de bodemschaaf voor een relatief groot deel uit deze *epifauna*. Ook bodemvissen komen erin terecht. De boxcoremonsters bevatten in beginsel ook epifauna, maar dit type organismen komt in een geringe dichtheid voor vergeleken met de aantallen in het sediment zelf (*endofauna*). Met andere woorden, beide methoden verzamelen zowel epi- als endofauna, maar het accent bij de bodemschaaf ligt relatief zwaar op de grotere epifauna. Het essentiële verschil is de gebruikte maaswijdte van de zeef of het net. Met de boxcores worden organismen met een diameter boven 1 mm geselecteerd, het zg. **macrobenthos**. Omdat het uitsluitend om dierlijke organismen gaat zou ook gesproken kunnen worden over *macrozoöbenthos*. In het net van de bodemschaaf blijven alleen grotere bodemdieren en vissen (groter dan ongeveer 1 cm) achter. Deze staan bekend onder de naam **megafauna**. Strikt genomen vormt de megafauna dus een onderdeel van het macrobenthos.

Tabel 12-1 Terminologie Macrobenthos en Megafauna

Soort	grootte	op of in het sediment	voorbeeld fauna	Boxcore AquaSense	Bodemschaaf NIOZ
Macrobenthos	> 1 mm	epifauna	garnalen	+	
	> 1 mm	endofauna	borstelwormen vlokreeftjes	+++	
Megafauna	> 10 mm	epifauna	megabenthos: krabben zeesterren vissen	+	++
	> 10 mm	endofauna	megabenthos: schelpdieren zee-egels	+	+++

Typen organismen die worden verzameld met een boxcore (AquaSense) en bodemschaaf (NIOZ). +: dichtheid te laag voor kwantitatieve bemonstering, ++ aantallen in het algemeen een goede indicatie voor de dichtheid, +++ aantallen in het algemeen representatief voor de dichtheid.

Bij de behandeling van de boxcoremonsters van AquaSense wordt verder gesproken over macrobenthos en bij de bodemschaafmonsters van het NIOZ over megafauna. Bij de megafauna wordt vervolgens onderscheid gemaakt tussen *megabenthos* (ongewervelde bodemdieren) en vissen. Bovenstaande tabel ligt de terminologie toe en geeft aan waar voor de boxcore en bodemschaaf de nadruk ligt qua type organismen die daarmee werden verzameld.

12.1 Resultaten macrobenthos

Dit hoofdstuk gaat in op de resultaten van de bemonstering van het macrobenthos (> 1mm) door AquaSense. In §§ 12.1.1 t/m 12.1.4 komen de verschillende jaren aan bod. Telkens volgen eerst de resultaten van Loswal Noord en Loswal Noordwest gevolgd door een clusteranalyse waarbij een integrale benadering voor dat jaar wordt gehanteerd.

In § 12.1.5 volgt een vergelijking tussen de jaren

12.1.1 Macrobenthos 1995 en 1996

Voor een gedetailleerde beschrijving van het onderzoek van AquaSense in 1995 en 1996 wordt verwezen naar De Kluijver *et al.* (1996).

Loswal Noord

Op station N5, het laatst gebruikte stortvak van Loswal Noord, is de bodemgemeenschap ernstig verarmd ten opzichte van de referentielocaties. Zo is het aantal benthische soorten (gemiddelde per locatie) drie tot vier keer zo laag als op de andere twee stations op Loswal Noord. De dichtheid (het aantal individuen per m²) is 12 maal zo klein en de biomassa 9 maal zo laag als op de andere locaties op Loswal Noord (Tabel 12-2).

Tabel 12-2 Clusters in 1995 en 1996

cluster		Loswal Noord			Loswal Noordwest		
		n1a	n1b	n2	nw1a	nw2	nw1b
stations		N1 N4	N2 N3	N5	NW1-4 0C-5C	NW5	Ref-4
aantal soorten per cluster		43	24	8	69	43	17
aantal soorten per station		12-30	13-21	4-6	23-33	43	17
dichtheid (aantal individuen.m ⁻²)		924	299	50	1059	8319	765
biomassa (g.m ⁻² asvrij drooggewicht)		11,6	2,5	0,8	15,3	45,9	3,7
wormen	<i>Magelona papillicornis</i>	x	x			x	
	<i>Spiophanes bombyx</i>	x			x	x	x
	<i>Scoloplos armiger</i>	x				x	
	<i>Spio filicornis</i>					x	
	<i>Spio</i>						x
	<i>Nephtys cirrosa</i>		x			x	
	<i>Nephtys</i>				x		x
schelpdieren	<i>Spisula subtruncata</i>	x				x	
kreeftachtigen	<i>Urothoe poseidonis</i>					x	

Loswal Noord en de Loswal Noordwest 1995 en 1996. Macrobenthos (>1 mm). Stations die tot dezelfde clusters behoren stemmen overeen qua soortensamenstelling. Soorten: Dominant in de clusters. N5: stortlocatie.

Loswal Noordwest

Zoals te verwachten viel, is de bodemgemeenschap op Loswal Noordwest voor de aanvang van het storten veel rijker dan op de stortlocatie op de oude Loswal Noord. Het aantal soorten is er hoger (23-33 *vs.* 4-6), de dichtheid groter (1059 *vs.* 50 individuen.m⁻²) evenals de biomassa (15,3 t.o.v. 0,8 g.m⁻²) (Tabel 12-2). De verschillen tussen de nieuwe loswal en de referentielocaties (N1 en

N4) van de oude loswal zijn echter niet zo groot. De bodemgemeenschap op de 11 locaties op Loswal Noordwest is niet geheel homogeen. Negen locaties, waaronder de toekomstige stortlocatie 0C, komen onderling overeen. Op locaties met een hoge biomassa domineren schelpdieren: op 1C *Spisula subtruncata* (58%) en op 2C *Ensis* sp. (69 %). De referentielocatie, Ref-4, wijkt niet erg af en kan worden beschouwd als een verarmde variant van de onderling samenhangende negen locaties. Het noordelijk gelegen referentiestation NW5 bevat relatief veel soorten en vooral veel individuen en een hoge biomassa (Tabel 12-2). De biomassa op locatie NW5 (46 g asvrij drooggewicht m⁻²) is de hoogste van het Loswal onderzoek (1995-1999) te zijn. Zij wordt voor 60 % bepaald door *Spisula subtruncata*.

Clusteranalyse

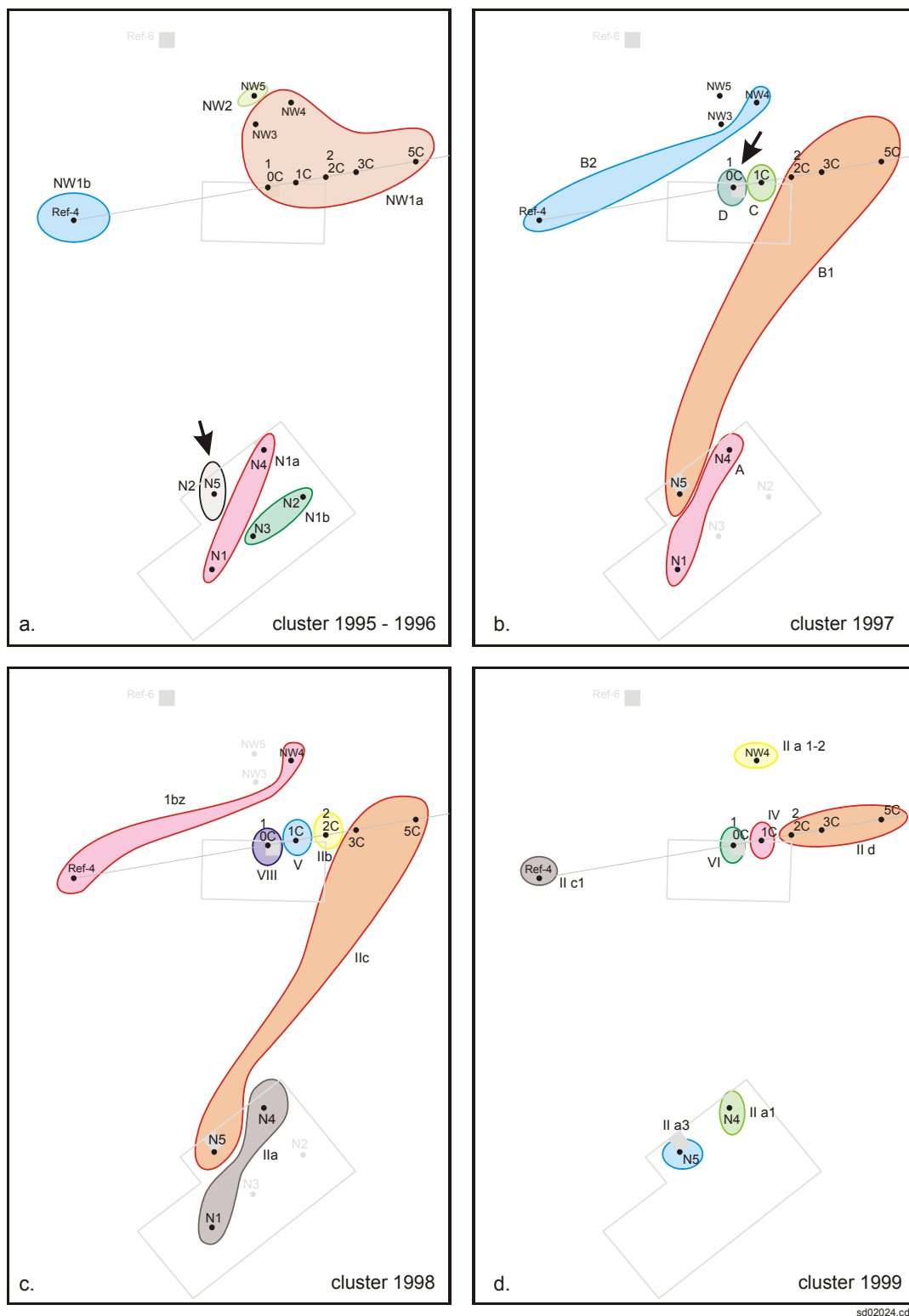
Bij dit soort onderzoek wordt een honderdtal bodemorganismen geïnventariseerd. Omdat een bespreking per soort per locatie ondoenlijk is, wordt een ordening in de meetresultaten aangebracht door groepjes te vormen van locaties die overeenstemmen qua soortensamenstelling. Deze locatiegroepen worden *clusters* genoemd. Hieronder vindt de bespreking van de resultaten deels plaats aan de hand van deze clusters. De berekeningswijze staat vermeld in bijlage 16.

De karakteristieken van de clusters op Loswal Noord en Loswal Noordwest in 1995 en 1996 met hun dominante soorten staan in Tabel 12-2. In Figuur 12-3a wordt de clustering gevisualiseerd.

Op Loswal Noord komen één cluster en twee subclusters voor. Cluster n2 is beperkt tot locatie N5, het meest recente stortvak. Hier komen in totaal slechts 8 soorten voor. De 4 referentielocaties op Loswal Noord vormen twee subclusters van twee locaties: één cluster, n1a, wordt gevormd door twee stations (N1 en N4) die op ca. 2 km afstand ten noorden en ten zuiden van N5 liggen. Hier zijn relatief veel soorten en bestaat een grote dichtheid en een hoge biomassa. De andere cluster, n1b bestaat uit de twee stations (N2 en N3) ten oosten en zuidoosten op respectievelijk 3 en 1,5 km afstand van locatie N5 (Figuur 12-3a). Dit is een arme variant van subcluster n1a. In Tabel 12-2 staat het verschil tussen de drie onderscheiden clusters.

De 11 locaties op Loswal Noordwest en in de omgeving daarvan zijn onder te verdelen in drie clusters. Het meest noordelijke station, NW5, vormt één cluster (nw2), evenals het westelijk gelegen referentiepunt Ref-4 (nw1b). De overige 9 locaties vormen de derde cluster (nw1a).

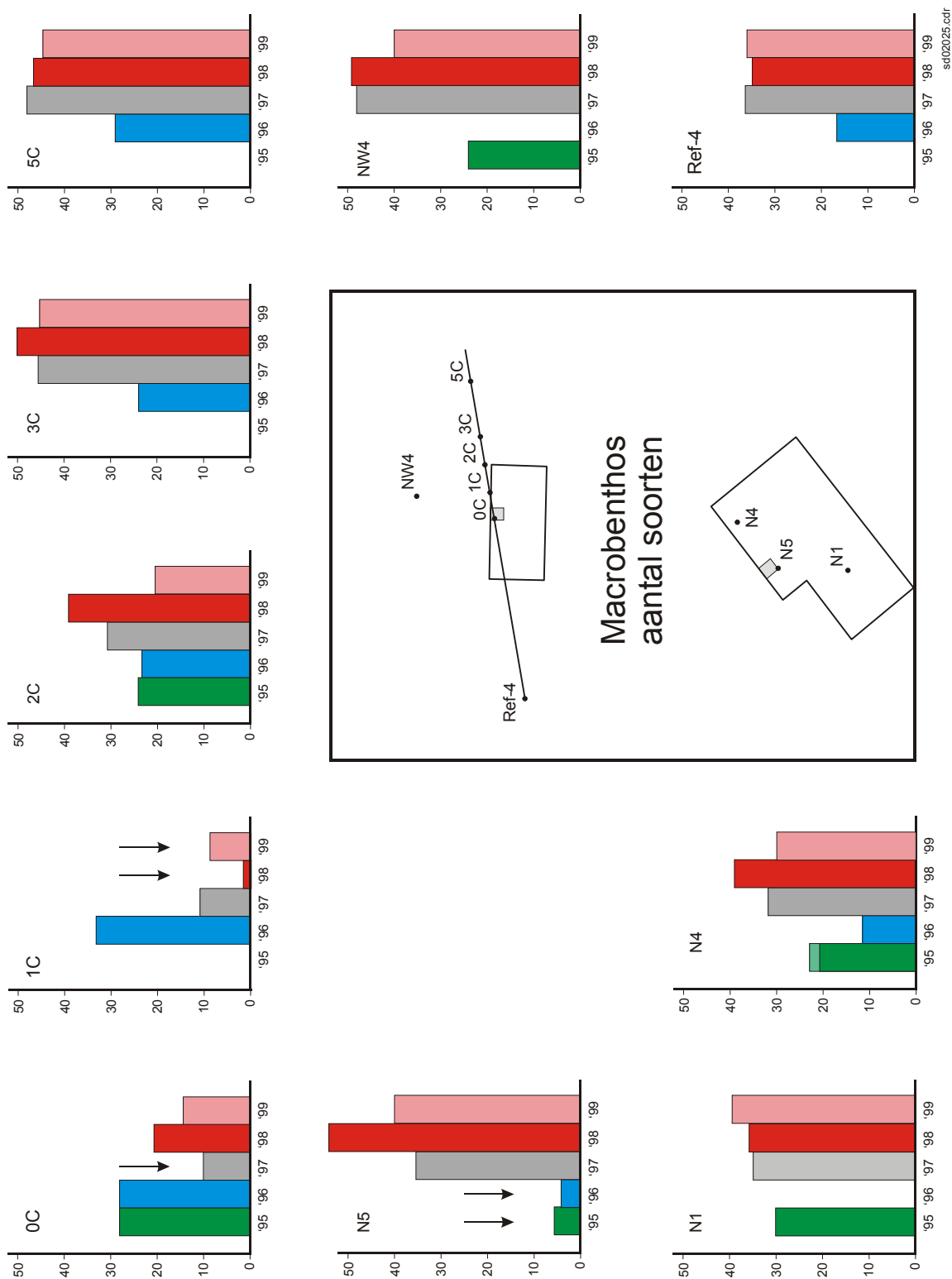
Figuur 12-3 Clusters Megafauna, 1996 t/m 1999



Loswal Noord en Loswal Noordwest, 1995 t/m 1999. Clustering van stations op basis van macrofaunasamenstelling. Analyses per jaar. Pijlen duiden op storting van baggerspecie.

sd02024

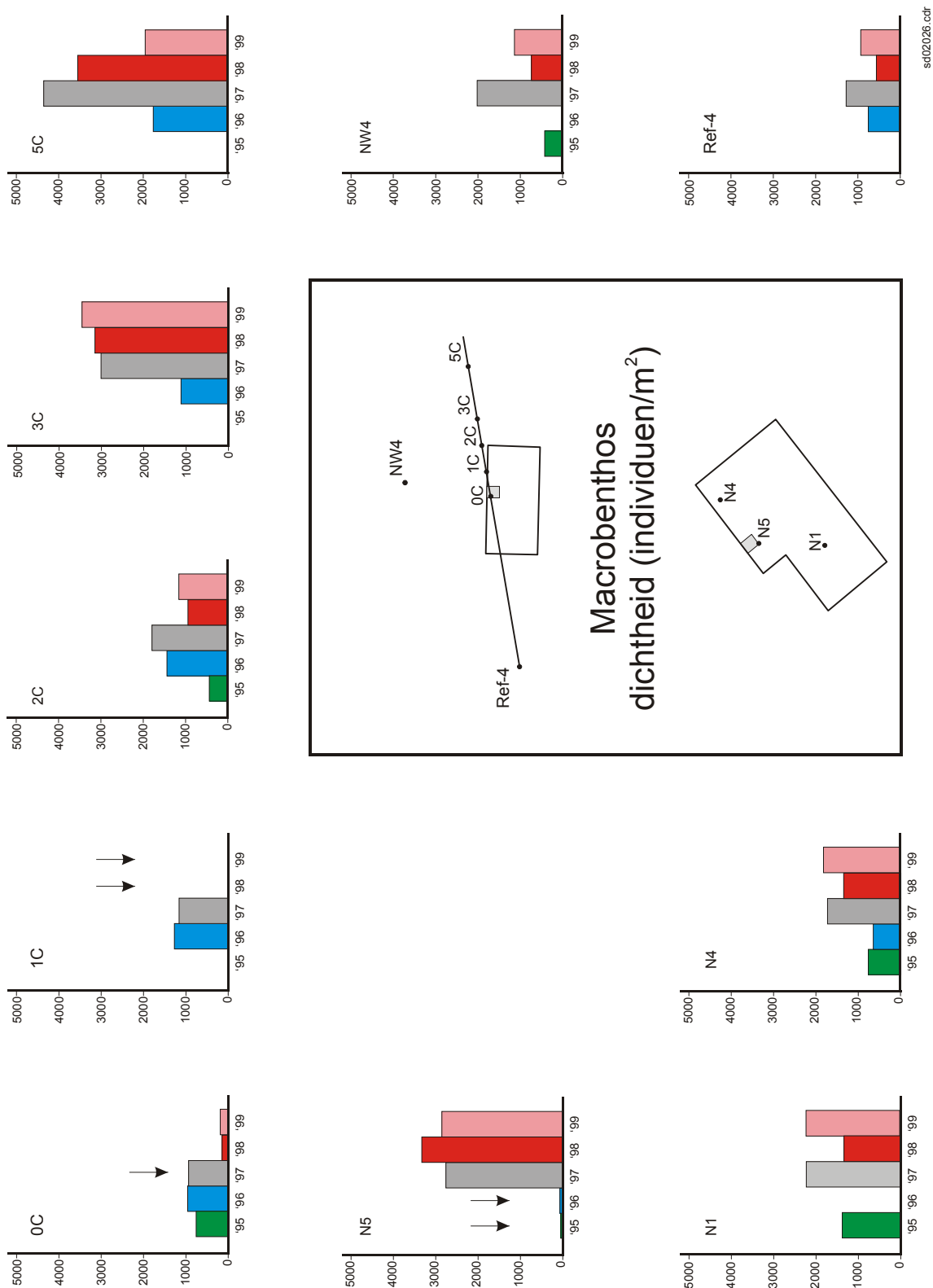
Figuur 12-4 Aantal soorten Macrobenthos



Loswal Noord en Loswal Noordwest van 1995 t/m 1999. Het aantal soorten macrobenthos per station. Pijlen duiden op storting van baggerspecie. Station N4 1995: twee macrobenthos bemonsteringen.

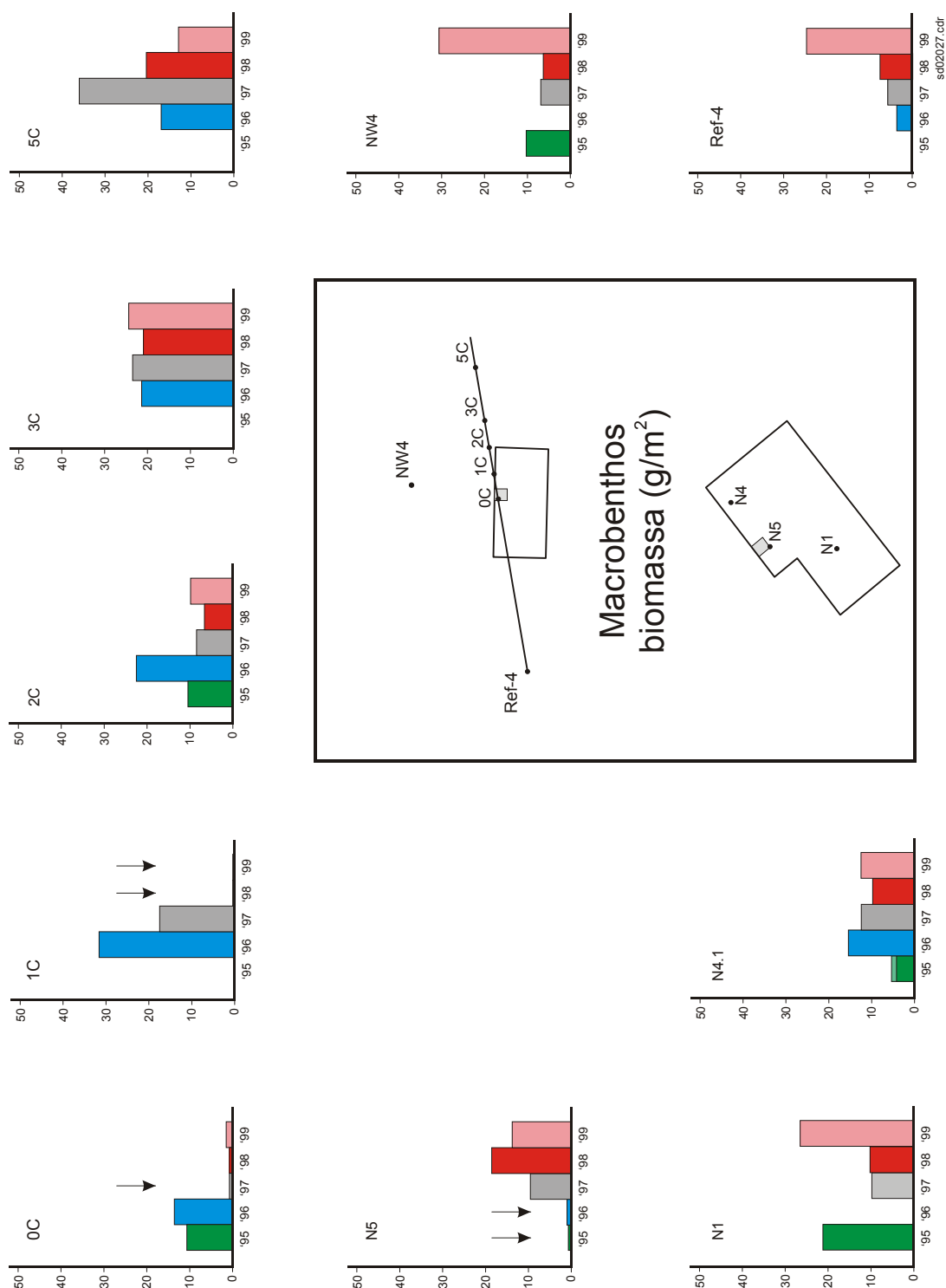
sd02025

Figuur 12-5 Dichtheid Macrobenthos



Loswal Noord en Loswal Noordwest van 1995 t/m 1999. De dichtheid van het macrobenthos, in aantal individuen per m². Pijlen duiden op storting van baggerspecie.
sd02026

Figuur 12-6 Biomassa Macrobenthos



Loswal Noord en Loswal Noordwest van 1995 t/m 1999. De biomassa van macrobenthos, in gram asvrij drooggewicht per m². Pijlen duiden op storting van baggerspecie.

sd02027

Tabel 12-3 Macrobenthos in december 1995 en juni 1996

Loswal		Loswal Noord		Loswal Noordwest	
Locatie		N4	N5	NW1	NW2
december 1995	aantal soorten	21-23	6	28	24
	dichtheid (aantal individuen.m ⁻²)	750-928	75	749	1190
	biomassa (g.m ⁻² asvrij drooggewicht)	4,7-5,3	0,5	10,8	10,3
juni 1996	aantal soorten	12	4	28	23
	dichtheid (aantal individuen.m ⁻²)	631	24	963	1449
	biomassa (g.m ⁻² asvrij drooggewicht)	15,3	1,0	13,8	22,2

Loswal Noord en Loswal Noordwest. Macrobenthos in december 1995 en juni 1996.

Seizoensvariatie

Om het effect van seizoensvariatie in het macrobenthos aan te geven in de t_0 situatie zijn op Loswal Noord twee locaties, nl. N4 en N5, zowel in december 1995 als in juni 1996, bemonsterd. De tussenliggende winter was streng. Het aantal soorten en het aantal individuen per m² nam af, maar de biomassa nam toe (Tabel 12-2). De afname van het aantal soorten en de gemiddelde dichtheid in 1996 kan het gevolg zijn van toegenomen stortactiviteiten. De clustering van de locaties aan de hand van organismen bleef in beide seizoenen ongewijzigd. Dit betekent dat er geen wijziging in soortensamenstelling optrad. Ook de locaties NW1 en NW2 bij Loswal Noordwest zijn in december 1995 en wederom in juni 1996 bemonsterd (in juni als 0C resp. 2C). Het aantal soorten bleef ongeveer gelijk terwijl de dichtheid en de biomassa toenamen (Tabel 12-2). Er blijken geen seizoensgebonden clusters te ontstaan, hetgeen het samennemen van beide monsterperioden in één clusteranalyse rechtvaardigt.

12.1.2 Macro­benthos 1997

Voor een gedetailleerde beschrijving van het onderzoek van AquaSense in 1997 wordt verwezen naar De Kluijver *et al.* (1997).

Loswal Noord

In juni 1997, 11 maanden na het beëindigen van de stortingen op Loswal Noord, zijn op 3 locaties monsters genomen. Het herstel op de stortingslocatie N5 is aanzienlijk (Tabel 12-4). Ten opzichte van de periode 1995-'96 is het aantal soorten 7x, de dichtheid 52x en de biomassa 12x toegenomen. Het verschil tussen de stortlocatie N5 en de referentielocaties is klein geworden. Met name de dichtheid is zelfs groter (2760 *vs.* 1985 individuen per m²). Het aantal individuen wordt gedomineerd door een drietal soorten polychaete wormen.

Tabel 12-4 Macro­benthos in juni 1997

cluster		Loswal Noord		Loswal Noordwest		
		a	b1	b2	c	d
stations		N1 N4	N5	2C 3C 5C -1B	NW4 Ref-4 -1C -1D	1C 0C
aantal soorten per cluster		43	69	58	11	10
aantal soorten per station		32-35	36	31-48	37-48	11
dichtheid (aantal individuen.m ⁻²)		1985	2760	1800-4365	1656	1154
biomassa (g.m ⁻² asvrij drooggewicht)		9,9-12,5	9,4	8,2-36,0	5,9-7,0	17,7
wormen	<i>Magelona papillicornis</i>	x				
	<i>Spio­phanes bombyx</i>	x	x	x	x	
	<i>Scoloplos armiger</i>	x	x	x	x	
	<i>Spio</i>				x	
	<i>Lanice conchilega</i>		x	x	x	
	<i>Nephtys</i>	x	x	x	x	
	<i>Anaitides mucosa</i>		x	x		
	<i>Eumida sanguina</i>		x	x		
schelpdieren	<i>Tellina fabula</i>	x				
	<i>Abra alba</i>					x
	<i>Macoma balthica</i>					x
	<i>Mytilus edulis</i>					x
kreeftachtigen	<i>Gastrosaccus spinifer</i>				x	
stekelhuidigen	<i>Ophiura albida</i>		x	x	x	
	<i>Echinocardium cordatum</i>				x	
hydroiden	<i>Sertularia cupressina</i>					x

Loswal Noord en de Loswal Noordwest 1997. Macro­benthos (>1 mm). Stations die tot dezelfde clusters behoren stemmen overeen qua soortensamenstelling. Soorten: dominant in de clusters. N5 en 0C: stortlocaties.

Loswal Noordwest

Op deze loswal zijn in 1997 op dezelfde 7 locaties monsters genomen als in 1996 (Figuur 12-1). Ook zijn drie extra locaties op 1 km ten westen van de stortlocatie 0C bemonsterd: -1B, -1C en -1D.

Elf maanden na aanvang van het storten zijn er grote veranderingen opgetreden op het stortvak 0C. Het aantal soorten is afgenomen van 28 tot 10, de dichtheid blijft ongeveer gelijk. De biomassa daalt van zo'n 14 g asvrij drooggewicht m⁻² tot minder dan 1 g.m⁻². Op locatie 1C, 1 km stroomafwaarts, zijn ook veranderingen zichtbaar. Ook hier daalt het aantal soorten (van 33 tot 11) en blijft de dichtheid ongeveer gelijk. De biomassa halveert en komt in 1997 voor 83% voor rekening van het schelpdier *Abra alba*.

De hoogste biomassa in 1997 wordt gevonden op locatie 5C (36 g.m⁻²). Deze bestaat voor 47% uit de schelpkokerworm (*Lanice conchilega*).

Het aantal soorten en de dichtheid zijn op de gehele Loswal Noordwest in 1997 groter dan in 1996, terwijl de biomassa gelijk blijft of zelfs wat afneemt.

Clusteranalyse

De karakteristieken van de clusters op Loswal Noord en Loswal Noordwest in 1997 met hun dominante soorten staan in Tabel 12-4. In Figuur 12-3b wordt de clustering gevisualiseerd.

De drie locaties op Loswal Noord kunnen als twee clusters beschouwd worden. De cluster b1 bestaat alleen uit het station N5 op het laatst gebruikte stortvak. De andere cluster (a) wordt gevormd door twee stations op ca. 2 km afstand ten noorden en ten zuiden van N5 (N1 en N4) (Figuur 12-3b). Het verschil tussen de twee clusters blijkt uit Tabel 12-4. Locatie N5 is qua soortensamenstelling in 1997 te vergelijken met de locaties op de nieuwe Loswal Noordwest (2C, 3C en 5C) die niet beïnvloed zijn door de baggerspeciéstortingen. Al deze stations vallen binnen één cluster (a). Het is opmerkelijk dat een jarenlang gebruikte stortlocatie slechts één jaar na het staken van het storten al een gelijkenis vertoont met deze onbeïnvloede locaties.

Op Loswal Noordwest is een grote verandering in de soortensamenstelling opgetreden. In 1996 waren de potentiële stortlocatie OC, de locaties stroomafwaarts daarvan (1C t/m 5C) en de noordelijke referentielocatie (NW4) qua soortensamenstelling nog onderling vergelijkbaar. In 1997, elf maanden na de aanvang van het storten van baggerspecie, zijn er vier clusters te onderscheiden. Zowel de stortlocatie OC als locatie 1C vormen elk een aparte cluster, respectievelijk cluster d en c. De drie oostelijke locaties (2C t/m 5C) vormen cluster b1. Deze cluster is het rijkst met de grootste dichtheid en biomassa. Het noordelijke (NW4) en westelijke referentiestation (Ref-4) vormen samen cluster b2. Cluster b2 is wat minder rijk dan b1. Cluster c op 1 km in de reststroomrichting t.o.v de stortlocatie is armer alhoewel de biomassa hoog is. Cluster d op de stortlocatie zelf is het armst, met name de biomassa is er laag.

Alle getallen alsmede de dominante soorten staan in Tabel 12-4 en zijn verwerkt in de Figuur 12-3 t/m Figuur 12-6.

Ontwikkelingen stroomopwaarts van het stortvak

Extra bodemonsters werden genomen op 3 locaties (-1B, -1C en -1D) die stroomopwaarts (westelijk) liggen ten opzichte van de stortlocatie OC (Figuur 12-1). Ze verschillen nauwelijks van de locaties die van 2 tot 5 km ten oosten van OC lagen. De stations -1C en -1D komen qua soortensamenstelling overeen met de referentielocaties NW4 en Ref-4. Locatie -1B lijkt meer op oostelijke locaties 2C, 3C en 5C.

12.1.3 Macrobenthos 1998

Voor een gedetailleerde beschrijving van het onderzoek van AquaSense in 1998 wordt verwezen naar De Kluijver en Van Nieuwenhuizen (1998).

Loswal Noord

In juni 1998 zijn op Loswal Noord dezelfde drie locaties bemonsterd als in 1997. Daarbij ontstaat het volgende beeld van N5 ten opzichte van de locaties N1 en N4: op de stortlocatie zijn zowel het aantal soorten (55 *vs.* 36-39), de dichtheid (3326 *vs.* 1347) als de biomassa (18,5 *vs.* 10.1 g.m⁻²) aanmerkelijk hoger. Het aantal van 55 soorten per 10 boxcores betekende zelfs een record voor het loswalonderzoek.

Loswal Noordwest

Op en rond deze loswal zijn in 1998 op dezelfde zeven locaties monsters genomen als in 1996 en 1997 (Figuur 12-1). Vak OC is het eerste stortvak waar van juli 1996 tot ca. eind mei 1998 gestort is. Sinds medio juni 1998 wordt gestort in de buurt van locatie 1C, namelijk op vak 30.

Het aantal van 21 soorten op locatie OC in 1998 is nog steeds laag maar betekent wel een verdubbeling t.o.v. 1997. Dit is aanzienlijk gezien het recente tijdstip waarop op deze locatie nog gestort is. De dichtheid neemt wel af ten opzichte van 1997 (143 *vs.* 906 per m²). De biomassa blijft in 1998 laag (0,5 g.m⁻²).

De tweede stortlocatie, 1C, is na één maand storten sterk verarmd. Hier komen in 1998 nog maar twee soorten voor (in 1997 nog 11), weinig individuen (18 *vs.* 1154 per m² in 1997) en een zeer lage biomassa (0,1 *vs.* 17,7 g.m⁻² in 1997). Locatie 1C is hiermee armer geworden dan locatie OC.

De stortingen blijken uitstraaleffecten te hebben tot op één kilometer afstand. Locatie 2C op 1 km afstand van de tweede stortlocatie bevat namelijk minder soorten (39) dan de meer oostelijk en stroomafwaarts gelegen locaties 3C (50) en 5C (47) op respectievelijk 2 en 4 km afstand. Ook de dichtheid was kleiner op 2C: 950 individuen per m² *vs.* ruim 3000 op 3C en 5C. Voor de biomassa geldt hetzelfde (Tabel 12-5). Ten opzichte van 1997 neemt het aantal soorten op station 2C wat toe maar halveert de dichtheid. De biomassa blijft in 1998 relatief laag. Op de stations 3C en 5C worden met 21,0 en 20,3 g.m⁻² de hoogste waarden bereikt. De qua biomassa meest dominante soorten zijn respectievelijk de worm *Scoloplos armiger* (23%) en *Ensis arcuatus* (35%).

Op de referentielocaties Ref-4 en NW4 komen 35 en 49 soorten voor. Ook door de lagere dichtheid en de geringere biomassa zijn deze locaties wat armer dan de drie oostelijke locaties 2C, 3C en 5C. De soortenrijkdom en de biomassa zijn ook lager dan op de locaties op de oude Loswal Noord.

Gegevens voor de clusters met de dominante soorten staan in Tabel 12-5.

Tabel 12-5 Macrobenthos in juni 1998

		Loswal Noord		Loswal Noordwest				
cluster		Ila	Ilc		VIII	V	IIb	Ib2
stations		N1 N4	N5	3C 5C	0C	1C	2C	NW4 Ref-4
aantal soorten per cluster		48	57	57	21	2	39	60
aantal soorten per station		36-39	55	47-50	21	2	39	35-49
dichtheid (aantal individuen.m ⁻²)		1347	3349	3349	143	18	951	653
biomassa (g.m ⁻² asvrij drooggewicht)		10,1	18,5	20,6	0,5	0,1	6,4	7,1
wormen	<i>Magelona papillicornis</i>	x						
	<i>Spiophanes bombyx</i>	x	x	x			x	x
	<i>Scoloplos armiger</i>		x	x			x	x
	<i>Lanice conchilega</i>		x	x				
	<i>Nephtys</i>	x						x
schelpdieren	<i>Tellina fabula</i>	x						
	<i>Montacuta ferruginosa</i>	x						
	<i>Macoma balthica</i>					x		
kreeftachtigen	<i>Urothoe poseidonis</i>	x						
stekelhuidigen	<i>Ophiura albida</i>		x	x			x	
vissen	<i>Hyperoplus lanceolatus</i>				x			

Loswal Noord en de Loswal Noordwest 1998. Macrobenthos (>1 mm). Stations die tot dezelfde clusters behoren stemmen overeen qua soortensamenstelling. Soorten: dominant in de clusters. N5 en 1C: stortlocaties.

Clusteranalyse

De drie locaties op Loswal Noord, N1, N4 en N5, kunnen als twee clusters beschouwd worden. Locatie N5, de laatst gebruikte stortlocatie, vormt cluster

IIc. De tweede cluster, IIa, wordt gevormd door twee stations die op ca. 2 km afstand ten noorden en ten zuiden van N5 liggen (N1 en N4) (Figuur 12-3c). In Tabel 12-5 wordt het verschil tussen de twee clusters gegeven met ter vergelijking de kenmerken van de nieuwe Loswal Noordwest. De locatie N5 is qua soortensamenstelling in 1998 te vergelijken met twee locaties op Loswal Noordwest (3C en 5C) die niet beïnvloed zijn door de baggerspeciéstortingen.

Op Loswal Noordwest is de verandering van de soortensamenstelling in 1998 ten opzichte van 1997 niet zo groot. Het enige verschil is dat de locatie 2C, de plek 1 km stroomafwaarts ten opzichte van de tweede stortlocatie, nu qua soortensamenstelling niet meer te vergelijken is met andere locaties: het vormt een aparte cluster IIb. Het jaar ervoor clusterde locatie 2C nog met de meer oostelijke locaties 3C en 5C. Verder doen zich geen wijzigingen voor in de verdeling van de locaties over de clusters.

12.1.4 Macroenthos 1999

Voor een gedetailleerde beschrijving van het onderzoek van AquaSense in 1998 wordt verwezen naar De Kluijver *et al.* (2000).

Loswal Noord

Begin juli 1999 zijn op Loswal Noord dezelfde 3 locaties bemonsterd als in voorgaande jaren. Op de stortlocatie N5 daalt het aantal soorten van de recordhoogte van 55 soorten in 1998 tot 40 in 1999. Toch blijft dit hoger dan op de andere locaties op Loswal Noord (N1 en N4). Op N1 stijgt het aantal soorten in de loop der jaren geleidelijk naar 39, op N4 bedraagt de soortenrijkdom 30 soorten. Door deze ontwikkeling gaan de stations op Loswal Noord steeds meer op elkaar gaan lijken en lijkt een stabiele eindsituatie bereikt.

Loswal Noordwest

Op deze Loswal zijn in 1999 wederom dezelfde 7 locaties bemonsterd als in de voorgaande jaren (Figuur 12-1). Vak 0C is het eerste stortvak waar van juli 1996 tot ca eind mei 1998 gestort is. Sinds medio juni 1988 wordt gestort in de buurt van locatie 1C.

Het aantal van 13 soorten op locatie 0C in 1999 doet vermoeden dat het herstel op locatie 0C niet zo snel verloopt als aanvankelijk in 1998 gedacht werd. Wellicht bleven hier effecten van de storting op 1C merkbaar. De biomassa blijft in 1999 laag ($1,3 \text{ g.m}^{-2}$).

De huidige stortlocatie, 1C, is met 8 soorten het armst. De dichtheid is slechts 25 individuen per m^2 en de biomassa is met $0,3 \text{ g.m}^{-2}$ ook bijzonder laag.

Evenals in 1988 is er een duidelijk uitstraaleffect van de baggerspeciéstorting tot op één kilometer afstand. Locatie 2C bevat namelijk minder soorten (21) dan de meer oostelijk en stroomafwaarts gelegen locaties 3C (45) en 5C (44) op respectievelijk 2 en 4 km afstand. Ook de dichtheid op 2C is kleiner: $1156 \text{ individuen.m}^{-2}$ vs. 2000 tot 3500 op 5C en 3C. Voor de biomassa geldt hetzelfde: 10 g.m^{-2} op 2C vs. 13 en 24 g.m^{-2} op 5C en 3C.

Op de referentielocaties Ref-4 en NW4 komen 37 en 40 soorten voor. Ook qua dichtheid zijn deze locaties wat armer dan de oostelijke locaties 3C en 5C. De biomassa daarentegen doet niet onder voor de locaties 3C en 5C en is veel hoger dan in voorgaande jaren. Op Ref-4 ($24,3 \text{ g.m}^{-2}$) bestaat de biomassa voor 78% uit *Ensis arcuatus*. Op NW4 ($30,5 \text{ g.m}^{-2}$) wordt 68% van de biomassa gevormd door de zee-egel *Echinocardium cordatum*.

Gegevens voor de clusters met de dominante soorten staan in Tabel 12-6.

Tabel 12-6 Macro­benthos in juni 1999

		Loswal Noord		Loswal Noordwest				
cluster		Ila1	Ila3	Ila1-2	Ilc1	Ild	VI	IV
stations		N1 N4	N5	NW4	Ref-4	2C-5C	0C	1C
aantal soorten per cluster		45	40	40	37	55	13	8
aantal soorten per station		30-39	40	40	37	21-45	13	8
dichtheid (aantal individuen.m ⁻²)		2021	2856	1132	941	2204	190	25
biomassa (g.m ⁻² asvrij drooggewicht)		19,3	13,9	30,5	24,3	15,7	1,3	0,3
wormen	<i>Magelona papillicornis</i>	x	x					
	<i>Spiophanes bombyx</i>	x	x	x	x	x		
	<i>Scoloplos armiger</i>			x		x		
	<i>Owenia fusiformis</i>		x			x		
	<i>Lanice conchilega</i>			x		x		
	<i>Lagis koreni</i>					x	x	
	<i>Nephtys</i>	x	x	x	x			
schelpdieren	<i>Tellina fabula</i>		x					
kreeftachtigen	<i>Urothoe poseidonis</i>	x		x		x		
	<i>Bathyporeia guilliamsoniana</i>				x			
	<i>Gastrosaccus spinifer</i>				x			
stekelhuidigen	<i>Ophiura albida</i>				x	x		
	<i>Echinocardium cordatum</i>	x			x	x		

Loswal Noord en de Loswal Noordwest 1999. Macro­benthos (>1 mm). Stations die tot dezelfde clusters behoren stemmen overeen qua soortensamenstelling. Soorten: dominant in de clusters. N5 en 1C: stortlocaties.

Clusteranalyse

De drie locaties op Loswal Noord, N1, N4 en N5, kunnen wederom als twee clusters beschouwd worden (Figuur 12-3d). Locatie N5, de laatst gebruikte stortlocatie, vormt cluster Ila3. De tweede cluster, Ila1, wordt weer gevormd door N1 en N4, op ca. 2 km afstand ten noorden en ten zuiden van N5. In Tabel 12-6 wordt het verschil tussen de twee clusters gegeven met ter vergelijking de kenmerken van de nieuwe Loswal Noordwest. In 1999 lijken de locaties op Loswal Noord qua soortensamenstelling nog het meest op de referentielocatie NW4 op Loswal Noordwest.

Op Loswal Noordwest clustert locatie 2C weer met de meer oostelijke locaties 3C en 5C, ondanks het bovenbeschreven uitstralingseffect. De overige locaties op Loswal Noordwest vormen ieder een eigen cluster.

12.1.5 Macro­benthos ontwikkeling 1995-1999

De ontwikkeling per locatie van het aantal soorten, de dichtheid en de biomassa zijn weergegeven in de Figuur 12-4 t/m Figuur 12-6. In Tabel 12-7 en Figuur 12-7 staat het resultaat van een clusteranalyse van de monsters van alle stations in de periode 1995-1999. Tabel 12-8 laat de dominante soorten in deze clusters zien.

Algemeen

De meerjarige clusteranalyse geeft aan dat tussen 1996 en 1997 alle locaties van cluster veranderen. Dit duidt op een relatief grote verandering in de soortensamenstelling (Tabel 12-7). Tijdens andere overgangen tussen jaren zijn er altijd wel enkele locaties die zo weinig veranderen dat ze tot dezelfde cluster blijven behoren. Zeker voor de locaties 2C, 3C, 5C, Ref-4 en NW4 mocht tussen 1996 en 1997 verwacht worden dat ze niet beïnvloed zijn door de stortingen. Op deze referentielocaties gaat de overgang tussen 1996 en 1997 echter gepaard met een flinke toename van het aantal soorten en de dichtheid, vooral bij Loswal Noordwest. Qua biomassa is er een minder uitgesproken ontwikkeling (Figuur 12-3 t/m Figuur 12-6). Er bestaan ook dominantieverschillen tussen beide jaren.

Loswal Noord

Tijdens de stortperiodes tot 1 juli 1996 is het aantal soorten op N5 laag (4-6). Elf maanden na het beëindigen van het storten is het aantal soorten (36) al vergelijkbaar met de locaties op 2 tot 3 km afstand (N1 en N4). In 1998 worden op de stortlocatie N5 zelfs hoger waarden gevonden dan op de locaties N1 en N4: het aantal soorten is 55 *vs.* 36 en 39, de dichtheid 3326 individuen.m⁻² *vs.* 1369 en 1325 en de biomassa 18,5 g.m⁻² *vs.* 10,2 en 9,9. Het aantal van 55 soorten in 10 boxcores (N5) betekent zelfs een record voor het loswalonderzoek. In 1999 vallen de hoge waarden op N5 wat terug en neemt het verschil ten opzichte van N1 en N4 in de omgeving weer af.

Tijdens het storten van baggerspecie op locatie N5 is het effect ter plekke evident: in vergelijking met andere locaties is er sprake van een sterk verminderde soortenrijkdom, dichtheid en biomassa.

Het ecologisch herstel van Loswal Noord, zoals gemeten op stortvak N5 in termen van aantallen soorten, dichtheid en biomassa verloopt bijzonder snel. In vergelijking met de andere twee stations op Loswal Noord is er in 1977, één jaar na het beëindigen van de storting al geen verschil meer te zien. Wel is het de vraag of de stations N1 en N4 wel een echte referentie vormen. Doordat ze ook binnen het gebied van Loswal Noord vallen is het namelijk mogelijk dat ook deze stations onder invloed (hebben ge)staan van de storting van baggerspecie. Een aanwijzing voor het eigen karakter van deze stations blijkt uit de aparte cluster (Tabel 12-7, cluster Ia) die zij in 1995 en 1996 vormen. Opvallend is dat de clusteranalyses (Figuur 12-3b & Figuur 12-7, Tabel 12-7) aangeven dat N5 in 1997 al clustert met de referentiestations 2C, 3C en 5C op Loswal Noordwest. Dit is een sterke indicatie voor een daadwerkelijk herstel binnen een jaar. Een aanwijzing dat na een jaar toch nog geen echte stabiele eindsituatie was bereikt vormt de ontwikkeling in 1998. Daarbij schieten de soortenrijkdom, dichtheid en biomassa op locatie N5 als het ware door. In 1999, drie jaar na het beëindigen van de stortingen op Loswal Noord, lijken de drie locaties alweer veel meer op elkaar. Alleen de dichtheid op N5 is nog relatief hoog.

Loswal Noordwest

Voor de aanvang van de baggerspeciéstorting bedraagt de soortenrijkdom op de Loswal Noordwest locaties 23 –33 soorten. Ref-4 heeft slechts 17 soorten maar deze referentielocatie blijkt vaak een relatief laag aantal soorten, een gering aantal individuen en een kleine biomassa te hebben.

In 1997, elf maanden na aanvang van het storten, neemt op de stortlocatie OC het aantal soorten af tot 10, maar in 1998, twee maanden na het beëindigen

van de storting, verdubbelt dit aantal al tot 21. De eerste kolonisatie van bodemdieren kan in zo'n geval blijkbaar al snel plaatsvinden. De dichtheid en de biomassa blijven in 1998 en 1999 echter laag. Sinds het storten op OC verschijnen op deze locaties voortdurend nieuwe clusters (Tabel 12-6 en Figuur 12-7). In 1999, tijdens de laatste bemonstering, was het nog maar ruim 1 jaar geleden dat de storting bij OC was beëindigd. Zo'n korte periode lijkt in dit geval dan ook niet genoeg om tot een duidelijk herstel te komen. Daarnaast is het mogelijk dat OC in 1999 nog onder invloed stond van de stortingen bij 1C. Het storten op locatie 1C (in 1998 en 1999) heeft eveneens een sterke achteruitgang van zowel de soortenrijkdom, de dichtheid als biomassa tot gevolg. In 1998 clustert de soortensamenstelling van 1C met de stortlocatie N5 op Loswal Noord in de periode 1995-1996, toen daar nog gestort werd (Tabel 12-7 cluster III). Ook op station 1C ontstaan steeds nieuwe clusters. De stortingen blijken uitstraaleffecten te hebben tot op één kilometer afstand. Locatie 2C op 1 km afstand van de tweede stortlocatie (C1) bevat namelijk zowel in 1998 als 1999 minder soorten alsmede een kleinere dichtheid en biomassa dan de meer oostelijk en stroomafwaarts gelegen locaties 3C en 5C. In 1997, toen de stortingen nog op OC plaatsvonden, bleken vergelijkbare effecten op treden op het op 1 km stroomafwaarts gelegen C1. Het effect van de storting op 1C op 2C is bescheiden van karakter: in 1998 clusterde 2C met referentielocaties uit 1997 en in 1999 viel 2C zelfs samen met 3C en 5C in één cluster (cluster IId, Tabel 12-7). Het verloop van de soortenrijkdom op de west-oost raai van OC tot en met 5C is voor de voor de verschillende jaren weergegeven in Figuur 12-8.

Het voornaamste onderscheid in de soortensamenstelling wordt gevormd tussen de clusters I en II op meestal slibarme stations *vs.* de clusters III tot en met VIII op slibrijke stations (Tabel 12-8). In clusters I en II domineren vooral polychaete wormen. In de overige clusters ontbreken dominante soorten, dan wel is er een dominantie van een of twee soorten die zelfs karakteristiek kunnen zijn voor die cluster zoals de witte dunschaal (*Abra alba*) en het nonnetje (*Macoma balthica*) voor cluster VII en de mossel (*Mytilus edulis*) voor cluster VIII.

Tabel 12-7 Verdeling monsterlocaties over de verschillende clusters

Locatie	t ₀ 1995	t ₀ 1996	t ₁ 1997	t ₂ 1998	t ₃ 1999
Loswal Noord					
N5	III	III	Ilb1	Ila3	Ila3
N1	Ia		Ila1	Ila1	Ila1
N4	Ia	Ia	Ila1	Ila1	Ila1
Loswal Noordwest					
0C	Ila1	Ila1	VIII	V	VI
1C		Ila1	VII	III	IV
2C	Ilc1	Ila1	Ilb1	Ilb2	Ild
3C		Ila1	Ilb1	Ila3	Ild
5C		Ila1	Ilb1	Ila3	Ild
Ref-4		Ilc2	Ilb2	Ilc1	Ilc1
NW4	Ilc1		Ilb2	Ilc1	Ila1

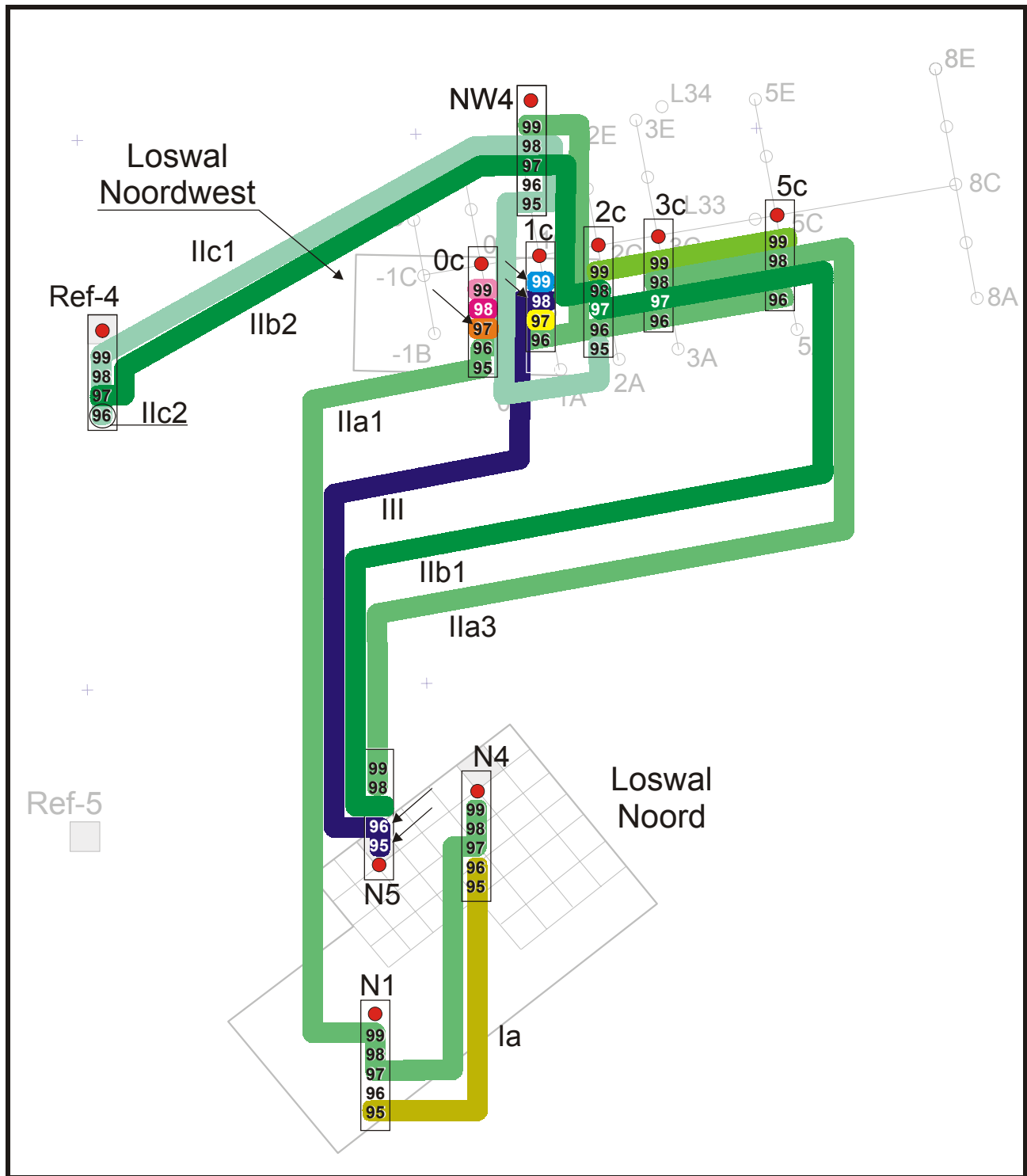
Loswal Noord en Noordwest 1995 t/m 1999. De verdeling van de monsterlocaties over de verschillende clusters op basis van de macrobenthossamenstelling. Bij de totstandkoming van de clustering werden ook enkele extra stations uit 1995/'96 meegenomen. Deze stations staan niet in onderstaande tabel. Pijlen duiden op storting van baggerspecie.

Tabel 12-8 Dominante soorten in de macrobenthosclusters

cluster		VIII	VII	III	IV	V	VI	Ia	Ila1	Ila2	Ila3	Ilb1	Ilb2	Ilc1	Ilc2	Ild
biomassa (g.m ⁻² asvrij drooggewicht)		0,5	17,7	0,6	0,3	0,5	1,3	11,6	16,3	45,9	18,4	19,3	6,4	11,8	3,7	9,9-24,3
slib (<63 µm) %		36,8	45,5	27,7	23,5	26,4	18,2	0,8	0,2	0,8	1,5	2,9	1,4	<0,8	-	<6,7
				24,8					3,7		24,8	16,8				
wormen	<i>Magelona papill-icornis</i>							x	x	x						
	<i>Spiophanes bombyx</i>							x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>Scoloplos armiger</i>							x		x	x	x	x			x
	<i>Spio (filicornis)</i>									x			x		x	
	<i>Owenia fusiformis</i>															x
	<i>Lanice conchilega</i>										x	x	x			x
	<i>Lagis koreni</i>						x									x
	<i>Nephtys</i>								x	x	x	x	x	x	x	
	Phyllodo-cidae									x						
	<i>Anaitides mucosa</i>											x				
	<i>Eumida sanguinea</i>											x				
schelpdier en	<i>Mytilus edulis</i>	x														
	<i>Abra alba</i>		x													
	<i>Macoma balthica</i>		x													
	<i>Spisula subtruncata</i>							x		x						
	<i>Tellina fabula</i>										x					
kreeftachtigen	<i>Urothoe poseidonis</i>								x	x						x
stekelhuidigen	<i>Ophiura albida</i>										x	x	x			x
	<i>Echinocardium cordatum</i>												x			x

Dominante soorten in de macrobenthosclusters over de jaren 1995-1999, zoals onderscheiden in Tabel 12-7.

Figuur 12-7 Clustering Macrobenthos 1995 t/m 1999

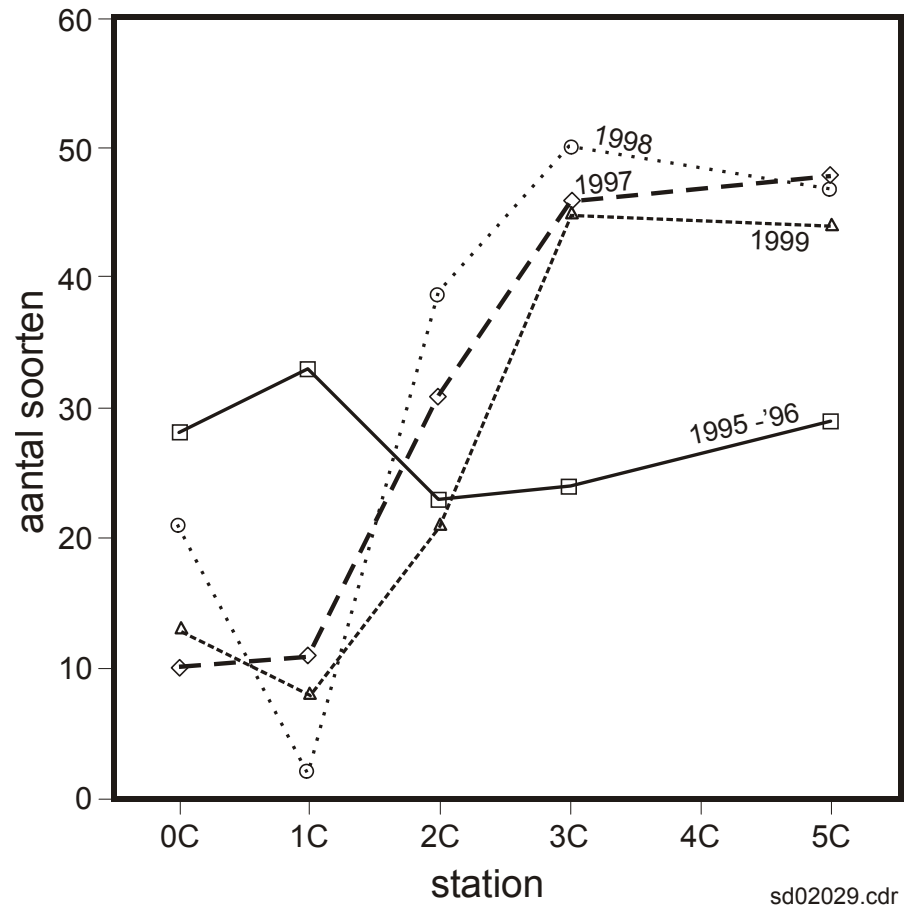


sd02028.cdr

Loswal Noord en Noordwest 1995 t/m 1999. De clustering van de monsterlocaties op basis van de samenstelling van het macrobenthos. Bij de totstandkoming van de clustering werden ook enkele extra stations uit 1995/'96 meegenomen die niet in deze figuur staan. Pijlen duiden op storting van baggerspecie.

sd02028

Figuur 12-8 Aantal soorten Macrobenthos 1995 t/m 1999



Loswal Noordwest 1996-1999. Het verloop van het aantal macrobenthossoorten per locatie op de west-oost raai van 0C naar 5C.

sd02029

12.2 Resultaten Megafauna

Dit hoofdstuk gaat in op de resultaten van de bemonstering door het NIOZ. Het NIOZ heeft op en bij de Loswal Noord en Noordwest verzameld en wel met een bodemschaaf. Hiermee wordt megafauna, dieren groter dan ongeveer 10 mm gevangen. Het betreft zowel vissen als ongewervelde bodemdieren (megabenthos). Van deze organismen behoren er relatief veel tot het epi(zoö)benthos, dieren die aan het sedimentoppervlak leven.

In § 12.2.1 t/m § 12.2.4 komen de verschillende jaren aan bod. Telkens volgen eerst de resultaten van Loswal Noord en daarna die van Loswal Noordwest.

In § 12.2.5 volgt een vergelijking tussen de jaren

De ontwikkeling van de soortenrijkdom op de verschillende stations staat voor het megabenthos in Figuur 12-9 en voor de vissen in Figuur 12-10.

12.2.1 Megafauna 1996

Voor een gedetailleerde beschrijving van het onderzoek van het NIOZ in 1996 wordt verwezen naar Daan *et al.* 1997.

Loswal Noord

Effecten van de storting van baggerspecie op het megabenthos doen zich voor op beide Loswal Noord locaties, vak 53 en Ref-1, en mogelijk op station Ref-2 daarbuiten.

De bodemfauna in vak 53 is zeer sterk verarmd in vergelijking tot de stations buiten de invloedssfeer van Loswal Noord. De gemiddelde soortenrijkdom in het stortvak 53 en de nabijgelegen referentielocatie Ref-1 bedraagt respectievelijk 4,0 en 9,8 soorten per schaaftrek. Op de overige locaties varieert het aantal soorten tussen 17,7 en 20,1. Ref-2 neemt een tussenpositie in met 12,8 soorten per schaaftrek.

In vak 53 is het gemiddeld aantal vissoorten met 0,39 per schaaftrek ook bijzonder laag. Op de overige locaties varieert dit aantal tussen 3,0 en 5,6 soorten (Figuur 12-10).

De relatieve abundantie, een maat voor de gemiddelde dichtheid van de verschillende soorten (uitgedrukt in de vorm van een rangnummer) vertoont een vergelijkbaar patroon: lage megabenthosdichtheden in vak 53 en Ref-1, hoge in Ref-3 tot en met Ref-6 en vak 29 en een tussenpositie voor Ref-2. Bij de vissen is de relatieve abundantie alleen op de stortlocatie (vak 53) significant lager.

De onderlinge gelijkenis tussen de schaaftrekken op vak 53 is kleiner dan op andere stations. Dit betekent dat de faunasamenstelling op de stortlocatie ruimtelijk weinig homogeen is.

Voor de algemene megabenthossoorten afzonderlijk zijn er meestal lage dichtheden op de locaties vak 53 en Ref-1. Vaak ontbreken deze soorten daar zelfs. Een duidelijke uitzondering op dit patroon wordt gevormd door het nonnetje (*Macoma balthica*). Deze soort is met 6 en 30 individuen.100 m⁻² aanwezig op respectievelijk vak 53 en Ref-1 terwijl dit schelpdier op de overige locaties ontbreekt. De garnaal (*Crangon crangon*) ontbreekt in het stortvak 53,

maar is op de kustnabije locaties Ref-1 en Ref-2 in 10 maal hogere dichtheden aanwezig dan op de overige stations.

De halfgeknotte strandschelp (*Spisula subtruncata*) en de kleine slangster (*Ophiura albida*) bereiken verreweg de hoogste dichtheid, met name op de referentiestations: tot respectievelijk 754 (Ref-3) en 77 (Ref-5) individuen.m⁻².

De zeer arme fauna in vak 53 is ongetwijfeld te wijten aan de verstoorde sedimentomstandigheden aldaar en de situatie op Ref-1 is vrijwel zeker ook een resultaat van de voormalige stortingen. De afwijkende en overwegende lage dichtheden op referentielocatie Ref-2 hoeven echter niet noodzakelijkerwijs te worden beschouwd als een 'Loswal Noord effect'. Deze locatie ligt ten opzichte van de andere referentielocaties dicht bij de kust. Er zijn aanwijzingen dat er een natuurlijke gradiënt bestaat van afnemende faunadichtheden naar de kust. Deze aanwijzingen zijn met name verkregen bij de bemonstering van Loswal Noordwest: de locaties die het meest oostelijk - dus het dichtst bij de kust - zijn gelegen en net zover van de kust liggen als Ref-2 zijn relatief arme locaties. Dat wil zeggen dat de meeste megabenthossoorten hier in lagere dichtheden voorkomen dan op verder van de kust afgelegen stations. Ook de soortensamenstelling op Ref-2 vertoont een grote overeenkomst met de stations bij Loswal Noordwest die het dichtst bij de kust lagen.

Loswal Noordwest

De nieuwe loswal vak 29 onderscheidt zich in het jaar vóórdat de stortingen beginnen niet van de referentielocaties Ref-3, 4 en 6. (zie boven: Loswal Noord).

Door het combineren van de gegevens uit het monstergrid bij Loswal Noordwest (Figuur 12-2) in west-oost en noord-zuid raaien en deze onderling te vergelijken werd het optreden van gradiënten nagegaan in respectievelijk een noord-zuid en oost-west richting. Er is in het algemeen een goede overeenstemming in de megafaunasamenstelling tussen de verschillende raaien. De noord-zuid raaien op 0 en 8 km afstand van het uitgangspunt vak 29 verschillen het meest van elkaar. Dit duidt op een oost-west gradiënt in de megafaunagemeenschap. Bij een vergelijking van alle stations afzonderlijk blijkt met name het afwijkende karakter van de zuidoostelijk gelegen stations 8A, 8B en 8C en in mindere mate ook 5A en 5B. Op de westelijke noord-zuid raaien 0 tot en met 3 varieert het gemiddeld aantal megabenthossoorten per schaaf trek slechts van 18,0 tot 18,6 soorten. Op noord-zuid raai 5 daalt dit tot 15,6 en op noord-zuid raai 8 zelfs tot 12,2. Het verschil tussen 0-3 vs. 8 is zeer significant ($p < 0.001$).

Bij de vissen onderscheidt noord-zuid raai 0 zich met een significant lagere soortenrijkdom (2,6 soorten per schaaf trek) vergeleken met de meer oostelijk gelegen stations (4,2 tot 6,8 soorten per trek).

De relatieve abundantie levert een vergelijkbaar beeld op: een relatief lage megabenthosdichtheid op noord-zuid raai 8 en een lage dichtheid aan vissen op noord-zuid raai 0. Er is een lichte afname van de megabenthosdichtheid van noord naar zuid, maar deze trend is niet significant.

Voor een aantal algemene megabenthossoorten afzonderlijk zijn er ook verschillen tussen de raaien. De enige soort waarbij een noord-zuid gradiënt werd gevonden was de garnaal (*Crangon crangon*): de aantallen op de zuidelijke west-oost raai A (68 individuen.100 m⁻²) waren significant hoger dan op de noordelijke west-oost raaien E,D en C (4-9 individuen.100 m⁻²). Voor 10

soorten waren er statistische verschillen van oost naar west: hartegel (*Echinocardium cordatum*), kleine slangster (*Ophiura albida*), venusschelp (*Chamaelea gallina*), Amerikaanse zwaardschede (*Ensis americanus*), tepelhoorn (*Euspira poliana*), ovale strandschelp (*Spisula elliptica*), stevige strandschelp (*Spisula solida*), halfgeknottede strandschelp (*Spisula subtruncata*), helmkrab (*Corystes cassivelaunus*) en het nagelkrabbetje (*Thia scutellata*). Voor al deze soorten geldt dat ze op de noord-zuid raai 8 in significant lagere aantallen werden gevonden dan op een of meer westelijke noord-zuid raaien.

12.2.2 Megafauna 1997

Voor een gedetailleerde beschrijving van het onderzoek van het NIOZ in 1997 wordt verwezen naar Daan *et al.* 1998.

Loswal Noord

Het megabenthos in vak 53 vertoont een jaar na het staken van de baggerspeciéstortingen duidelijk tekenen van herstel. Werden hier in 1996 nog maar 4 soorten per schaaftrek gevonden, in 1997 neemt dit aantal toe tot gemiddeld 11. Ook de soortensamenstelling in vak 53 wijkt minder af dan in 1996. Het aantal soorten per schaaftrek verschilt niet significant tussen vak 53, Ref-1 en Ref-2. Wel is de soortenrijkdom lager dan op de ongestoorde referentielocaties (tussen de 15 en 20 per schaaftrek). Voor de ontwikkelingen op het inmiddels als stortlocatie in gebruik genomen vak 29, zie onder Loswal Noordwest.

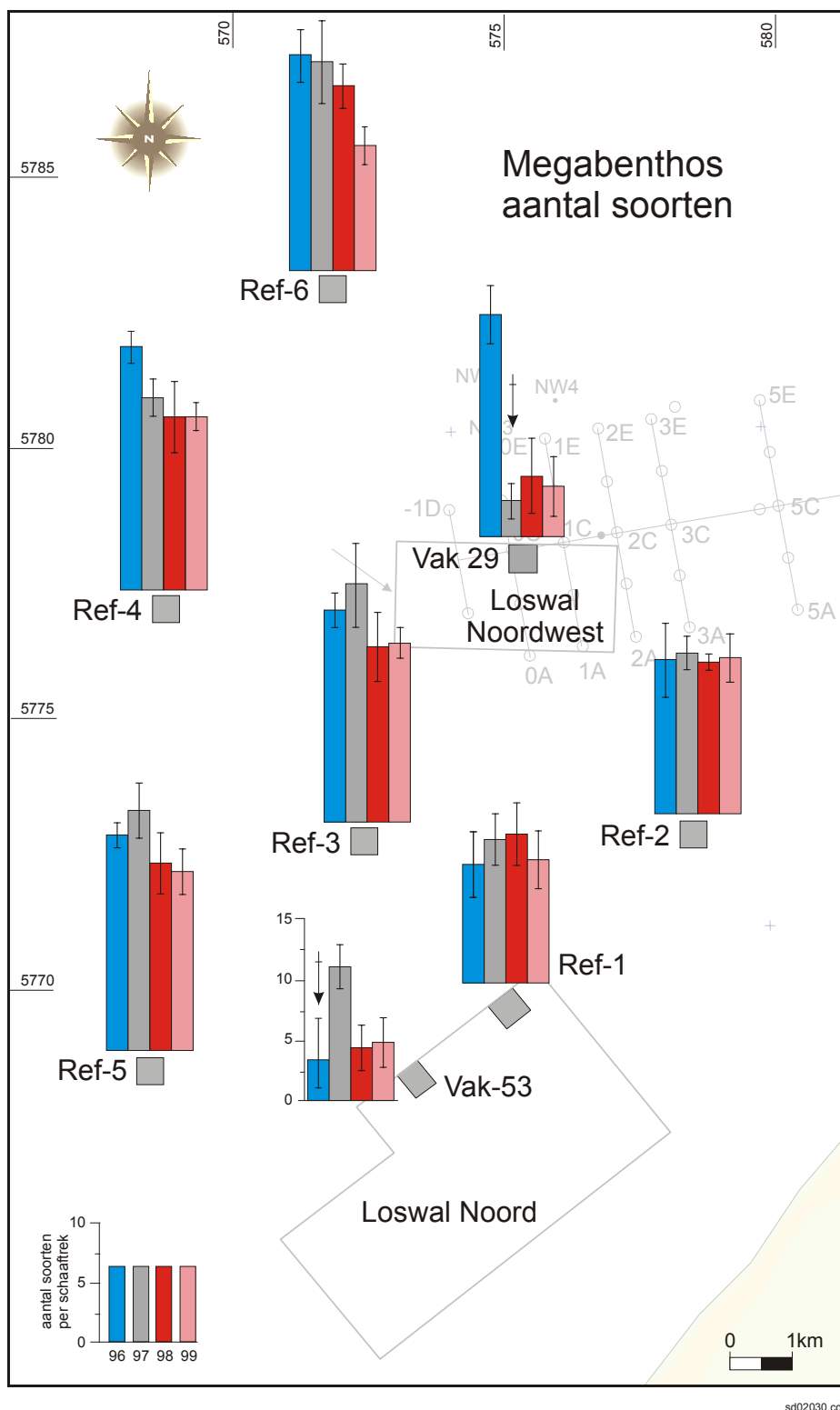
Ook bij de vissen treedt er een herstel op in vak 53. Het aantal vissoorten neemt toe van 0,4 per trek in 1996 tot 3,8 soorten in 1997. De soortenrijkdom is alleen nog significant lager dan de referentiestations Ref-2 en Ref-4.

De relatieve abundantie van het megabenthos in vak 53 verschilt alleen nog significant van Ref-3 en Ref-5. Ook dit wijst op een herstel.

De onderlinge gelijkenis tussen de verschillende schaaftrekken op vak 53 en Ref-1 is kleiner dan op andere stations. Dit betekent dat de faunasamenstelling op de stortlocatie ruimtelijk weinig homogeen is. Op de nieuwe stortlocatie vak 29 is dit overigens in nog sterkere mate het geval.

Bij een aantal soorten, dat in 1996 op vak 53 en Ref-1 nog in zeer lage aantallen aanwezig was of zelfs ontbrak, treedt een herstel op in de dichtheid. Niettemin zijn er op vak 53 en/of Ref-1 nog veel soorten waarbij de dichtheid duidelijk onder die van de meeste referentiestations Ref-2 – Ref-6 blijft, zoals bij de hartegel (*Echinocardium cordatum*) de kleine slangster (*Ophiura albida*), een aantal tweekleppigen, de tepelhoorn (*Euspira poliana*) en het nagelkrabbetje (*Thia scutellata*). Evenals in 1996 is het nonnetje (*Macoma balthica*) alleen op vak 53 en Ref-1 aanwezig. De heremietkreeft (*Pagurus bernhardus*) bereikt haar hoogste dichtheid op vak 53. Bij de meeste tweekleppigen blijkt de locatie Ref-2 meer overeenstemming te vertoont met vak 53 en Ref-1 dan met de overige referentiestations. De garnaal (*Crangon crangon*) is op de kustnabije locaties Ref-1 en Ref-2 wederom in veel hogere dichtheden aanwezig dan op de overige stations. Op vak 53 is de garnaal nu ook duidelijk aanwezig. Bij de vissen is op Ref-1 en Ref-2 de relatief grote dichtheid van de schol (*Pleuronectes platessa*) opvallend.

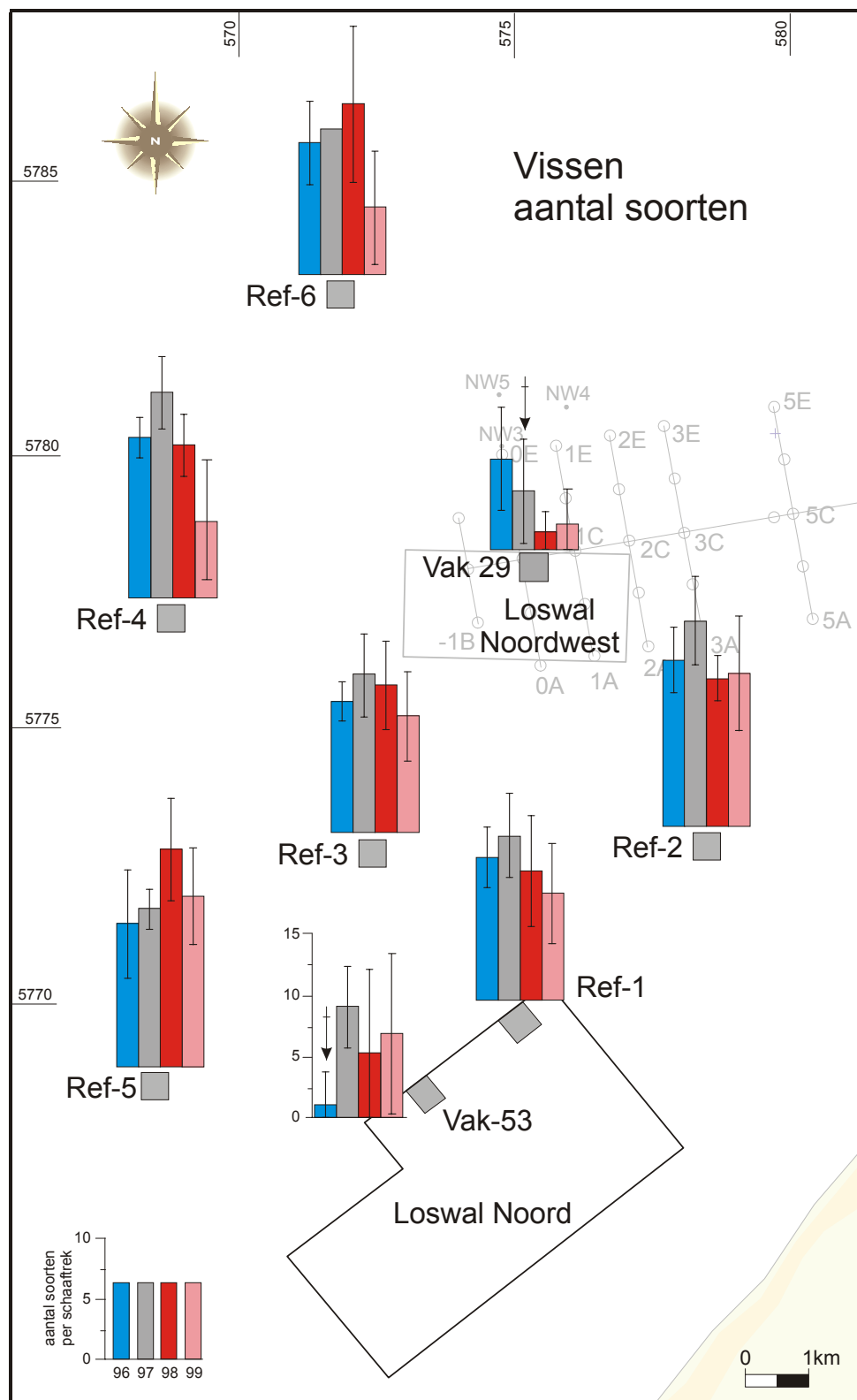
Figuur 12-9 Aantal soorten Megabenthos 1996 t/m 1999



Loswal Noord en Noordwest en referentielocaties in 1996 tot en met 1999. Het gemiddeld aantal soorten megabenthos per schaaftrek met 95% betrouwbaarheidsgrenzen. Pijlen duiden op storting van baggerspecie. (NIOZ)

sd02030

Figuur 12-10 Aantal soorten vissen 1996 t/m 1999



Loswal Noord en Noordwest en referentielocaties in 1996 tot en met 1999. Het gemiddeld aantal soorten vissen per schaaftrek met 95% betrouwbaarheidsgrenzen. Pijlen duiden op storting van baggerspecie. (NIOZ)

sd02031

De halfgeknotte strandschelp (*Spisula subtruncata*) en de kleine slangster (*Ophiura albida*) bereiken verreweg de hoogst waargenomen dichtheden, met name op de referentiestations: tot respectievelijk 127 (Ref-3) en 281 (Ref-2) individuen.m⁻². In 1997 neemt ook de witte dunschaal (*Abra alba*) explosief toe, tot 66 individuen.m⁻², maar alleen op Ref-2.

Loswal Noordwest

Een vergelijking van de sjabloonbemonstering (5 schaaftrekken) in vak 29 met de referentiestations levert het volgende beeld op. Op de inmiddels een jaar in gebruik zijnde stortlocatie vak 29 is de fauna sterk verarmd. Het aantal megabenthossoorten valt terug tot gemiddeld 3 per schaaftrek. In 1996 was de soortenrijkdom er nog 18,5 soorten per trek. De relatieve abundantie is eveneens verminderd.

Ook het aantal vissoorten is veel lager dan op de referentiestations Ref-1 tot en met Ref-6.

De meeste megafaunasoorten ontbreken op vak 29 of zijn daar in zeer lage dichtheid aanwezig. Per soort worden zelden meer dan 1 of 2 exemplaren gevangen. Wel is het opvallend dat het nonnetje (*Macoma balthica*) er verschijnt. Dit tweekleppige schelpdier lijkt in 1996 en 1997 sterk geassocieerd te zijn met locaties waar baggerspecie wordt gestort.

Door het combineren van gegevens uit het monstergrid bij Loswal Noordwest in raaien werd het bestaan van een noord-zuid en een oost-west gradiënt nagegaan. Ondanks dat het de noord-zuid raai 0 is die over het stortvak vak 29 loopt blijkt de noord-zuid raai 8 toch de meest afwijkende te zijn, dezelfde raai die ook in 1996 het meeste afweek.

Bij het vergelijken van de afzonderlijke stations door middel van de Bray-Curtis index komt de schaaftrek OC in het stortvak vak 29 als de meest afwijkende naar voren. In mindere mate is ook het op 1 km gelegen station OB afwijkend, hetgeen duidt op een uitwaaiingseffect.

In OC komen slechts de gewone zwemkrab (*Liocarcinus holsatus*) en de garnaal (*Crangon crangon*) voor, endofauna is geheel afwezig. Op de andere stations varieert het aantal megabenthossoorten tussen 14 en 22 soorten per schaaftrek. Ook het aantal vissoorten op OC was laag.

Ook op basis van de relatieve abundantie scoort OC extreem laag. De vier stations in de onmiddellijke nabijheid van OC hebben relatief lage dichtheden, hetgeen wederom duidt op een uitstralingseffect ter grootte van 1 km, maar dit maal in alle richtingen ten opzichte van OC. De relatief lage dichtheden op de noord-zuid raai 8 werden ook in de t₀ situatie in 1996 gevonden.

Op de locaties OB en 1C, respectievelijk 1 km ten zuiden en 1 km ten oosten van vak 29, vertonen veel soorten, met name kreeftachtigen een verlaagde dichtheid. Bij de garnaal (*Crangon crangon*), gewone zwemkrab (*Liocarcinus holsatus*) en zeester (*Asterias rubens*) strekte een verlaagde dichtheid zich zelfs uit tot locatie 2C op 2 km van de stortlocatie. Ten noorden van vak 29, op de locaties OD en OE, ontbreekt een drietal soorten opvallend of is in een sterk verlaagde dichtheid aanwezig: de hartegel (*Echinocardium cordatum*), de witte dunschaal (*Abra alba*) en de gewone garnaal (*Crangon crangon*). Dit laatste fenomeen kon echter niet gerelateerd worden aan een gewijzigde sedimentsamenstelling.

12.2.3 Megafauna 1998

Voor een gedetailleerde beschrijving van het onderzoek van het NIOZ in 1998 wordt verwezen naar Daan *et al.* 1999.

Loswal Noord Het in 14.4.2 beschreven herstel op de voormalige stortlocatie vak 53 blijkt in 1998 niet door te zetten. Integendeel, de soortenrijkdom en de gelijkenis van de faunasamenstelling met die op de referentielocaties nemen zelfs af. Het herstel, dat zich in 1997 op de eveneens binnen Loswal Noord gelegen locatie Ref-1 en de erbuiten gelegen locatie Ref-2 had aangediend, zette wel door. De soortenrijkdom is nog wel wat lager dan op de referentiestations maar het verschil is niet langer significant.

Ook bij de vissen neemt op vak 53 de soortenrijkdom af ten opzichte van 1997. Het gemiddeld aantal vissoorten per trek bedroeg 2,2. Dit was laag ten opzichte van de referentielocaties en het verschil met Ref-5 (7,4 soorten) was significant.

De dichtheid van het megabenthos op locatie vak 53, uitgedrukt als de relatieve abundantie, is veel lager dan op de referentiestations Ref-2 tot en met Ref-6. Ref-1 neemt een tussenpositie in. Bij de dichtheid van de vissen is alleen het verschil tussen vak 53 en Ref-5 significant.

Het onderlinge verschil van de vijf schaaftrekken op vak 53 is groter dan op andere stations. Dit betekent dat de faunasamenstelling op de stortlocatie ruimtelijk weinig homogeen is.

Soorten die op de referentiestations meestal algemeen zijn, zoals de Hartegel (*Echinocardium cordatum*), keren op vak 53 nog steeds niet terug. Met name de mobiele soorten die het vak in 1997 hadden ge(re)koloniseerd, zijn in 1998 weer nagenoeg verdwenen. Zo ontbrak de in 1997 op vak 53 teruggekeerde garnaal in 1998 geheel. Het nonnetje (*Macoma balthica*), een sterke indicator voor slib, is algemeen op Ref-1 maar verdwijnt bij vak 53. De schol (*Pleuronectes platessa*) ontbreekt op vak 53 en Ref-1, de schar (*Limanda limanda*) is in lage dichtheid aanwezig op vak 53.

De kleine slangster (*Ophiura albida*) bereikt verreweg de hoogst waargenomen dichtheden, met name op de referentiestations: tot 490 (Ref2) individuen.m⁻².

Loswal Noordwest

Zowel voor megabenthos als voor vissen (sjabloonbemonstering) is het aantal soorten in vak 29 zeer significant lager dan op de referentiestations. De relatieve abundantie is eveneens lager.

De onderlinge gelijkenis tussen de verschillende schaaftrekken op vak 29 is kleiner dan op referentiestations. Dit betekent dat de faunasamenstelling op de stortlocatie ruimtelijk weinig homogeen is.

Het optreden van een noord-zuid en een oost-west gradiënt werd nagegaan door het samennemen van de gegevens uit het monstergrid bij Loswal Noordwest. Evenals in 1996 en 1997 blijkt de noord-zuid raai 8, met een gemiddeld aantal soorten van 11,8, de meest afwijkende te zijn. Dit was zelf lager dan op de noord-zuid raai 0 (13,6 soorten) waarin station OC (met slechts 3 soorten) lag. Het verschil tussen de noord-zuid raai 8 en de overige raaien (14,4 – 17,4 soorten) neemt echter af.

In trek OC in het stortingsvak is het megabenthos net als het jaar ervoor zeer sterk verarmd en is er geen teken van herstel. De dichtheid van sessiele soorten, die met betrekking tot de rekolonisatie afhankelijk zijn van de vestiging van larvale stadia is vrijwel zonder uitzondering laag. Dit geldt ook voor mobiele soorten, die door te migreren het gebied actief zouden kunnen rekoloniseren. Dit laatste wijst erop dat deze soorten het stortingsvak nog steeds mijden.

Ook het aantal soorten vissen op vak 29 is net als in 1997 zeer significant lager dan op alle referentielocaties.

Op drie locaties (OB, 1B en 1C) op één km ten oosten en ten zuiden van OC zijn ook effecten te constateren, zowel op het megabenthos als het aantal vissoorten. Voor een deel hangt dit samen met een verplaatsing van de stortlocatie naar een positie in de buurt van 1C. De effecten op deze locaties manifesteren zich duidelijker dan in 1997, zowel op gemeenschapsniveau (geringe soortenrijkdom, geringe gelijkenis van de faunasamenstelling met verderaf gelegen locaties) als bij de afzonderlijke soorten. Vooral het ontbreken van een negental soorten, die in de rest van het gebied min of meer talrijk zijn, is indicatief voor het uitwaaiingseffect van de stortingen op Loswal Noordwest. Voorbeelden in dit opzicht zijn de zeester (*Asterias rubens*), hartegel (*Echinocardium cordatum*) en garnaal (*Crangon crangon*).

Het juist talrijk voorkomen van het nonnetje (*Macoma balthica*) op OC kan gezien worden als een effect van stortingen, omdat deze slibminnende soort oorspronkelijk niet voorkwam in het van nature zandige gebied waarin de stortvak ligt.

12.2.4 Megafauna 1999

Voor een gedetailleerde beschrijving van het onderzoek van het NIOZ in 1999 wordt verwezen naar Daan *et al.* 2000.

Loswal Noord Evenals in 1998 stagneert het in 14.4.2 beschreven herstel op de voormalige stortlocatie vak 53. De soortenrijkdom van het megabenthos is er zeer significant lager dan op de referentiestations. Ook de gelijkenis van de faunasamenstelling met die op de referentielocaties blijft klein. Op de eveneens binnen Loswal Noord gelegen locatie Ref-1 vond gedurende 1997 en 1998 herstel plaats, maar in 1999 was dit proces zeker nog niet ten einde. Ref-1 had in 1999 zelfs een significant kleinere soortenrijkdom dan de stations Ref-3 tot en met Ref-5.

Ook bij de vissen blijft de soortenrijkdom in vak 53 laag ten opzichte van de referentielocaties. Door het geringe aantal vissoorten was dit verschil echter niet significant.

De dichtheid van het megabenthos op locatie vak 53, uitgedrukt als de relatieve abundantie, is veel lager dan op de referentiestations Ref-2 tot en met Ref-6. Ref-1 neemt een tussenpositie in. Deze situatie is identiek aan 1998. Bij de dichtheid van de vissen is er niet langer een verschil tussen vak 53 en de referentiestations.

Het onderlinge verschil van de vijf schaaftrekken op de stortlocatie vak 53 is nog steeds groter dan op de referentiestations. Dit betekent een ruimtelijk

relatief heterogene faunasamenstelling. De onderlinge gelijkenis van de schaaf trekken in vak 53 is wel weer toegenomen sinds 1998.

Het patroon per soort leek erg op 1998. Soorten die op de referentiestations meestal algemeen zijn, zoals de Hartegel (*Echinocardium cordatum*), keren op vak 53 nog steeds niet terug. De in 1998 op vak 53 ontbrekende garnaal keerde in 1999 weer terug. Het nonnetje (*Macoma balthica*), een sterke indicator voor slib, is nog steeds aanwezig op Ref-1. Sinds 1998 is het nonnetje bij vak 53 verdwenen, hetgeen op een herstel in de richting van een meer grofzandige locatie kan duiden. De schol (*Pleuronectes platessa*) is in 1999 voor het eerst in het voormalige stortvak te vinden.

De kleine slangster (*Ophiura albida*) bereikt verreweg de hoogst waargenomen dichtheden, met name op de referentiestations: tot 165 (Ref5) individuen.m⁻².

Loswal Noordwest

De Bay-Curtis index laat zien dat vak 29 het meest afwijkt van de referentiestations (sjabloonbemonstering). Zowel voor megabenthos als voor vissen is het aantal soorten in vak 29 (zeer) significant lager dan op de referentiestations. Ook de gemiddelde dichtheid (relatieve abundantie) is bij beide groepen lager dan op de referentiestations. De meeste soorten ontbreken op vak 29 of zijn in lage dichtheid aanwezig. Opvallend is wel weer de relatief hoge dichtheid van het nonnetje (*Macoma balthica*). Dit slibminnende schelpdier komt verder alleen - in een lage dichtheid - op Ref-1 voor. Ook de halfgeknotte strandschelp (*Spisula subtruncata*) bereikt haar hoogste dichtheid in vak 29. Dit kan worden toegeschreven aan het resultaat van slechts één van de vijf schaaf trekken.

Naast de vergelijking van de schaaf trekken in vak 29 met de referentiestations wordt de middelste van de vijf trekken vergeleken met een grid van 5 x 6 andere schaaf trekken nabij Loswal Noordwest. Evenals in de vorige jaren blijkt de noord-zuid raai 8, qua megabenthos een relatief lage soortenrijkdom te hebben.

In het stortingsvak (trek 0C) is het megabenthos nog steeds zeer sterk verarmd zowel qua soortenrijkdom als dichtheid (relatieve abundantie) en is er geen sprake van een teken van herstel.

Op drie locaties (0B, 1B en 1C) op één km ten oosten en ten zuiden van 0C is de soortenrijkdom van het megabenthos ook sterk verlaagd, lager nog dan 1998. Ook de relatieve abundantie is laag. Daarnaast wordt in 1999 voor het eerst een relatief laag aantal soorten gevonden op de drie zuidelijke stations (3A, 3B en 3C) van de noord-zuid raai 3. Het vrijwel geheel ontbreken van zeker acht soorten, die in de rest van het gebied min of meer talrijk zijn, is indicatief voor het uitwaaiingseffect van de stortingen op Loswal Noordwest. Voorbeelden in dit opzicht zijn de zeester (*Asterias rubens*), hartegel (*Echinocardium cordatum*), de kleine slangster (*Ophiura albida*), dwarsgestreepte platschelp (*Angulus fabula*) en garnaal (*Crangon crangon*).

Het juist talrijk voorkomen van het nonnetje (*Macoma balthica*) op 0C, 0B en 1B kan gezien worden als een effect van stortingen, omdat deze slibminnende soort oorspronkelijk niet voorkwam in het van nature zandige gebied waarin de stortvak ligt.

12.2.5 Megafauna ontwikkeling 1995-1999

Algemeen

De gelijkenis tussen de schaaf trekken binnen een station is steeds groter dan tussen de schaaf trekken van verschillende stations. Dit wijst op het bestaan van ruimtelijk systematische verschillen tussen de diverse stations. Er is blijkbaar een zodanige variatie in de megafaunasamenstelling dat er overeenkomsten zijn op de schaal waarop sjabloonbemonsteringen werden uitgevoerd: enkele honderden meters (4 x 80 m). Deze overeenkomsten zijn groter dan tussen de verschillende stations (onderlinge afstand 2 tot ruim 15 kilometer).

Een vergelijking tussen de zes noord-zuid raaien van Loswal Noordwest in de verschillende onderzoeksjaren laat zien dat de faunasamenstelling tussen 1996 en 1999 op alle raaien dezelfde ontwikkeling doormaakt.

Deze verandering wordt in belangrijke mate veroorzaakt door een duidelijke toename van de kleine slangster (*Ophiura albida*), de witte dunschaal (*Abra alba*) en de zeester (*Asterias rubens*) in de periode 1996 - 1998. In 1999 nemen deze soorten weer af. Omdat de kleine slangster (*Ophiura albida*) en de witte dunschaal (*Abra alba*) een belangrijk aandeel (kunnen) vormen van de totale faunasamenstelling kunnen hun aantalsfluctuaties in belangrijke mate bijdragen aan de waargenomen trend over de vier onderzoeksjaren. De afgeknotte strandschelp (*Spisula subtruncata*), ovalen strandschelp (*Spisula elliptica*), stevige strandschelp (*Spisula solida*), Amerikaanse zwaardschede (*Ensis americanus*) en het Nagelkrabbetje (*Thia scutellata*) vertonen een algehele achteruitgang in de periode 1996-1999. Ook de tepelhoorn (*Euspira poliana*) nam gedurende de periode 1996-1998 sterk af en was in 1999 vrijwel verdwenen.

Een algehele toename wordt gevonden bij de hartegel (*Echinocardium cordatum*), een toename met stabilisatie in 1999 bij de dwarsgestreepte platschelp (*Angulus fabula*). De gewone zwemkrab (*Liocarcinus holsatus*) en grondel (*Pomatoschistus* sp.) bereiken hun grootste dichtheid in 1997.

Loswal Noord

Het effect van het storten van baggerspecie komt duidelijk tot uiting in de structuur van de megafaunagemeenschap. Ten tijde van de storting op Loswal Noord is er op de stortlocatie vak 53 en het nabijgelegen Ref-1 een sterke verarming van het aantal soorten en een geringe dichtheid (relatieve abundantie). Het nonnetje (*Macoma balthica*) weet op de korte termijn echter van deze situatie te profiteren.

Er lijkt een uitstralingseffect aantoonbaar, zowel in de sedimentsamenstelling als in de samenstelling van de megabenthosgemeenschap op Ref-1, op een afstand van ongeveer twee km van de stortlocatie. De situatie op Ref-2 doet zelfs vermoeden dat een uitstralingseffect zich tot op zeven kilometers zou kunnen uitstrekken. Het effect manifesteert zich in een sterk verarmde soortenrijkdom, een geringe dichtheid (relatieve abundantie) en een zeer geringe gelijkenis van de fauna met overige stations. Ref-1 ligt echter op een plaats waar ook ooit baggerspecie is gestort. Ten aanzien van Ref-2, heeft het onderzoek bij Loswal Noordwest aanwijzingen opgeleverd voor een natuurlijke gradiënt met kustwaarts een lage soortenrijkdom en dichtheid van het megabenthos. Omdat Ref-2 ook dicht bij de kust ligt is het dus niet zeker dat effecten van het storten van baggerspecie tot op meer dan enkele kilometers aantoonbaar zijn.

Na beëindiging van de storting in 1996 lijkt binnen een jaar een snel herstel op te treden, maar dit herstel zet in de twee jaren daarna niet door. Op Ref-1, een 'referentiestation' op Loswal Noord, waar al veel langer niet gestort is, treedt eveneens een stagnatie in het herstel op. De soorten die op Loswal Noord terugkeren behoren overwegend tot de mobiele soorten - veelal kreeftachtigen en vissen - terwijl ingegraven soorten zoals stekelhuidigen en schelpdieren opvallend ontbreken of nauwelijks terugkeren. Het ontbreken van het nonnetje (*Macoma balthica*) vanaf 1998 in vak 53 duidt wel op een verandering in de richting een grovere sedimentsamenstelling..

Loswal Noordwest

Ook op deze loswal komt het effect van het storten van baggerspecie overduidelijk tot uiting in de structuur van de megafaunagemeenschap. Op de stortlocatie vak 29 vindt kort na de start van de stortingen een sterke verarming van het aantal soorten plaats - endofauna is zelfs geheel afwezig - en ontstaat een lage dichtheid (relatieve abundantie). Op het later in gebruik genomen vak nabij 1C treedt een vergelijkbare verarming op.

Het nonnetje (*Macoma balthica*) weet als slibminnend schelpdier als een van de weinige soorten te profiteren van de storting van baggerspecie, zowel op de stortlocatie als in de nabije omgeving.

Kort na de aanvang van de storting van baggerspecie in vak 29 in 1997 worden al duidelijke uitstralingseffecten gevonden. Deze doen zich voor tot op 1 km en in alle richtingen. Twee jaar later worden zelfs effecten op de megafauna gevonden tot op 3 km van locatie 1C. Dit station ligt dicht bij het sinds 1998 in gebruik genomen stortvak 30.

In vak 29 treedt na de beëindiging van de stortingen nauwelijks herstel op. Een herstel mocht wellicht ook nog niet worden verwacht, enerzijds gezien de nabijheid van de nieuwe stortlocatie bij 1C, anderzijds vanwege het korte tijdbestek waarin een eventueel herstel op Loswal Noordwest onderzocht kon worden.

12.3 Samenvatting

12.3.1 Macrobenthos

Het effect van de storting van baggerspecie op **Loswal Noord** tot in 1996 is evident: lokaal worden zowel een extreem lage soortenrijkdom, dichtheid als biomassa aangetroffen.

Het ecologisch herstel zoals gemeten in termen van aantallen soorten, dichtheid en biomassa verloopt bijzonder snel. In vergelijking met de andere stations op Loswal Noord is er één jaar na het beëindigen (juni 1996) van de storting al geen verschil meer te zien. In 1998 worden op de stortlocatie N5 voor de soortenrijkdom, dichtheid en biomassa zelfs hogere waarden gevonden dan in de omgeving. In 1999 vallen de hoge waarden op de stortlocatie wat terug en neemt het verschil ten opzichte van de omgeving weer af. Wel is het de vraag in welke mate de gekozen referentie stations op Loswal Noord in het verleden beïnvloed zijn door de gestorte baggerspecie. De clusteranalyse (Tabel 12-7, Figuur 12-7) geeft echter aan dat de stortlocatie N5 op Loswal Noord in 1997 al clustert met referentiestations 2C – 5C op Loswal Noordwest (cluster IIb1). Dit is een sterke indicatie voor een daadwerkelijk herstel binnen een jaar. Dat na een jaar toch nog geen echte stabiele eindsituatie wordt bereikt, wordt geïllustreerd door het als het ware doorschieten van de soortenrijkdom, dichtheid en biomassa in 1998. Deze ontwikkeling kan waarschijnlijk gerelateerd worden aan sedimentologische karakteristieken. De simultane aanwezigheid van grof en fijn sediment kan in beginsel tot een groot aantal soorten leiden. Alhoewel het slibgehalte en de mediane korrelgrootte zich op de stortlocatie leken te herstellen bleek de verticale bodemopbouw toch allerminst hersteld (§ 5.1.2).

Op **Loswal Noordwest** is er ook een duidelijk effect van het storten. Vóór de aanvang van de baggerspeciestorting (1 juli 1997) bedraagt de soortenrijkdom op de meeste locaties 23 – 33 soorten. In 1997, elf maanden na aanvang van het storten, is op de stortlocatie OC het aantal soorten afgenomen tot 10. Het storten in vak 30 bij locatie 1C (in 1998 en 1999) heeft eveneens een sterke achteruitgang van zowel de soortenrijkdom, de dichtheid als biomassa tot gevolg. In 1998 is hier een opvallende gelijkenis van de soortensamenstelling met die op locatie N5 op Loswal Noord in de periode 1995-1996 toen daar nog gestort werd (Figuur 12-7, cluster III). Op zowel station OC als 1C ontstaan er ten tijde van de storting en daarna steeds nieuwe macrobenthosgemeenschappen (Tabel 12-7, Figuur 12-7).

Tot op één kilometer afstand van de stortlocaties OC en 1C treden (bescheiden) uitstraaleffecten op in de vorm van een lage soortenrijkdom (Figuur 12-8), dichtheid en biomassa.

Ook op Loswal Noordwest lijkt een snel herstel op te treden: in 1998, twee maanden na het beëindigen van de storting op OC, is de soortenrijkdom al verdubbeld tot 21. De dichtheid en de biomassa blijven in 1998 en 1999 echter laag. Het is mogelijk dat OC in 1999 nog onder invloed stond van de stortingen bij 1C. Op Loswal Noordwest is het onderzoek van te korte duur om harde uitspraken over een herstelltijd te doen.

Het voornaamste onderscheid in de soortensamenstelling wordt gevormd tussen de clusters I en II op meestal slibarme stations vs. de clusters III tot en met VIII op slibrijke stations (Tabel 12-7). In clusters I en II domineren vooral

polychaete wormen. In de overige clusters ontbreken dominante soorten, dan wel domineren een of twee karakteristieke soorten.

Tussen 1996 en 1997 treedt er op alle locaties een grote verandering op in de soortensamenstelling (Tabel 12-7). Er is een flinke toename van het aantal soorten en de dichtheid, vooral bij Loswal Noordwest (Figuur 12-4 t/m Figuur 12-6). Er bestaan ook dominantieverschillen tussen beide jaren. Deze verschillen houden waarschijnlijk verband met het weer: in de winter van 1996/97 was er een lage temperatuur van het zeewater.

12.3.2 Megafauna

Evenals bij het macrobenthos (14.5.1) is het effect van het storten van baggerspecie ook in de structuur van de megafaunagemeenschap overduidelijk aantoonbaar. Zowel ten tijde van de storting op Loswal Noord in vak 53 als op Loswal Noordwest in vak29 (0C) en vak 30 (1C) is er op deze stortlocaties een sterke verarming van het aantal soorten en een geringe dichtheid. Het nonnetje (*Macoma balthica*) weet als een van de weinige soorten te profiteren van de storting van baggerspecie op Loswal Noordwest. Dit slibminnende schelpdier bereikt alleen hoge dichtheden op en rond de stortlocaties. Het is niet duidelijk of *M. balthica* zich ter plekke als larve vestigt dan wel dat zij in een juveniel stadium met het Rotterdamse slib_{< 63 µm} wordt aangevoerd.

Ook hier is een uitstralingseffect aantoonbaar, zowel in de sedimentsamenstelling als in de samenstelling van de megabenthosgemeenschap op een afstand van minstens 1 km van de stortlocatie. Het effect manifesteert zich in een sterk verarmde soortenrijkdom, een geringe dichtheid (relatieve abundantie) en een zeer geringe gelijkenis van de fauna met overige stations. De situatie op Ref-2 doet vermoeden dat een uitstralingseffect zich tot op enkele kilometers kan uitstrekken, maar hier speelt mogelijk een effect van de kustnabije positie van deze locatie (zie onder).

Op Loswal Noord lijkt na beëindiging van de storting (in juni 1996) binnen een jaar een snel herstel op te treden, maar dit herstel zet in de twee jaren daarna niet door. Op Ref-1, een 'referentiestation' op Loswal Noord, waar al veel langer niet gestort is, treedt eveneens een stagnatie in het herstel op. De soorten die op Loswal Noord terugkeren behoren overwegend tot de mobiele soorten - veelal kreeftachtigen en vissen - terwijl ingegraven soorten zoals stekelhuidigen en schelpdieren opvallend ontbreken of nauwelijks terugkeren. Deze ingegraven soorten zijn voor een herstel vooral afhankelijk van de kolonisatie door larven. Het is mogelijk dat het slibgehalte van het sediment een succesvolle vestiging en/of metamorfose van deze larven verhindert.

Tussen 1996 en 1999 maken alle stations qua megafaunasamenstelling vergelijkbare ontwikkelingen door. Evenals bij het macrobenthos wordt bij een aantal soorten, na een aanvankelijke toename tussen 1996 en '97, een afname geconstateerd in de jaren daarna. Daarnaast is er een duidelijke toename van de kleine slangster (*Ophiura albida*) en de zeester (*Asterias rubens*) in de periode 1996 - 1998. De tepelhoorn (*Euspira poliana*) en de afgeknotte strandschelp (*Spisula subtruncata*) laten over de gehele onderzoeksperiode een continue afname zien.

Naast de temporele variatie zijn er tijdens de gehele onderzoeksperiode ook consistente ruimtelijke patronen. Opvallend is vooral de lage soortenrijkdom - in alle jaren - op de noord-zuid raai 8 bij Loswal Noordwest. Omdat deze

noord-zuid raai het dichtst bij de kust ligt is dit een indicatie voor een kustwaartse afname van de soortenrijkdom.

Deze temporele en ruimtelijke patronen zijn niet van dien aard dat ze de extreme effecten van de storting van baggerspecie kunnen verhullen. De mogelijke kustwaartse afname van zowel soortenrijkdom als dichtheid vormt wel een probleem bij de interpretatie van uitstraaleffecten op Loswal Noord. Op Loswal Noordwest vormt de natuurlijke variatie echter geen belemmering om uitstraaleffecten te onderscheiden.

Een groter probleem wordt ondervonden bij soorten met een lage dichtheid. De ruimtelijke variatie is daarbij in het algemeen zó groot is dat eventuele effecten van de storting van baggerspecie erdoor gemaskeerd worden.

12.3.3 Macrobenthos en Megafauna

Het onderzoek van AquaSense en het NIOZ levert een vergelijkbaar beeld op: extreme effecten van het baggerspecie op de stortingslocaties en duidelijke uitstralingseffecten tot op een afstand van minstens 1 km. Na het beëindigen van de stortingen kan binnen een jaar een herstel optreden in de soortenrijkdom, maar op de wat langere termijn heeft dit onderzoek laten zien dat een structureel herstel langer vergt dan het beperkte aantal jaren dat voor deze studie beschikbaar was. Een belangrijk aspect in dit verband vormt de sedimentsamenstelling op de stortlocaties. Terwijl het oppervlakkige deel van de zeebodem snel lijkt te herstellen, blijven restanten van de gestorte baggerspecie met hoge slibgehalten op enige diepte (~15 cm) duidelijk aanwezig. Het is goed denkbaar dat de aanwezigheid van dit materiaal een volledig herstel van het bodemleven in de weg staat.

13 Literatuurstudie: effecten van baggerspecie op bodemecosysteem

De bedoeling van dit hoofdstuk is aan te geven wat er in de literatuur bekend is over de ecologische effecten van de storting van baggerspecie op het bodemleven: het macro- en megabenthos en bodemvissen. Daarbij komen met name effecten aan bod die verband houden met het begraven raken onder sediment en kolonisatie, zoals die zijn gevonden voor het Nederlandse deel van de Noodzee en vergelijkbare wateren en aansluitend op de belangrijkste soorten die door het NIOZ en AquaSense op de Loswallen zijn bemonsterd.

De inspanning voor deze bijdrage kwam vooral tot stand door het raadplegen van literatuur over de ecologische effecten van zandwinning en de storting van baggerspecie die uit Nederland afkomstig is en de referenties die daarin genoemd worden. Nederlandstalige overzichtsrapporten die specifiek daarop ingaan zijn: De Groot (1983), Bijkerk (1988), Essink (1993) en Van Dalfsen (1999). Deze rapporten bieden een goede basis voor de ontsluiting van relevante literatuur.

13.1 Storting en baggerspecie

Om de effecten van de storting van baggerspecie goed te kunnen interpreteren wordt kort gememoreerd waar de storting uit bestaat en hoe het bodemmateriaal zich op de Loswallen kan gedragen.

Baggerspecie en slib, definitie

Baggerspecie is het materiaal dat in de haven wordt opgebaggerd en vervolgens op een loswal wordt gestort. Het bestaat uit een combinatie van water, slib_{< 63 µm} en zand. In vergelijking met zand bestaat het fijnere slib_{< 63 µm} meestal uit een groter percentage organisch materiaal. De definitie van *slib* verschilt per discipline (Joordens et al. 1999). Er zijn allerlei, met name Engelstalige, benamingen in omloop, zoals *silt*, *mud*, *suspended matter* e.a., voor verschillende typen slibdeeltjes die zich al of niet in de waterfase bevinden. In dit onderdeel van deze studie wordt onder slib verstaan: de sedimentfractie met een afmeting (deeltjesgrootte) kleiner dan 63 (NIOZ) of 53 (AquaSense) µm. De resterende grovere fractie van de baggerspecie bestaat uit *zand*. Waar hier verder wordt gesproken over *sediment* of baggerspecie wordt de combinatie van zand en slib bedoeld.

Gedrag en lot baggerspecie

Op de loswallen wordt jaarlijks gemiddeld circa 12 miljoen m³ licht verontreinigde baggerspecie (~ 7,4 miljoen ton droge stof) gestort. Ruim de helft daarvan is zand, het resterende deel bestaat uit slib_{< 63 µm} (zie ook hoofdstuk 2). Het zand blijft voor het grootste deel (>80 %) ter plekke liggen. Van het slib_{< 63 µm} belandt in eerste instantie wel 95 % op of bij de bodem, maar afhankelijk van waterbeweging wordt een groot deel hiervan vroeger of later weggevoerd. Het transport door getijstromen (en reststroom) is een regelmatig proces, stormgedreven golven hebben een meer incidenteel effect. Voor een deel vindt het slibtransport plaats in de vorm van een 'dichtheidslaag' (slibdeken) van enkele decimeters dikte. Deze slibdeken wordt onder invloed

van een zout-zoet gradiënt over de bodem in de richting van de kust wordt getransporteerd. Tegelijkertijd wordt het slib_{< 63 µm} ook met de reststroom meegevoerd in noordoostelijke richting (bij Loswal Noordwest is dit effect groter dan bij Loswal Noord). Van het gestorte slib_{< 63 µm} resteert uiteindelijk maar 20 % op de Loswal. Voor het effect op de organismen is het van belang om de consistentie en het gedrag van een slibdeken te kennen: hoe dik is deze laag en hoe lang blijft deze op een locatie aanwezig? Dit is voor de Loswallen eigenlijk onvoldoende bekend.

Het grootste deel van het sediment dat op de loswal overblijft is bestaat dus uit zand. Een indicatie van de afmeting van een stortingslocatie blijkt uit Figuur 6-3: de diameter van gebieden waar een verhoging van bodem werd gemeten was ongeveer 2,5 tot 3 km. De grootste hoogte lag in het midden van vak 29 en bedroeg bijna 7 m. Wel is het aannemelijk dat op de eigenlijke stortlocatie direct na de storting een wat dikkere laag aanwezig was.

13.2 Effecten van baggerspecie, een overzicht

Bij ecologische effecten van baggerspeciéstorting kunnen een aantal directe en indirecte effecten worden onderscheiden:

- vertroebeling (doorzicht, reductie primaire productie)
- slibdeeltjes in de waterfase (verandering voedsel en efficiëntie filterfeeding)
- depositie (begraven)
- verandering bodemtopografie en verondieping (verandering biotoop)
- verandering sedimentkarakteristieken (sedimentvoorkeur organismen)
- veranderde chemische samenstelling van het sediment (ecotoxicologie en eutrofiëring)
- verandering in de ecologie: voedselketen en predatie

Al deze effecten kunnen doorwerken op de ecologie van het bodemleven: het macro-/megabenthos en/of de vissen.

Vertroebeling

Vertroebeling van de waterfase treedt zowel op door het storten van baggerspecie als door opwerveling van sediment. Terwijl de baggerspecie naar de bodem zinkt wordt zij door de heersende getijdenstroom meegevoerd. Hoe fijner de specie des te langer duurt het verticale transportproces en des te verder worden de deeltjes getransporteerd. Naarmate de turbulenties van het water heviger is zullen fijne deeltjes langer onderweg zijn naar de bodem.

Door vertroebeling neemt het doorzicht voor organismen af. Voor vissen die voor hun levensfuncties (voedsel zoeken en voortplanting) afhankelijk zijn van het zicht betekent dit een nadeel. De keerzijde van de medaille is dat sommige bodemorganismen juist bescherming genieten tegen predatoren die van het zicht afhankelijk zijn. Te denken valt bijvoorbeeld aan predatie door zeevogels op grondels. Bij het foerageren van de Zwarte Zee-eend op *Spisula* zou het doorzicht geen rol van betekenis spelen. Vertroebeling biedt in dit geval dus geen bescherming tegen predatie.

Door vertroebeling ontvangt plantaardig plankton minder licht. In de kustzone is licht toch al vaak een beperkende factor voor het fytoplankton, dus de onmiddellijke effecten daarvan zijn bescheiden. Voor zover er toch een vermindering van de primaire productie is kan dat lokaal leiden tot een verminderde voedselbeschikbaarheid voor het bodemleven. Wellicht wordt de verminderde productie elders gecompenseerd. Bovendien betekent een verminderde productie ook vaak een verandering van de algensamenstelling. Omdat niet alle fytoplanktonsoorten even geschikt zijn als voedsel voor bodemdieren is het met de huidige kennis van zaken niet doenlijk om een eventuele verminderde primaire productie direct te vertalen in effecten op het bodemleven.

Intermezzo - I

Slib_{<63 µm} komt van nature voor in de kustzone

Een belangrijke deel van het slib_{<63 µm} in de Hollandse kustzone (breedte 20 km) is afkomstig uit het Kanaal. Daarnaast ontstaat er slib_{<63 µm} op de Vlaamse banken, een erosiegebied voor de Belgische kust (ICONA 1992). Omdat veel rivierslib uitzinkt in het Hollands diep en Haringvliet speelt dit een relatief onbelangrijke rol. Dit betekent echter tevens dat de stort van baggerspecie als bijdrage van fluviatiel slib aan de kustzone juist des te belangrijker is.

Het jaarlijkse transport langs de Nederlandse kust bedraagt ongeveer 10 miljoen ton. Dit is ruim 2,5 maal de jaarlijkse hoeveelheid slib (3,6 miljoen ton), aanwezig in de baggerspecie uit de haven van Rotterdam, die op de Loswal wordt gestort.

Het slibgehalte in de kustzone van de zuidelijke Noordzee is het hoogste van de hele Noordzee (> 10 mg/l). Aan de bodem is het slibgehalte in het algemeen nog hoger dan aan het oppervlak - soms wel tot een factor 3 (Eisma & Kalf 1987). Dit betekent dat de macrofauna die van nature in de kustzone aanwezig is al aan de aanwezigheid van hoge slibgehalten is aangepast.

Van Dalfsen (1999) gaat dieper in op de slibbalans voor de Nederlandse kustzone.

Slibdeeltjes in de waterfase

Voor macrobenthos kan slib_{<63 µm} positief zijn (als voedsel) en / of negatief (door verdunning van voedsel en verontreiniging – voor dit laatste aspect zie onder: chemische samenstelling). Veel onderzoek benadrukt met name het negatieve effect (Joordens et al. 1999).

De kwaliteit van slib_{<63 µm} is belangrijk. Slib_{<63 µm} bestaat voor een deel uit organisch materiaal in de vorm van dode en levende algen en bacteriën die als potentieel voedsel voor benthosorganismen een zekere voedingswaarde vertegenwoordigen. Daarnaast kan slib_{<63 µm} door verkleving en vlokvorming (*flocculatie*) bewerkstelligen dat een afstervende fytoplanktonbloei versneld uitzakt en op die manier als voedsel beschikbaar komt. Bij diverse tweekleppigen is aangetoond dat er een correlatie is tussen het gehalte aan chlorofyl en organisch materiaal in gesuspendeerd materiaal en de groei van deze schelpdieren (Essink 1999). Soms nemen zowel de dichtheid als diversiteit toe als gevolg van baggerwerkzaamheden (Poiner & Kennedy 1984).

De aanwezigheid van fijne slibdeeltjes in de waterfase betekent dat het voor bodemorganismen lastig kan zijn om een onderscheid te maken tussen deze deeltjes en geschikt voedsel in de vorm van bijvoorbeeld algen. Naarmate de

hoeveelheid onbruikbaar materiaal toeneemt, moeten filterfeeders meer energie stoppen in mechanismen om deze deeltjes van elkaar te scheiden. Mosselen (*Mytilus edulis*) weten overigens hun filtratiemechanisme (kieuwen en palpen) aan te passen aan de hoeveelheid gesuspendeerd materiaal (Essink 1993).

Ook depositfeeders, die neergeslagen materiaal van de bodem eten, zullen meer moeite hebben om geschikt voedsel tussen het onbruikbaar baggerspecie te selecteren.

Bij vissen zou een hoge sliblast bovendien irritatie en mogelijk het verstoppert van kieuwen kunnen betekenen.

In verband met de effecten van de storting van baggerspecie is het dus van belang rekening te houden met de voedingswijze van het bodemleven.

Algemene filterfeeders op de loswallen zijn bijvoorbeeld de Amerikaanse zwaardschede (*Ensis americanus*), de halfgeknottede strandschelp (*Spisula subtruncata*) en de kleine slangster (*Ophiura albida*). Algemene depositfeeders zijn de zandzagers (*Nephtys* spp.) en de hartegel (*Echinocardium cordatum*). Het nonnetje (*Macoma balthica*) kan overschakelen tussen beide voedingswijzen en is daardoor bijzonder flexibel. Daarnaast zijn er dan nog de predatoren zoals de gewone garnaal (*Crangon crangon*) en de zeester (*Asterias rubens*) die voor hun voedsel van bovengenoemde voedingsspecialisten afhankelijk zijn.

Depositie

Depositie van sediment betekent dat organismen begraven kunnen worden onder een laag zand en/of slib $< 63 \mu\text{m}$. Of dit leidt tot letale effecten is afhankelijk van de dikte en samenstelling van de sedimentlaag, de stortingsfrequentie en de capaciteit van de betreffende soort om zich uit te graven of anderszins het contact met het sedimentoppervlak te herstellen (Bijkerk 1988). Sommige soorten hebben het vermogen hun adembuizen (siphonen) te verlengen om zo een verbinding te herstellen met de waterkolom.

Qua depositiefrequentie kan het een groot verschil uitmaken of er eenmalig een relatief grote hoeveelheid wordt gestort of dat er sprake is van een gestadige toevoer van sedimenten. Daarnaast moet rekening gehouden worden met het seizoen, omdat macrobenthossoorten bij lage temperaturen minder actief zijn, zodat ook hun uitgraafcapaciteit in de winter gering is (Bijkerk 1988).

Veel soorten in de kustzone leven al ingegraven en zijn daarbij aangepast aan een zekere dynamiek van het sediment. Ze moeten zich ingraven zodra het bovenliggende sediment erodeert, maar dienen juist omhoog te graven zodra ze bedekt worden door zandgolven en golfribbels. Veel ingegraven soorten moeten bovendien contact onderhouden met het sedimentoppervlak voor hun voedselstroom en/of zuurstofvoorziening. Daarnaast moeten ze opgewassen zijn tegen het omwerken van sediment door organismen (*bioturbatie*), een biologische vorm van dynamiek.

Bodentopografie en verondieping

Bij een voortdurende storting op één locatie zal de vorm van de zeebodem veranderen; er ontstaat een sedimentberg. Hierboven, onder 'gedrag baggerspecie' werd al gewezen op de aanzienlijk hoogteverandering van de bodem, namelijk ongeveer 7 m. Bij een straal van een stortlocatie van 3000 m geeft dit een hellingshoek van ongeveer 1°. In termen van bodentopografie en in vergelijking met het van nature aanwezige diepteprofiel is dit te verwaarlozen.

Het ecologisch effect van verondieping van de zee is groter naarmate de stortlocatie ondieper is. In het meest extreme geval wordt het zó ondiep dat er

een andere levensgemeenschap ontstaat, bijvoorbeeld omdat de zeebodem binnen de fotische zone komt te liggen. Bij de loswal is de verandering in diepte zó gering dat wordt verondersteld dat verondieping geen rol van betekenis heeft gespeeld.

Sedimentkarakteristieken

Niet alleen de diepte is van invloed op het voorkomen van mariene organismen maar vooral ook de sedimentsamenstelling (Gray 1974). Zo vonden Duineveld *et al.* (1991) aan de hand van de ICES North Sea Benthos Survey dat de levensgemeenschappen in de ondiepe Zuidelijke Noordzee konden worden gekarakteriseerd op basis van sedimentsamenstelling (*muddy sand*, *fine sand* en *coarse sand*). Het intermezzo II 'relatie sediment en organismen' gaat wat dieper in op de relatie tussen sediment en organismen.

Door baggerspeciéstortingen verandert de sedimentsamenstelling. Zandige sedimenten worden in het algemeen fijnerkorreliger en krijgen een groter slibgehalte. Er kan een stratigrafie ontstaan van lagen met verschillende korrelgroottes en de verdeling van de sedimentfracties kan een meertoppig karakter krijgen. Een bestaande levensgemeenschap heeft een grotere overlevingskans naarmate de sedimentkwaliteit van de gestorte materiaal meer overeenkomt met de oorspronkelijke sedimentsamenstelling (Saucier *et al.* 1978 in Bijkerk 1988). Indien baggerspeciéstorting aan de bodem resulteert in een zogenaamde *fluid-mud layer* zijn de overlevingskansen voor het macrobenthos minimaal (Bijkerk 1988).

Organismen kunnen door het vastleggen van sediment (*biostabilisatie*) en het mengen van sedimentfracties (*bioturbatie*) overigens bijdragen aan de verticale verdeling van slib_{< 63 µm}.

Intermezzo-II

relatie sediment en organismen

Er zijn diverse functionele redenen waarom korrelgrootte en slibgehalte van sediment zo'n sterke invloed hebben op het voorkomen van organismen.

Allereerst is er het **voedsel**aspect. Deposit feeders leven van organisch materiaal in het bodemsediment. Dit soort organismen komt dan ook vooral voor in sedimenten met een zeker slibgehalte.

Daarnaast is er het **woonplaats**aspect: het gebruik van sediment als plaats waar een geschikte fysische leefruimte wordt gevonden of gecreëerd. Bepaalde zeeanemonen verankeren zich in los zand met een uitstulping van hun voet. Voor wormen en kreeftachtigen die gangen en woonbuizen maken in het sediment betekent een te hoog slibgehalte (maar ook een te grof sediment) dat deze holtes niet langer in stand gehouden kunnen worden. Ze storten in en raken verstopt. Ook de hartegel (*Echinocardium cordatum*), die in de kustzone algemeen voorkomt, staat via een gegraven tunnel in contact met het bovenstaande water. Deze soort mijdt dan ook erg slibrijke sedimenten (Steur & Seys 1989) alhoewel Beukema (1985) geen duidelijke relatie vond tussen rekrutering en slibgehalte van het sediment (0-5 %). Voor schelpdieren, die met siphonen contact houden met het oppervlak, geldt het instortingseffect in mindere mate maar dreigt wel verstopping van siphonen en mantelholte. Polychaete wormen die hun woonbuizen verstevigen met zandkorreltjes (e.g.

Lanice conchilega) of schelpfragmenten (e.g. *Owenia fusiformis*) zijn weliswaar beschermd tegen instorting, maar zullen zich alleen kunnen handhaven indien de specifieke componenten, die deze dieren voor de bouw en het onderhoud van hun woning nodig hebben, na een verandering van de sedimentsamenstelling behouden blijven.

Tenslotte is er het **mobilitets**aspect. Dieren, die er een gravende levenswijze op na houden, zijn afhankelijk van een zekere weerstand en coherentie van het sediment. Zo kunnen veel schelpdieren zich meer of minder goed verplaatsen door hun gespierde voet, afwisselend als graafwerktuig en anker te gebruiken. Eerst boort de voet zich als een priem in de gewenste richting. Na uitstulping van het uiteinde van de voet in het sediment kan het dier zich vervolgens in de richting van de verankering te trekken. Mesheften zoals *Ensis americanus* zijn hierin bijzonder bedreven. Messheften kunnen zich op deze manier in enkele seconden ingraven.

Chemische samenstelling van het sediment

Organische microverontreinigingen hechten makkelijk aan slibdeeltjes en komen daarmee in organismen terecht. Sommige stoffen accumuleren in organismen en worden doorgegeven in de voedselketen, al of niet leidend tot *biomagnificatie*. In het kader van deze literatuurstudie is het niet mogelijk om in detail in te gaan op de enorme matrix die gemaakt zou kunnen worden door het scala van stoffen die aanwezig zijn in baggerspecie uit te zetten tegen de diversiteit aan organismen die in de kustzone van de Noordzee aanwezig is.

Effecten van organische microverontreinigingen vormen een zeer complexe problematiek, er kunnen synergetische effecten optreden, dosis-effect relaties zijn lang niet altijd lineair en chronische effecten van lage concentraties komen soms pas na lange tijd tot uiting. Er zijn grote verschillen in gevoeligheid tussen soorten en de gevoeligheid van soorten varieert bovendien in verschillende perioden van hun levenscyclus. Zo is al lang bekend dat bij vissen zowel het bevruchtungsstadium (er is vaak sprake van externe bevruchting) maar ook het embryonale en larvale stadium zeer gevoelig zijn voor een breed spectrum aan toxische stoffen (Sheehan *et al.* 1984).

De herkomst (kwaliteit) van de baggerspecie is van belang. Bij de loswallen is dit de Haven van Rotterdam. Verwacht mag worden dat een deel van dit slib_{< 63 µm} verontreinigd zal zijn. Er wordt echter onderscheid gemaakt in verschillende verontreinigingsklassen en de meest verontreinigde fracties worden geïsoleerd opgeslagen (in o.a. het Slufterdepot). Het slib_{< 63 µm} dat op de loswallen wordt gestort behoort tot de niet verontreinigde en licht verontreinigde categorie.

Effecten van verontreiniging worden verder buiten dit hoofdstuk gehouden.

Met de storting van baggerspecie kunnen ook nutriënten in het systeem worden gebracht. In opgeloste vorm zullen deze al door getijdenstromen van de stortlocatie weggevoerd zijn alvorens ze eventueel tot een significante fytoplanktongroei kunnen leiden. Er wordt dan ook aangenomen dat dit geen effect zal hebben op het bodemleven van de stortlocaties.

Met het storten van baggerspecie komt er echter ook particulier organisch materiaal in de bodem terecht. Hierdoor kunnen zich op geringe diepte onder het sedimentoppervlak al snel en zuurstofloze condities voordoen en kunnen giftige zwavelverbindingen (sulfiden) en ammoniak ontstaan. Dit effect wordt

nog versterkt bij hoge temperaturen en door organismen die begraven raken en vervolgens afsterven. Ook hierbij geldt dat sommige organismen dergelijke omstandigheden al van nature kennen en wat dit betreft dus een zekere tolerantie vertonen. Vastzittende en ingegraven tweekleppigen zoals de mossel en slijkgaper zijn veel toleranter jegens lage zuurstofgehalten en hoge sulfideconcentraties dan soorten die aan het sedimentoppervlak leven zoals de kokkel en zeester. Organismen die zich lopend en zwemmend uit de voeten kunnen maken zoals krabben en garnalen vertonen de laagste tolerantie (Essink 1993).

Verandering in de ecologie

Het verdwijnen of verschijnen en de af- of toename van soorten als gevolg van de bovengenoemde directe effecten van het storten van baggerspecie heeft secundaire ecologische consequenties. De dichtheid van soorten werkt op de competitie om voedsel en ruimte en tevens in de voedselketen op predator-prooi relaties.

Volgens Essink (1999) zijn de belangrijkste effecten van het storten van gebaggerd sediment:

- het begraven van benthos op stortlocaties;
- verstoring van filterfeeders door een toename van de hoeveelheid zwevend materiaal;
- reductie van primaire productie door een toename van de turbiditeit.

Samenvatting:

In relatie tot het macro- en megabenthos en de vissen van de stortlocaties op de loswallen kunnen de belangrijkste effecten waarschijnlijk worden samengevat in termen van *verdwijnen* en *verschijnen*. Verdwijnen, met name door het effect van begraven worden onder een overmaat van (verontreinigd en/of zuurstofloos) sediment. Verschijnen doordat na de storting van baggerspecie een vrijwel leeg milieu ontstaat, met een veranderde sediment-samenstelling, waarin kolonisatie een eminente rol speelt. Bij de mogelijkheden om te overleven speelt de voedingswijze (depositfeeder *vs* filterfeeder) een belangrijke rol. Ecotoxicologische effecten blijven buiten beschouwing. Een reductie van primaire productie heeft waarschijnlijk ecologische effecten, maar deze effecten komen tot uiting op een grotere schaal dan in deze studie onderzocht werd. Dit aspect krijgt hier dan ook geen verdere aandacht.

Deze studie valt dan ook in drie delen uiteen die worden genoemd onder de volgende noemers

- A. het verdwijnen van bodemleven, met name door het begraven raken;
- B. de kolonisatie van de stortlocatie;
- C. het effect van slib_{< 63 µm} op organismen in de omgeving van de stortlocaties (uitstralingseffecten).

Eerst volgt nog een overzicht van de literatuur die bruikbaar is voor deze onderwerpen.

13.3 Vergelijking met andere studies

Studies storting baggerspecie

Diverse studies behandelen de effecten van de storting van baggerspecie. Bij een vergelijking met de situatie bij Loswal Noord en Noordwest dient echter rekening gehouden te worden met een veelheid aan parameters die van invloed is op de effecten:

- faunagebied (zo leven in bijvoorbeeld Noord Amerika andere soorten macrobenthos);
- biotoop (in de Waddenzee domineren andere soorten dan in de kustzone van de Noordzee);
- aard van de gestorte baggerspecie in vergelijking met het oorspronkelijke sediment;
- aanwezigheid van een verdiepte stortingslocatie (de ontwikkeling van bodemfauna in zandwinputten is niet representatief voor de situatie bij de loswallen);
- hydrografische omstandigheden (diepte en stroming);
- ruimteschaal: de hoeveelheid baggerspecie en de grootte van de stortlocatie (kleine storting: migratie van adulten overheerst, grote storting: vestiging door larven overheerst);
- tijdschaal: seizoen van storting, éénmalig of structureel.

Er zijn dan ook maar weinig studies die een gedetailleerde vergelijking mogelijk maken met de situatie bij de Loswal Noord en Loswal Noordwest.

Ontsnappen of begraven blijven

Een belangrijke referentie in dit verband vormt een literatuurstudie met bovengenoemde titel (Bijkerk 1988). Het accent ligt nogal op macrobenthossoorten die in de Waddenzee voorkomen maar een aantal soorten wordt ook in de kustzone van de Noordzee gevonden.

Effectstudies baggeren en zandwinning

Studies naar de effecten van baggeren en zandwinning leveren bruikbaar vergelijkingsmateriaal op voor de situatie op de loswallen. Het opbaggeren van sediment (bijvoorbeeld voor zandwinning en kustsuppletie) gaat namelijk vaak gepaard met het vrijkomen van fijn materiaal dat overvloedig uit de voorraadbak (beun) waarin de baggerspecie wordt gestort.

Na zandwinning ontstaat een situatie waarbij de kolonisatie opnieuw moet beginnen (*tabula rasa*). In dat opzicht is zandwinning vergelijkbaar met het storten van een dikke laag baggerspecie. In tegenstelling tot bij baggerstort is er na zandwinning in het begin wel altijd sprake van een verdiepte locatie. Ook zal het nieuw verschenen sedimentoppervlak qua sedimentsamenstelling meestal beter overeenkomen met de oorspronkelijke situatie dan in het geval waarin baggerspecie wordt gestort.

Effecten van een zandwinning in de Nederlandse kustzone in het kader van het *Punaise project* staan onder andere in Van Moorsel & Munts (1995), Van Dalfsen *et al.* (1999) en Van Dalfsen en Lewis (2001).

Experimentele studies, waarbij de vestiging van macrofauna en successie in lege sedimenten wordt onderzocht (*e.g.* Bosselman 1988) zijn ook bruikbaar als vergelijkingsmateriaal voor het kolonisatieproces.

Algemeen ecologische studies en monitoring

Diverse studies gaan in op de relatie tussen de sedimentsamenstelling en het voorkomen van macrobenthos (Eisma 1966, Wolff 1973). Deze informatie werd gebruikt om ontwikkeling van afzonderlijke soorten op de loswallen te interpreteren.

De inventarisaties van macrobenthos in de Noordzee, zoals de ICES North Sea Benthos Survey in 1986, en in de kustzone (Milzon en monitoring/inventarisaties van het NIOZ in het kader van BIOMON) leveren ook veel informatie op over de aanwezigheid van soorten in relatie tot de sedimentsamenstelling.

13.4 Het verdwijnen van bodemleven

Hier wordt ingegaan op het directe effect van de storting van baggerspecie op de stortlocatie: het al of niet verdwijnen van macro- en megabenthos, met name als gevolg van het begraven raken. Omdat de stortingen op de Loswal Noord en Loswal Noordwest gedurende enige tijd plaatsvonden – totdat werd uitgeweken naar een nieuw stortvak – kunnen zij waarschijnlijk het beste worden gekarakteriseerd als semi-permanent. Een stortvak dat in gebruik is kan zowel in de ruimte als tijd worden gezien als een mozaïek van locaties waar de directe effecten van plotselinge depositie en meer chronische effecten elkaar afwisselen.

mobiliteit fauna

Van soorten met een hoge mobiliteit zoals garnalen en sommige (zwem)krabben mag verwacht worden dat ze zich relatief makkelijk aan de storting van baggerspecie kunnen onttrekken. Voor langzaam rondkruipende epifauna, zoals de zeester is dit in mindere mate het geval. Het is evenwel voorstelbaar dat baggerspecie die de bodem nadert tot zo'n sterke, van de stortlocatie weggerichte waterverplaatsing leidt, dat daardoor nog een deel van de epifauna wordt weggevoerd. Endofauna, de dieren die ingegraven leven in het zand, zoals wormen, tweekleppigen en veel kreeftachtigen en stekelhuidigen, kan zich in het algemeen minder goed door migratie aan een storting onttrekken. Juist deze endofauna is in de kustzone van de Noordzee van groot belang qua biomassa (Van Scheppingen en Groenewold, 1990). Omdat vastzittende organismen zoals oesters en mosselen in het geheel niet kunnen graven, zijn ze relatief gevoelig voor bedekking door sediment. Dit type organismen komt op de loswallocaties echter niet voor.

levend begraven in baggerspecie

Indien een organisme onder een laag baggerspecie terechtkomt, ondervindt het daarvan diverse invloeden.

Het contact met het sedimentoppervlak (indien aanwezig) wordt verbroken. Daarmee worden met name filterfeeders afgesneden van de waterstroom die van belang is voor zowel zuurstof- als voedselvoorziening. Omdat vervolgens een zuurstofloze situatie dreigt te ontstaan is de overleving afhankelijk van de tolerantie voor dergelijke condities en de tijd die nodig is om het contact met het oppervlak te herstellen. Afhankelijk van de soort kan dit contact worden gemaakt door het uitstrekken van siphonen en/of naar boven te graven. Afhankelijk van de aanwezigheid en lengte van siphonen kunnen slakken en tweekleppigen deze siphonen als een soort snorkel te gebruiken om zo contact met een geschikte waterlaag te herstellen.

Daarnaast veranderen de samenstelling en consistentie van het sediment. Indien de sedimentdruk te hoog wordt kunnen tweekleppigen hun schelp niet meer openen. Ook wormen kunnen zich bij een te hoge pakkingsdichtheid van het sediment niet meer voortbewegen met behulp van hun hydrostatisch skelet en zijn ten dode opgeschreven.

De dikte van een fatale sedimentlaag is bij de meeste organismen groter indien deze uit zand bestaat dan uit slib $< 63 \mu\text{m}$. Met andere woorden: soorten zijn meestal gevoeliger voor slib $< 63 \mu\text{m}$ dan voor zand. Dit komt waarschijnlijk doordat slib de neiging heeft woonbuizen en/of siphonen te verstoppert.

Schäfer (1962) geeft voor veel soorten de diepte aan waarbij uitgraven niet meer mogelijk is na plotselinge bedekking door sediment. Hieronder wordt voor een aantal soorten van de kustzone en op de loswallen aangegeven in hoeverre ze zich nog aan begraving kunnen onttrekken.

ZEEANEMONEN

De Slibanemoon (*Sagartia troglodytes*) zit vastgehecht op schelpfragmenten in het sediment. Ze kan begraving in eerste instantie vermijden door zich uit te strekken. Ze overleeft zo lang de sedimentbedekking niet groter is dan 8cm.

BORSTELWORMEN (Polychaeten)

Borstelwormen kunnen worden verdeeld in twee typen.

De vrij levende soorten die door het sediment kruipen en daar als depositfeeder of door een carnivore levenswijze aan de kost komen. Voorbeelden zijn *Anaitides* spp. en zandzagers (*Nephtys* spp.). Vrij levende soorten zullen relatief goed in staat zijn zich aan begraving te onttrekken.

Het andere type bestaat uit meer plaatsgebonden soorten die een permanente gang of koker bouwen waarvan de wand wordt versterkt met slijm en/of sedimentpartikels. Dergelijke kokers kunnen bestaan uit een los netwerk dat onder invloed van de sedimentdynamiek voortdurend wordt aangepast zoals bij de algemene soort *Spiophanes bombyx*. Andere soorten, zoals het goudkammetje (*Pectinaria koreni*), bouwen een koker met een veel grotere integriteit en zullen meer moeite hebben aan begraving te ontsnappen. De algemene schelpkokerworm (*Lanice conchilega*) neemt wat dit betreft waarschijnlijk een tussenpositie in.

De zandzager (*Nephtys* spp.) heeft een hoge uitgraafsnelheid (ongeveer 25 cm per uur). Bijkerk (1988) noemt diverse studies waarin werd gevonden dat een *Nephtys* soort het enige teken van leven was nadat een sterke depositie van fijn materiaal had plaatsgevonden (tot 25 cm per maand). Bij een stort van hoofdzakelijk slib $< 63 \mu\text{m}$ is een afgezette laag van 30 cm voor *Nephtys hombergi* al fataal (Essink, 1993)

Zeeduizendpoten (*Nereis* spp.) graven semi-permanente gangen en vormen een overgangstype tussen de vrij-levende en de echte plaatsgebonden soorten. Ze vertonen afhankelijk van de soort een meer of minder goed uitgraafgedrag. Onder experimentele omstandigheden wist nog 30% van *Nereis succinea* binnen een week te ontsnappen van een diepte van 90 cm (Maurer et al. 1982). *Nereis diversicolor* kan zich vermoedelijk handhaven bij een aanzanding van 15 à 20 cm (fijn zand) per maand (Van der Veer et al., 1985).

De wapenworm (*Scoloplos armiger*) staat qua levenswijze ook in tussen actieve gravers en plaatsgebonden soorten. Niettemin kon 20 % van *Scoloplos fragilis*, een Noord-Amerikaanse verwant, zich nog uitgraven na een bedekking door

90 cm zandig sediment (Maurer *et al.* 1982). Bij een bedekking door fijner sediment was de sterfte veel hoger, wellicht door de gevoeligheid van deze soort voor ammoniak en sulfideverbindingen. In een zandwinput in de Waddenzee werd de wapenworm nog gevonden bij een sedimentatiesnelheid van ~25 cm per maand. Bij een stort van hoofdzakelijk slib_{< 63 µm} is een afgezette laag van 30 cm voor *S. armiger* al fataal (Essink, 1993).

De Schelpkokerworm (*Lanice conchilega*) kan zijn uit zandkorrels opgebouwde woonbuis verlengen onder invloed van sedimentatie, maar dat zal alleen mogelijk zijn als het gaat om een geleidelijke aanzanding.

SLAKKEN

De carnivore tepelhoorn (*Euspira* sp.) graaft zich van nature al in (tot 6 à 7 cm diepte) en zal dus vermoedelijk relatief goed tegen sedimentbedekking bestand zijn.

De wulk (*Buccinum undatum*) beschikt evenals veel tweekleppigen over een siphon waarmee in potentie contact met het sedimentoppervlak mogelijk is. Na bedekking door 20 cm sediment kan het dier zich in enkele minuten uitgraven. De Wulk komt tegenwoordig overigens nauwelijks meer in de kustzone voor.

TWEEKLEPPIGEN

In het intermezzo "relatie sediment en organisme" wordt beschreven hoe tweekleppigen zich met hun voet door het sediment kunnen verplaatsen. Daarbij zijn er twee mogelijkheden: Bij zogenaamde "trekkers" (*pullers*) kan een schelpdier zich alleen in de richting van de verankerde voet bewegen. Indien trekkers bedekt raken door sediment zullen ze zich vanuit hun normale positie eerst om moeten (kunnen) draaien alvorens uitgraven mogelijk is. Daarnaast zijn er "duwers" (*pushers*), die zich kunnen uitgraven door zich met hun voet af te zetten. Duwers zijn zo relatief goed in staat zijn om begraving te vermijden. Voorbeelden van duwers zijn het zaagje (*Donax vittatus*) en Amerikaanse zwaardschede (*Ensis directus*).

De vorm van de schelp is een goede aanwijzing voor het graafvermogen en daarmee de overlevingskans (Stanley, 1970). Goede gravers hebben de vorm van een schijf, mes of cilinder. Ook een puntige voor- of achterkant wijst op een goed graafvermogen.

Bij een Amerikaanse variant van het zaagje (*Donax variabilis*) ontsnapte 73 % nog uit een laag van 10 cm fijn sediment en slechts 7% uit een laag van 21 cm dikte (Kranz, 1972). Bij juvenielen waren de percentages wat hoger.

Mesheften (een schelpdier) en zwaardscheden (*Ensis* spp.) zijn, met hun relatief grote voet en kleine doorsnede van de schelp loodrecht op de voortbewegingsrichting, goede gravers. De Amerikaanse zwaardschede (*Ensis americanus*) heeft een uitgraafsnelheid 6 à 7 cm per uur (responstijd ~ 2 uur). Zowel in fijn zand als slib_{< 63 µm} graven vrijwel alle volwassen zwaardschede n zich nog uit vanaf een diepte van 24 cm. Bij een laagdikte van 45 cm fijn zand of 40 cm slib_{< 63 µm} weet nog 30% aan begraving te ontsnappen. Bij juvenielen is de uitgraafcapaciteit kleiner Kranz (1972).

Het Nonnetje (*Macoma balthica*) leeft normaal gesproken al ingegraven op een diepte van ongeveer een decimeter en ontwikkelt siphonen die zeker zo lang zijn. Hiermee kan het dier overschakelen van filter feeding naar deposit feeding. De soort komt voor in een brede range aan sedimenttypen, maar heeft een voorkeur voor fijn sediment en een slibgehalte van 0,5 tot 10% (Eisma, 1966;

Wolff, 1973). Evenals haar verwanten (zoals *Tellina* spp.) is dit schelpdier sterk afgeplat als aanpassing aan de gravende levenswijze. *Macoma* is dan ook goed bestand tegen begraving. Bij depositie van fijn zand wordt tot 25 cm per maand getolereerd (Van der Veer 1979). De verwante *Macoma nasuta* uit de Pacific kan zelfs 40 cm per maand aan Kranz (1972). Bij een stort van hoofdzakelijk slib $< 63 \mu\text{m}$ is een afgezette laag van 30 cm voor *M. balthica* fataal (Essink 1993).

KREEFTACHTIGEN

Over uitgraafcapaciteit van vlokreeftjes (amphipoden) van de loswallen is niet veel bekend. De bij de loswal algemene *Urothoe poseidonis* heeft een voorkeur voor zandig sediment. Als deze soort verdwijnt kan dat dus ook aan een verhoging van het slibgehalte liggen.

De gewone garnaal (*Crangon crangon*) hanteert een preventieve strategie tegen begraving: bij het eerste teken van de storting van baggerspecie zal deze kreeftachtige zich veelal zwemmend uit de voeten maken. De garnaal is bijzonder gevoelig voor een laag zuurstofgehalte.

STEKELHUIDIGEN

Ondanks haar grootte kan de zeester (*Asterias rubens*) zich, als epifaunasoort, niet meer uitgraven na een bedekking door 60 cm zand (Schäfer, 1962).

De hartegel of zeeklit (*Echinocardium cordatum*) heeft weliswaar een gravende levenswijze (tot 20 cm diep in het zand), maar kan zich niet beter uitgraven dan de zeester. Bij een bedekking door 30 cm fijn zand (Schäfer, 1962) komt het dier niet meer naar boven.

De kleine slangster (*Ophiura albida*) leeft aan het sedimentoppervlak. Deze soort kan zich daar uitstekend handhaven bij een voortdurende maar niet té grote depositie. Een plotselinge bedekking door een laag sediment van slechts vijf cm is echter al voldoende om uitgraven onmogelijk te maken. Dit is een goed voorbeeld van een soort die voor haar overleving niet zozeer afhankelijk is van de hoeveelheid sediment als wel van het tempo waarin dit wordt afgezet.

VISSEN

Als mobiele organismen zijn vissen relatief goed in staat om zich aan de effecten van de stort van baggerspecie te onttrekken. Dit geldt met name voor pelagische soorten. Van haring (*Clupea harengus*) en sprot (*Sprattus sprattus*) is bekend dat ze als visuele predatoren troebel water vermijden. De achteruitgang van de schaar (*Limanda limanda*) en de toename van juveniele schol (*Pleuronectes platessa*) in de westelijke Waddenzee wordt wel gerelateerd aan de toenamen van de turbiditeit. Bodemgeboden vissen zijn in het algemeen minder gevoelig voor hoge concentraties gesuspendeerd materiaal dan pelagische soorten. Juvenielen zijn gevoeliger dan adulten (Baveco, 1988 in Essink 1999).

Samenvatting

Samenvattend kan gesteld worden dat de uitgraafcapaciteit erg soortspecifiek is, maar ook afhankelijk van het type sediment. Sommige soorten kunnen nog bij een laagdikte van 90 cm ontsnappen maar voor andere is 10 cm al fataal. In slibrijk sediment is de fatale diepte meestal geringer.

Tenslotte moet nog rekening gehouden worden met het volgende: als dieren zich weten uit te graven hoeven ze vervolgens niet ter plekke te worden teruggevonden. Door een gewijzigde sedimentsamenstelling bestaat de kans

dat dergelijke succesvolle soorten migreren naar plaatsen waar de het sediment beter voldoet.

De laagdikte van de baggerspecie die op de eigenlijke stortlocatie overblijft is goed bekend. Na verloop van tijd wordt een maximale hoogte van bijna 7 m gemeten. De straal van een stortingslocatie bedraagt maximaal ongeveer 3000 m. Op basis van de bovenbeschreven gevoeligheid voor begraving mag worden aangenomen dat veel organismen zeker tot op de helft van deze afstand sterk worden beïnvloed, met name in de richting van de reststroom. Omdat een stortvak echter bij herhaling wordt gebruikt zullen de totale uitstraaleffecten daarvan veel groter zijn. Uit het loswalonderzoek blijkt dat het waarschijnlijk om enkele kilometers gaat. Daarnaast speelt dan nog het mogelijke effect van een eventuele *fluid-mud layer*, maar over de aanwezigheid daarvan is niets bekend, laat staan over het gedrag van zo'n sliblaag bij de bodem.

13.5 De kolonisatie van een stortlocatie

In deze sectie wordt ingegaan op het kolonisatieproces, *i.e.* het verschijnen van macro- en megabenthos op de stortlocatie. Voor een goed begrip hiervan is het nuttig om iets te weten over de aard van de levensgemeenschappen in de Zuidelijke Noordzee en in het bijzonder de kustzone waarin de loswallen liggen.

Levensgemeenschappen in de Zuidelijke Noordzee

In hun bespreking van het macrobenthos van de Noordzee geven Duineveld *et al.* (1991) aan dat de structuur van de levensgemeenschap van ondiepe zandige gebieden in de Noordzee grotendeels wordt bepaald door fysische stress. Deze wordt veroorzaakt doordat getijstroken en golven, die samenhangen met stormen, de bodem omwoelen. Hierdoor blijft de levensgemeenschap terplekke voortdurend in een pionierstadium. Veel van de algemene soorten zoals de wormen *Spio filicornis* en *Spiophanes bombyx* vertonen daarbij sterke fluctuaties, met grote aantallen in de zomer en lage aantallen nadat stormen hun invloed hebben doen gelden. Het zijn typische r-strategen (zie intermezzo III 'levensstrategie').

Spiophanes bombyx komt inderdaad in sterk wisselende dichtheden voor op de Loswallen, net als andere polychaete opportunisten: de wapenworm (*Scoloplos armiger*) en *Magelona papillicornis*. Dat dit ook voor de relatief grote schelpkokerworm (*Lanice conchilega*) geldt, lijkt misschien opmerkelijk, maar ook bij het Punaise-onderzoek (van Moorsel en Munts, 1995) werd geconcludeerd dat deze soort zich snel kan vestigen en uitgroeien.

Intermezzo - III

Levensstrategie

Sommige soorten stoppen relatief veel energie in de *voortplanting*. Ze beginnen er vroeg aan en produceren grote aantallen nakomelingen. Dergelijke soorten zijn als larve zó algemeen dat ze meestal snel op een nieuwe locatie te vinden zijn. Deze strategie wordt vooral gehanteerd door soorten die een grote kans ondervinden verstoord te worden. Dergelijke opportunisten, die meestal geen lang leven beschoren zijn, noemt men ook wel r-soorten. Veel van de soorten in de kustzone hebben te maken met allerlei vormen van (onvoorspelbare) verstoring. Te denken valt aan de sedimentdynamiek als

gevolg van stromingen en aan de effecten van de boomkorvisserij. De meeste soorten in de Nederlandse kustzone kunnen dan ook als r-strateeg worden gekenschetst.

Daar tegenover staan langlevende soorten die - zo lang een grote verstoring uitblijft - op de wat langere termijn gaan overheersen omdat ze het accent meer op individuele *handhaving* leggen. Ze zijn goed in interspecifieke concurrentie en steken hun energie in verdedigingsmechanismen. Er gaat minder energie naar de voortplanting en er zijn relatief weinig nakomelingen per jaar (K-soorten). Soorten met een K-strategie zijn vaak minder algemeen tijdens de eerste successiestadia. Het gaat met name om langlevende soorten die grote afmetingen bereiken. Deze komen in de kustzone nauwelijks (meer) voor (Lindeboom, 2000).

Overigens laten niet alle soorten zich in het r-K keurslijf dwingen. Zo bereikt de hartegel (*Echinocardium cordatum*) een hoge leeftijd (10 jaar), maar kunnen juvenielen een hoge mortaliteit vertonen door uitspoeling uit het sediment.

Op een langere tijdschaal is er ecologisch gezien ook een opmerkelijke variatie. De grenzen tussen de belangrijke faunacusters in de Noordzee veranderen in de loop der tijd weliswaar nauwelijks, maar deze clusters kunnen in de tijd wel verschillen qua dominante soorten (Duineveld *et al.*, 1991). In de kustzone komt deze temporele variatie in de loop der jaren tot uiting in de afwisseling van dominante schelpdieren (Oosterbaan, 1991). Momenteel zijn de halfgeknotte strandschelp (*Spisula subtruncata*) en de Amerikaanse (*Ensis americanus*) en grote zwaardschede (*E. arcuatus*) "in de mode" maar er zijn ook jaren geweest dat de kokkel (*Cerastoderma edule*) erg algemeen was in de kustzone.

Ook is er een sterke ruimtelijke variatie. De schijnbaar uniforme kustzone wordt gekarakteriseerd door schelpenbanken. Het patroon van deze schelpenbanken indiceert dat er op locale schaal (tientallen kilometers) geen directe relatie hoeft te zijn tussen sedimentsamenstelling en de aanwezige fauna (Holtmann *et al.*, 1996; Leopold, 1996).

Veel soorten die bij de loswallen voorkomen vertonen dus van nature een grote ruimtelijke en temporele variatie. Naar de oorzaken kunnen we meestal slechts gissen.

Veranderingen in de tijd kunnen samenhangen met oorzaken zoals strenge winters of verschillen in de aanvoer van water (met larven) uit het Kanaal. Ruimtelijke variatie wordt niet alleen veroorzaakt door een combinatie van fysische factoren zoals diepte en type sediment. Bij veel soorten zijn er aanwijzingen dat de ruimtelijke (en temporele) variatie in de aanvoer van larven een grote rol speelt in de ontwikkeling van een macrobenthosgemeenschap ('supply-side ecology', Van Moorsel *et al.*, in prep.). De hoeveelheid larven in het plankton varieert gedurende het jaar. Ook de verhouding tussen soorten wisselt sterk, zodat het voor de kolonisatie van een stortlocatie van belang is in welk jaargetijde de betreffende locatie beschikbaar komt. Of en hoeveel larven er van een soort in het water aanwezig zijn, hangt samen met veel factoren: de oorsprong van het water (stromingspatroon), de afstand tot ouderpopulaties, het reproductieve succes daarvan en de levenstrategie van de soort (zie intermezzo). Diverse soorten brengen in een periode van een aantal jaren slechts eenmaal succesvol een nageslacht voort. Als voorbeeld noemt Beukema (1985) de hartegel (*Echinocardium cordatum*). Deze kent een bijzonder

onregelmatige voortplanting: in de helft van de jaren wordt er totaal geen broed gevonden. (Lindeboom, 2000) benadrukt echter juist het grote voortplantingspotentieel van deze soort met een jaarlijkse productie van eieren en larven, hetgeen aantoont dat zelfs ons inzicht in de ecologie van zo'n algemene soort nog in de kinderschoenen staat.

Bij soorten, waarvan er tijdens de broedval zóveel larven in het water aanwezig zijn dat dit neerkomt op oververzadiging (het aanbod bij vestiging is niet beperkend), zou verwacht mogen worden dat nog de duidelijkste relaties gevonden worden tussen habitatkwaliteit en dichtheid. Waarschijnlijk voldoen alleen een paar heel algemene soorten nog enigszins aan deze voorwaarde. Na de vestiging is er dan nog het effect van "early mortality", de vaak hoge sterfte in het juveniele stadium voordat een soort in macrofaunamonsters terecht komt. Ook hierin kunnen van jaar tot jaar grote verschillen optreden bijvoorbeeld door de competitie of de dichtheid van predatoren.

Al met al is het niet verwonderlijk dat de resultante van dit geheel voor veel soorten een patroon oplevert dat sterk doet denken aan een toevalsproces.

Ruimtelijke variatie op de loswallen

Uit het schaaftrek-onderzoek naar de megafauna blijkt er binnen stations een grotere overeenkomst in monsters dan tussen de stations. Dit wijst op het bestaan van patronen op een schaal van enkele honderden meters. Het loswalonderzoek laat verder talloze voorbeelden zien van de ruimtelijke clustering van soorten. Zo wordt de grote dichtheid van de halfgeknotte strandschelp (*Spisula subtruncata*) op NW5 bij Loswal Noordwest in 1995 (2600 ex./m²) veroorzaakt door een schelpenbank. Andere locaties halen in dat jaar maar een fractie van die dichtheid.

Temporele variatie op de loswallen

Voor diverse soorten gold dat ze in de loop der jaren op verschillende stations een vergelijkbare ontwikkeling vertoonden. Deze soortkarakteristieke toe- en afnamen hielden waarschijnlijk verband met een jaar met een hoge rekrutering. Zo'n leeftijdklasse kan jaren doorwerken in de opbouw van een populatie. Daarna eisen predatie en veroudering hun tol. Dit soort ontwikkelingen is ook bekend bij (commerciële) vissoorten.

Op een grotere schaal dan bij de loswallen kan temporele variatie juist grote verschillen laten zien. Zo is de halfgeknotte strandschelp (*Spisula subtruncata*) in 1996 bijzonder algemeen op de Loswallen terwijl deze soort bij Wijk aan Zee dat jaar vrijwel ontbreekt (Van Dalfsen *et al.*, 1999).

Een persistent aspect van de ruimtelijke variatie in de kustzone vormt de aanwezigheid van de *kustrivier*. Hieronder wordt de waterstroom verstaan met water afkomstig uit Rijn en Maas die langs de kust richting de Waddenzee stroomt. Daarnaast bestaat er loodrecht op de kust zowel een dieptegradiënt als een gradiënt in waterkwaliteit (zoutgehalte, nutriënten e.a.). Door deze combinatie is er vlak langs de kust een andere macrofaunagemeenschap aanwezig dan verder offshore (Holtmann *et al.*, 1996). De grens tussen deze Kust- en de Offshore-gemeenschap ligt zo'n 5 kilometer uit de Hollandse kust en valt ongeveer samen met de 15 m dieptelijn. De Offshore-gemeenschap kan op circa 20 km uit de kust nog onderverdeeld worden in een Overgangs-zone en Offshore-west zone.

Loswal Noord valt dus voor een belangrijk deel in de kustgemeenschap en Loswal Noordwest vooral in de Offshoregemeenschap (Overgangszone). Gezien de afmeting van de loswallen is het waarschijnlijk dat de invloed van de gradiënt in de kustrivier zich ook binnen deze gebieden afzonderlijk doet gelden.

De garnaal (*Crangon crangon*) is een duidelijk voorbeeld van een soort die in de kustzone zijn grootste dichtheid bereikt (Boddeke, 1978). Dit kon in sommige jaren duidelijk tot uiting in het loswalonderzoek.

Samenvatting

Samenvattend kan gesteld worden dat de Noordzee verschillend gemeenschappen kent, maar dat daarin op verschillende ruimte- en tijdschalen, een grote variatie aanwezig is. Dit blijkt uit de dichtheden van soorten in monsters en grote fluctuaties vertonen. Dat het vaak zo buitensporig moeilijk is om de effecten van ingrepen zoals vervuiling op het benthos van de Noordzee te kwantificeren (Duineveld *et al.*, 1991), ondanks dat dit een van de best onderzochte zeeën ter wereld is, houdt vooral verband met deze variatie.

kolonisatie en bodemsamenstelling

Het is bekend dat veel macrobenthossoorten een duidelijke voorkeur om zich in bepaalde sedimenttypes te vestigen en/of daar hun voedsel te vergaren (zie ook intermezzo-II: relatie sediment en organismen). Het is de kunst om deze voorkeuren terug te vinden tegen de achtergrond van bovengenoemde variatie.

Een bodem die voornamelijk bestaat uit zeer fijn (organisch) slib_{< 63 µm} is zeer ongeschikt voor macrobenthos: er is een geleidelijke overgang van de bodem naar de waterfase, de bodem is al snel zuurstofloos en biedt voor kruipende organismen nauwelijks weestand en ook geen mogelijkheden voor het graven van buizen en dergelijke. De enige macrobenthische levensvorm waarbij het voorstelbaar is dat ze het hierin uithoudt is een filterfeeder met een instroomsiphon die zó lang is dat ze deze tot in de waterfase kan worden gestoken (boven een *fluid-mud layer* uit). Op die manier isoleren ze zich voor hun voedsel- en zuurstofvoorziening van hun onmiddellijke omgeving. Bovendien moeten ze licht gebouwd zijn om te voorkomen dat ze in het slib_{< 63 µm} wegzakken en een tolerantie vertonen voor giftige sulfiden en dergelijke. Alleen sommige fragiele bivalven zoals de Witte dunschaal (*Abra alba*) voldoen aan dit profiel. Het is een uitgesproken bewoner van slikkige bodems met lange siphonen. Zelfs het storten van fijn rioolslib in een gebied in de Duitse Bocht gaf een toename van deze soort te zien (Caspers, 1980). Het nonnetje (*Macoma balthica*) voldoet ook nog enigszins aan het genoemde profiel.

Op de loswallen waren het juist *Abra alba* en *Macoma balthica* die in grote dichtheden en vaak als karakteristieke soort werden aangetroffen op de stortlocaties. Hiermee wordt bevestigd dat met een fijne korrelgrootte en een hoog slibgehalte een gunstige omgeving voor deze soorten wordt gecreëerd en het duidt er op dat andere soorten uitblijven door een te hoog slibgehalte.

Naarmate de bodem meer zand bevat neemt het aantal soorten toe, omdat meer levensvormen de juiste condities aantreffen die passen bij hun levenswijze. Maar ook de variatie is van belang: een bodem die uit een mozaïek van meer en minder slibrijk zand bestaat zal een grotere soortendiversiteit herbergen dan een homogene bodem. Echter, hoe optimaal de bodemsamenstelling ook is, zo lang daarboven een halfvloeibare slibfase aanwezig is kan dat de vestiging van veel soorten voorkomen. Het fijne slib_{< 63 µm} kan de kieuwen van zowel pelagische als benthische larven aantasten.

Een verandering van de sedimentsamenstelling heeft via het aanwezige voedsel in de vorm van bodemdieren ook invloed op vissen. Bovendien kan voor

sommige soorten daardoor de functie als paaigebied veranderen (Daan *et al.*, 1990).

kolonisatie en mobiliteit

Mobiliteit is niet allen van belang bij het verdwijnen van soorten (zie boven) maar ook van invloed op de snelheid waarmee soorten een stortlocatie kunnen herkoloniseren. Hierbij speelt uiteraard de ruimtelijke schaal van de ingreep mee. Bij een kleine storting kunnen macrofaunasoorten al gravend het gebied binnentrekken. Naarmate een stortlocatie omvangrijker is zullen de verspreidingseenheden over een grotere afstand moeten worden aangevoerd. Bij de huidige afmetingen van de loswallen (enkele km²'s) zal dit voor de meeste soorten geen beperkende factor zijn, want veel macrobenthossoorten verspreiden zich via larven over tientallen kilometers.

Soorten als (zwem)krabben en garnalen zijn erg mobiel. Bij dit type predatoren mag verwacht worden dat hun aanwezigheid vooral wordt gedreven door de aanwezigheid van prooidieren. Rond de stortlocatie op Loswal Noordwest werd zowel bij de garnaal (*Crangon crangon*), de gewone zwemkrab (*Liocarcinus holsatus*) als de zeester (*Asterias rubens*) - allen predatoren op bodemleven - een verlaagde dichtheid geconstateerd. Dit kan te wijten zijn aan de reductie van hun prooi. De relatie tussen sedimenttype en het voorkomen van dit soort predatoren is dus secundair en bovendien afhankelijk van het successiestadium. Ten aanzien van epibenthos in de Noordzee is er over het algemeen sowieso een onduidelijke of zelfs ontbrekende relatie tussen organismen en sedimenttype (Duineveld *et al.*, 1991).

Veel ingegraven macrobenthossoorten zijn in het volwassen stadium nauwelijks mobiel. Voor hun dispersie zijn ze veelal afhankelijk van larven die met stromingen over tientallen kilometers worden meegevoerd alvorens ze zich op een nieuwe plaats vestigen. De kolonisatie door middel van larven vindt voornamelijk plaats in het voorjaar en de zomer plaats, aangezien dat het voortplantingsseizoen van veel macrobenthossoorten is. Verschillende wormen, schelpdieren en kreeftachtigen zijn in een jong of volwassen stadium ook nog tot significante dispersie in staat (Günther, 1992; Van Moorsel *et al.*, in prep.). Zo ontwikkelen veel soorten schelpdieren in een juveniel stadium een speciale draad om daarmee opgenomen te kunnen worden door de stroom, zodat een secundaire dispersie mogelijk is.

Van der Veer *et al.* (1985) onderzochten de samenstelling van de bodemfauna in zandwinputten in de Waddenzee. Deze putten werden opgevuld met 'natuurlijk' sediment. Putten op een drietal locaties in getijdengeulen waren snel opgevuld (1-4 jaar), waarbij het slibgehalte wat hoger was geworden. Het herstel in termen van biomassa duurde hooguit een jaar. Import door immigratie van adulten was belangrijk om tot herstel van biomassa te komen. De soortenrijkdom bleef na een aantal jaren echter nog wat aan de lage kant waardoor het erop lijkt dat successie toch wel enige jaren in beslag neemt. In een stort van slib_{< 63 µm} in de oude Westereems waren de meest talrijke organismen de zandzager (*Nephtys hombergi*) en het nonnetje (*Macoma balthica*). De toename van het nonnetje in de winter geschiedde door immigratie van juvenielen (Essink, 1993).

Het herstel van de bodemfauna in zandwingebieden in de Nederlandse kustzone bedraagt in de regel enkele jaren (Van Moorsel & Munts 1995; Van Dalfsen et al., 1999; Van Dalfsen & Lewis, 2001).

Samenvatting

Het initiële herstel bij de loswallen sluit goed aan bij bovengenoemde studies. Dat het herstel niet goed doorzet heeft waarschijnlijk te maken met de bijzondere situatie, dat de diepere sedimentlagen voor veel soorten ongeschikt blijven. Voor de macrofaunagemeenschap betekent een echt herstel dat niet alleen het sedimentoppervlak zijn oorspronkelijke aard terugkrijgt, maar tevens de diepere laag. Gezien de graafdiepte van sommige organismen moet daarbij zeker aan een dikte van 50 cm worden gedacht. Herstel tot op zo'n diepte kan een langdurig proces zijn.

13.6 Het effect van slib op de omgeving van stortlocaties

In tegenstelling tot de op de stortlocatie zelf gaat het bij de gevolgen van de storting van baggerspecie op het macro- en megabenthos in de omgeving van de stortlocatie om een meer chronisch proces: de omgeving die voortdurend wordt belast met (fijn) materiaal dat door de waterbeweging wordt aangevoerd vanaf de stortlocaties. Daarnaast zal (een deel van) dit materiaal op latere tijdstippen weer re-suspenderen en worden weggevoerd. Hierdoor ontstaat gedurende enige tijd een mozaïek van depositie en erosiegebieden. Door deze habitatvariatie zou in beginsel een hoge soortenrijkdom kunnen optreden.

Op den duur mag verwacht worden dat de van nature aanwezige sedimentsamenstelling weer terugkeert, omdat dit een afspiegeling is van de waterbeweging ter plekke en deze in beginsel niet verandert. Hoe sterker de waterbeweging en hoe ondieper de zeebodem, des te eerder is de oude situatie hersteld en er mag verwacht worden dat zo'n herstel in de richting van het oorspronkelijke sediment sneller optreedt. Ook hier geldt echter dat pas van een echt herstel sprake is indien ook de diepere sedimentlagen hun oorspronkelijke samenstelling verkregen hebben.

Bij de interpretatie van gegevens dient rekening gehouden te worden met de aard van de levensgemeenschappen in de zuidelijke Noordzee. Daartoe wordt verwezen naar het de voorgaande sectie. Bij de uitstralingseffecten speelt enerzijds het fenomeen van de eerder behandelde begraving van organismen een rol, waarbij dit van beperkte aard is vergeleken met de echte stortlocatie. Anderzijds zijn er kolonisatieaspecten die eveneens hierboven genoemd zijn.

Geraadpleegde literatuur

BEUKEMA, J.J. (1985)

Growth and dynamics in populations of *Echinocardium cordatum* living in the North Sea off the Dutch north coast.
Neth. J. Sea Res. 19 (2) 129-134

BIJKERK, R. (1988)

Ontsnappen of begraven blijven, de effecten op bodemdieren van een verhoogde sedimentatie als gevolg van baggerwerkzaamheden.
RDD aquatic ecosystems, Groningen

BODDEKE, R. (1978)

Changes in the stock of Brown shrimp (*Crangon crangon* L.) in the coastal area of the Netherlands.
Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer 172: 239-249.

BOSELTMANN, A. (1988)

Settlement and succession of benthic animals - a subtidal experiment in the German Bight compared with the "Benthosgarten" experiment in Kiel Bay.
Kieler Meeresforsch., Sonderh. 6: 375-388

CASPERS, H. (1980)

Long-term changes in benthic fauna resulting from sewage sludge dumping into the North Sea.
Prog. Wat. techn. 12: 416-479

DAAN, N., P.J. BROMLEY, J.R.G. HISLOP, N.A. NIELSEN (1990)

Ecology of North Sea fish.
Neth. J. Sea Res. 26: 343-386

DE GROOT, S.J., 1983

Een overzicht van onderzoek betrekking hebbende op de invloed van menselijke activiteiten op het bodemleven, met name bodemvistuigen, baggeren, winning bodemmateriële, storten specie, het leggen van pijpleidingen en telefoonkabels. Rapport CA 83-05a., RIVO IJmuiden, juni 1983

DE GROOT, S.J. (1986)

Marine sand and gravel extraction in the North Atlantic and its potential environmental impact, with emphasis on the North Sea.
Ocean management 10: 21-36

DUINEVELD, G.C.A., A. KÜNITZER, U. NIERMANN, P.A.W.J. DE WILDE, J.S. GRAY (1991)

The macrobenthos of the North Sea.
Neth. J. Sea Res. 28 (1/2) 53-65

EISMA, D. (1966)

The distribution of benthic marine molluscs off the main Dutch coast.
Neth. J. Sea Res. 3 (1) 107-163

EISMA, D. & J. KALF (1987)

Suspended matter in the North Sea.

ESSINK, K. (1993)

Ecologische effecten van baggeren en storten van baggerspecie in het Eems-Dollard estuarium en de Waddenzee. Rapp. DGW-93.020

ESSINK, K. (1999)

Ecological effects of dumping of dredged sediments; options for management. J. Coastal Cons. 5: 69-80

GRAY, J.S. (1974)

Animal-sediment relationships
Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 12: 223-261.

GÜNTHER, C.-P., 1992

Dispersal of intertidal invertebrates: a strategy to react to disturbances of different scales?
Neth. J. Sea Res. 30 (1) 45-56

HOLTMANN, S.E., A. GROENEWOLD, K.H.M. SCHRADER, J. ASJES, J.A. CRAEYMEERSCH, G.C.A. DUINEVELD, A.J. VAN BOSTELEN, J. VAN DER MEER (1996)

Atlas of the zoobenthos of the Dutch Continental Shelf.
Ministry of Transport, Public Works and Water Management, North Sea Directorate, Rijswijk, pp. 244

ICONA (1992)

Noordzee-atlas voor het Nederlands beleid en beheer.
Stadsuitgeverij Amsterdam

JOORDENS, J., J. VAN WETTEN & M. KRIESCH (1999)

Een verkenning van de ecologische rol van slib_{<63 µm} in de Nederlandse kustzone.
AIDEnvironment Amsterdam

KRANZ, P.M. (1972)

The anastrophic burial and its paleoecological significance. Ph.D. Thesis, Univ. Chicago pp. 177

LEOPOLD, M.F (1996)

Spisula subtruncata als voedselbron voor zee-eenden in Nederland.
BEON rapp. 96-2

LINDEBOOM, H.J. (2000)

Een indicatie van de zo natuurlijk mogelijke, of ecologisch optimale, toestand van de bodemfauna in het Nederlandse deel van de Noordzee.
pp. 59-65 in: Lavaleije, M.S.S., H.J. Lindeboom & M.J.N. Bergman (MEE, NIOZ), 2000. Macrobenthos van het NCP. Rapport ecosysteemdelen Noordzee. NIOZ rapp. 2000-4, Texel

MAURER, D., R.T. KECK, J.C. TINSMAN & W.A. LEATHEM (1982)

Vertical migration and mortality of benthos in dredged material. Part 3. Polychaeta. Mar. Env. Res. 6: 49-68

OOSTERBAAN, A. (1991)

De grote vijf van de Hollandse kust.
Natura 1991 (4) 86-87

POINER, I.R. & R. KENNEDY (1984)

Complex patterns of change in the macrobenthos of a large sandbank following dredging. I. Community analysis.
Mar. Biol. 78: 335-352

SCHÄFER, W (1962)

Aktuo-Palaeontologie nach Studien in der Nordsee
Verlag Waldemar Kramer, Frankfurt am Main. pp 666

SHEEHAN, P.J., D.R. MILLAR, G.C. BUTLER & P. BOURDEAU (1984)

Effects of pollutants at the ecosystem level (part I).
John Wiley & sons, N.Y. pp. 443

STANLEY, S.M. (1970)

Relation of shell form to life habits in the Bivalvia (Mollusca).
Geol. Soc. Amer. Mem. 125: pp. 296

STEUR, C. & J. SEYS, 1989

Zeeklit (*Echinocardium cordatum*). pp. 69-73 in: Ecologisch profiel bodemdieren, referentie toestand, huidige toestand, ecologie, ingreep-effectkennis, Rijkswaterstaat DGW .

VAN DALFSEN, J. (1999)

Ecologische effecten van grootschalige zandwinning. Werkdocument t.b.v. visieontwikkeling op kustplannen. Werkdocument RIKZ/AB-98.105x

VAN DALFSEN, J.A., O.W.M. DUIJTS & B. STORM (1999)

Effecten op de bodemfauna van het gebruik van een tijdelijke zandwin/overslagput in de kustzone ter hoogte van Heemskerk. Punaise 2. Koeman & Bijkerk, Haren, rapp. nr. 99-13

VAN DALFSEN, J.A. & W.E. LEWIS (2001)

Punaise*3. Lange-termijn effecten op de bodemfauna van een tijdelijke zandwin/overslagput in de kustzone ter hoogte van Heemskerk (NH). TNO rapp. R2001/494

VAN DER VEER (1979)

Zandwinning in de Waddenzee - de herstelduur van bodemstructuur en bodemfauna van zandwinputten in de Waddenzee. NOZ, Texel pp. 22

VAN DER VEER, H.W., M.J.N. BERGMAN, J.J. BEUKEMA (1985)

Dredging activities in the Dutch Wadden Sea: effects on macrobenthic infauna. Neth. J. Sea Res. 19: 183-190

VAN MOORSEL, G.W.N.M. & R. MUNTS (1995)

Effecten van zandoverslag met de "Punaise II" op sediment en macrobenthos. Onderzoek in het kader van strandsuppletie bij Bloemendaal-Zandvoort 1993 t/m 1995.
Bureau Waardenburg, Culemborg, rapp. nr 95.47

VAN SCHEPPINGEN, Y. & A. GOENEWOLD (1990)

De ruimtelijke verspreiding van het benthos in de zuidelijke Noordzee, de Nederlandse kustzone, overzicht 1988-1989.
Milzon-benthos rapp. nr. 90-03, Rijkswaterstaat / SBNO

WOLFF, W.J. (1973)

The estuary as a habitat. An analysis of data on the soft-bottom macrofauna of the estuarine area of the rivers Rhine, Meuse, and Scheldt (PhD thesis)
Zool. Verh. 126: 1-242.

Deel IV

Integratie resultaten

14 Integratie resultaten Loswal Noord

14.1 Gedrag gestorte baggerspecie

Bij de radiometrische kartering van de Verdiepte Loswal is ook het gebied van Loswal Noord gekarteerd. Hieruit bleek (zie Figuur 5-5) dat in de hoogste gedeeltes het slibgehalte het laagst was. Het slib_{< 63 µm} zal door golfwerking uit de hogere delen (zo'n 7 m onder het zeeoppervlak) losgemaakt worden en wegstromen. Het voorkomen van gebieden met een laag slibgehalte is een belangrijke observatie omdat het slibgehalte in hoge mate de rekolonisatie van bodemorganismen bepaald. Indien de synoptische slibverdeling in 1996 bekend was geweest, had het biologisch onderzoek gericht uitgevoerd kunnen worden.

Op Loswal Noord is in december 2000 een schone laag zand aangetroffen van 17 cm, terwijl het NIOZ en AquaSense in 1999 een laag zand van resp 10 en 4 cm meten. In deze schone laag vindt, zoals reeds opgemerkt, de rekolonisatie plaats.

14.2 Retourpercentage

Het retourpercentage van Loswal Noord is niet uit metingen bekend, omdat in de onderzoeksperiode geen stortingen hebben plaatsgevonden. De enige waarde die voor het retourpercentage van baggerspecie gegeven kan worden, is de waarde afkomstig uit modelberekeningen. In 1991 werd 32 % en in 1999 44 % berekend. Voor slib_{< 63 µm} bedraagt het retourpercentage 44 % (1991) (toevallig dezelfde waarde 44).

In de loop van de tijd is dus een groot deel van het slib_{< 63 µm} verdwenen waardoor herstel van het bodemleven mogelijk is. Dit globale beeld geeft echter geen specifieke informatie voor elke bemonsteringslocatie van het biologisch onderzoek.

14.3 Verband bodemsamenstelling en bodemorganismen

Inleiding

Verbanden tussen sedimentkarakteristieken en ontwikkelingen in de macrobenthos- en megafaunagemeenschap kunnen op verschillende niveaus worden onderzocht. Aantallen soorten, dichtheden en biomassa's in monsters kunnen direct worden vergeleken met het slibgehalte en de mediane korrelgrootte van de betreffende monsters. Door de grote aantallen gegevens zouden daartoe multivariate analyses zoals Canoco moeten worden uitgevoerd. Zeker in het geval van een sjabloonbemonstering (vijf parallelle schaaftrekken) is het de vraag of de sedimentgegevens voldoende representatief zijn voor de corresponderende schaaftrek. Omdat de afstand tussen de trekken kleiner is dan de lengte ervan ligt het meer voor de hand om de trekken integraal te behandelen en te vergelijken met de gemiddelde sedimentkarakteristieken voor die monsterlocatie.

Hier wordt gekozen voor het weergeven van een algemeen beeld van de sedimentkarakteristieken en de eventuele ontwikkeling daarin, waarna de relatie met het dierlijke leven wordt aangegeven.

Kaartjes met locaties staan in Figuur 5-2 t/m Figuur 5-5 en in Figuur 6-6 t/m Figuur 6-8.

Referentie

Op de referentielocaties rond het meest recente stortvak op Loswal Noord (vak 53) bedraagt het slibgehalte ongeveer 1 %. Het NIOZ vindt wat hogere waarden dan AquaSense. Op de zeewaartse locaties Ref-4 en Ref-6 is het slibgehalte relatief laag (gemiddeld <1 %). Ten oosten van Loswal Noord op station Ref-2 worden juist opmerkelijk hoge slibgehalten (meestal >10 %) gevonden.

De mediane korrelgrootte is meestal omgekeerd evenredig met het slibgehalte, nl. hoe groter de korrelgrootte, des te lager is het slibgehalte. Ref-4 en NW4 zijn relatief grofzandig.

Zowel het slibgehalte als de korrelgrootte veranderen op al deze locaties gedurende de periode 1996-1999 nauwelijks.

Bij de interpretatie van faunagegevens dient rekening gehouden te worden met de toename van het slibgehalte richting de kust. Er is een sterke indicatie voor een afname van de soortenrijkdom richting de kust (zie Loswal Noordwest).

Storting

Direct na de beëindiging van de storting van baggerspecie in juni 1996 was er in vak 53 een veel hoger slibgehalte aanwezig (8-37 %) dan op de meeste referentielocaties.

Het effect van de storting tot in 1996 is evident: zowel bij het macrobenthos als in de megafaunagemeenschap worden een extreem lage soortenrijkdom, dichtheid als biomassa aangetroffen.

Uitstralingseffect

Het slibgehalte op locaties tot op 5 km bij vak 53, nl. Ref-1 (op Loswal Noord) en Ref-3 en 5, is wat hoger dan op locaties verder uit de kust (zie boven). In de referentiesituatie bij Loswal Noordwest worden de hoogste slibgehalten echter ook het dichtst bij de kust gevonden (zie §16.3). Op basis van het slibgehalte is een eventueel uitstralingseffect (het uitwaaien van slib) daarmee niet goed te onderscheiden van een algemene toename van het slibgehalte in de richting van de kust.

De situatie op Ref-2, 7 km stroomafwaarts van vak 53, is wel een indicatie voor een uitstralingseffect tot op meerdere kilometers van de stortlocatie: het slibgehalte is er vergelijkbaar met dat in vak 53 ten tijde van de storting. Wel is het opvallend dat het slibgehalte op Ref-2 hoog blijft terwijl er in vak 53 zelf juist een herstel optreedt. Bovendien is het merkwaardig dat de locatie Ref-1, in dezelfde richting als Ref-2 maar veel dichterbij vak 53, een veel lager slibgehalte heeft.

Op zowel Ref-5, Ref-1 als Ref-2 (NIOZ) als N1 en N4 (AquaSense) is de mediane korrelgrootte klein ten opzichte van locaties verder uit de kust. Ref-3 neemt een tussenpositie in. De referentiesituatie bij Loswal Noordwest duidt in dit geval niet op het fijner worden van zand in de richting van de kust (zie §16.3). Op basis van de mediane korrelgrootte kan dus wel geconcludeerd worden dat er een uitstralingseffect vanuit vak 53 is.

Zowel bij het macro- als megabenthos kan bij Loswal Noord geen duidelijk uitstralingseffect worden aangetoond. Ref-1 is zelf ooit een stortlocatie geweest. De situatie op Ref-2 doet vermoeden dat een uitstralingseffect in de vorm van een verlaagde soortenrijkdom zich tot op enkele kilometers uitstrekt, maar mogelijk speelt hierbij een effect van de kustnabije positie van deze locatie (zie Loswal Noordwest).

Herstel

In de 3 jaar na 1996 toonden metingen van het NIOZ op de stortlocatie een duidelijke afname van het slibgehalte aan, tot ongeveer 1 %, vergelijkbaar met de meeste referentielocaties. Volgens de metingen van AquaSense bleef het slibgehalte op deze locatie (N5) echter hoog (24 %). Zowel AquaSense als het NIOZ signaleren in vak 53 in de loop der jaren een toename in de mediane korrelgrootte. Volgens AquaSense blijft de mediane korrelgrootte tot in 1999 wel duidelijk kleiner dan op de referentielocaties N1 en N4. Het NIOZ daarentegen constateert een verandering in vak 53 tot een sedimenttype dat zelfs relatief grof is ten opzichte van de referentiestations in de omgeving. Alhoewel er dus indicaties zijn voor een herstel van de sedimentkarakteristieken zijn de resultaten niet eenduidig. Wellicht is dit te wijten aan een weinig homogene opbouw van de bodem, waardoor toevalseffecten in de bemonstering een grote rol kunnen spelen. Aan de hand van een inspectie van de verticale bodemopbouw bleek de zeebodem allerm minst hersteld te zijn. Beide onderzoeksinstanties troffen een top laag van zand aan (NIOZ: 10 cm, AS: 3-5 cm), met daaronder een zwarte slibrijke laag. Indien de sedimentmonsters van AquaSense van een wat grotere gemiddelde diepte komen dan de monsters van het NIOZ dan zou dat de gevonden verschillen kunnen verklaren.

In 1997, een jaar na de beëindiging van de storting (in juni 1996) op Loswal Noord, is de macrofauna (aantal soorten, dichtheid en biomassa) op N5 (vak 53) al vergelijkbaar met de referenties N1 en N4. Dat na een jaar toch nog geen echte stabiele eindsituatie wordt bereikt, wordt geïllustreerd door het als het ware doorschieten van de soortenrijkdom, dichtheid en biomassa in 1998. Deze ontwikkeling kan waarschijnlijk gerelateerd worden aan de grote ruimtelijke variatie in sedimentologische karakteristieken. De simultane aanwezigheid van grof en fijn sediment biedt in beginsel een groot scala aan habitats voor evenzoveel soorten.

Ook bij de megafauna (megabenthos en vissen) lijkt na beëindiging van de storting op Loswal Noord binnen een jaar een snel herstel op te treden in termen van aantallen soorten, dichtheid en biomassa. Dit proces zet in de twee jaren daarna echter niet door. Op Ref-1, een 'referentiestation' op Loswal Noord, waar al veel langer niet gestort is, treedt eveneens een stagnatie in het herstel op. De soorten die op Loswal Noord terugkeren behoren overwegend tot de mobiele soorten - veelal kreeftachtigen en vissen - terwijl ingegraven megabenthossoorten zoals stekelhuidigen en schelpdieren opvallend ontbreken of nauwelijks terugkeren. Deze ingegraven soorten zijn voor een herstel vooral afhankelijk van de kolonisatie door larven. Mogelijk verhindert de kwaliteit van het sediment een succesvolle vestiging en/of metamorfose van deze larven.

Koppeling met chemisch en ecotoxicologisch onderzoek

In het chemisch onderzoek is gevonden dat de gemeten gehalten verontreinigingen in de bodemmonsters op de loswal aan de norm voldoen. Dat wil zeggen dat deze gehalten niet geacht worden schadelijk te zijn voor bodemorganismen. Dit blijkt ook uit het feit dat met het bodemmateriaal geen

toxische effecten opgewekt konden worden in testorganismen. Hieruit kan de conclusie getrokken worden dat de bodemorganismen bij het storten van baggerspecie sterven door de bedelving. Het biologisch onderzoek laat zien dat rekolonisatie belemmerd wordt door een hoog slibgehalte. Hieruit kan mogelijk de conclusie getrokken worden dat baggerspecie beter in dunne lagen over een groot gebied verspreid kan worden ten einde sterfte van organismen te voorkomen. Bodemorganismen zijn gewend aan een dynamisch milieu waarbij aanpassing aan een geringe mate van bedelving mogelijk is (zie hoofdstuk 13).

15 Integratie resultaten Loswal Noordwest

15.1 Gedrag gestorte baggerspecie

De gestorte baggerspecie bevindt zich als een berg op de loswal en heeft zich zeker over een afstand van 3 km verspreid zoals uit de lodingen blijkt. Uit biologisch onderzoek blijkt dat de invloed van de gestorte baggerspecie tot 4 km kan reiken. Volgens de karteringen verspreidt de baggerspecie zich over een nog grotere afstand.

Uit het stromingsonderzoek blijkt dat de baggerspecie zich ook in zuidelijke richting verspreid, hoewel de afwezigheid van een retourstroom was voorspeld. De momentane stroomrichting van het water is in 38 % van de tijd naar het noorden gericht. De resttransportvector is naar de zuidelijke sector gericht. Van het slibtransport treedt 63,1 % in zuidelijke richting op. Verder is het slibtransport ongelijk verdeeld over de tijd: 52,4 % van het transport is opgetreden in 6 % van de tijd.

15.2 Retourpercentage Loswal Noordwest

Het wegstroompercentage voor baggerspecie bedraagt 50,4 % en voor slib_{< 63 µm} 77,9 %. Beide wegstroompercentages blijven stijgen in de loop van de tijd, zodat nog niet bekend is (september 2002) of het uiteindelijke niveau al bereikt is. De retourpercentages voor baggerspecie en voor slib_{< 63 µm} zijn resp. 17,4 en 27,0 %.

Het hoge wegstroompercentage van slib betekent dat een groot deel van het slib wegstroomt waardoor een slibarme bodem vrijkomt waarop herstel van het bodemleven mogelijk is.

15.3 Verband bodemsamenstelling en bodemorganismen

Referentie

In 1996, voor de aanvang van de baggerspeciéstorting, kent het hele gebied van Loswal Noordwest in het algemeen een laag slibgehalte: 0–2,5 % (NIOZ). De referentiewaarden van 0,0–0,2 % van AquaSense uit 1996 zijn opvallend laag (overigens ook die op Ref-4 in de jaren daarop).

Op de noordwestelijke locaties is het slibgehalte in het referentiejaar 1996 meestal 0,5–1 %, op de zuidoostelijke varieert het van 1,5–3,5 %. Dit is een aanwijzing voor een natuurlijke toename van het slibgehalte richting de kust. Het sediment is middelgrof- tot grofzandig (mediane korrelgrootte 300–400 µm). Noch in de richting van de reststroom, noch in een richting dwars daarop is er een gradiënt in de mediane korrelgrootte te bespeuren.

Locatie 5E vormt met een slibgehalte van 4,7 % en een mediane korrelgrootte van 200–300 µm een uitzondering. Deze afwijkende situatie blijft in de jaren daarna bestaan.

In de referentiesituatie (1996) liggen negen van de tien schaaftrekken met de laagste soortenrijkdom op de twee oostelijke raaien. Dit een sterke indicatie voor een kustwaartse afname van de soortenrijkdom. Een relatie met de bovengenoemde toename van het slibgehalte in de richting van de kust ligt voor de hand.

Kaartjes met locaties staan in Figuur 5-2 t/m Figuur 5-5 en in Figuur 6-6 t/m Figuur 6-8.

Storting

Het effect van de storting van baggerspecie in vak 29 is duidelijk te zien op locatie OC: het slibgehalte neemt na een jaar sterk toe: tot 24 - 36 % (NIOZ) en 37 % (AquaSense). In 1999 bevat een monster van het NIOZ op OC zelfs een slibgehalte van 58 %. Snel na de aanvang van de storting bij locatie 1C in vak 30 in 1998 is ook daar het slibgehalte hoog (39 % en 25 %, respect. NIOZ en AquaSense).

Evenals op Loswal Noord vertoont de bodem een gelaagde opbouw, waarbij zand en slib_{< 63 µm} elkaar afwisselen.

Het effect van storting op de fauna in de stortvakken van Loswal Noordwest is duidelijk. Vóór de aanvang van de baggerspeciestorting (1 juli 1997) bedraagt de soortenrijkdom op de meeste locaties nog 23–33 soorten. In 1997, elf maanden na aanvang van het storten, is op de stortlocatie OC het aantal soorten afgenomen tot 10. Het storten bij locatie 1C heeft eveneens een sterke achteruitgang van zowel de soortenrijkdom, de dichtheid als biomassa tot gevolg. Op zowel station OC als 1C ontstaan er ten tijde van de storting en daarna steeds nieuwe macrobenthosgemeenschappen (Tabel 12-7 en Figuur 12-7). Dit kan verklaard worden doordat na storting op de korte termijn zich steeds nieuwe gemeenschapstypen ontwikkelen afhankelijk van de op dat moment voor kolonisatie beschikbare levensvormen. Bovendien is er ten tijde van de storting een relatief grote variatie in sedimentkarakteristieken. Het nonnetje (*Macoma balthica*) weet als een van de weinige soorten te profiteren van de storting van baggerspecie op Loswal Noordwest. Dit slibminnende schelpdier bereikt alleen hoge dichtheden op en rond de stortlocaties.

Uitstralingseffect

Na de aanvang van de stortingen bij OC werden in de directe omgeving ook sterk verhoogde slibgehaltenes gevonden: op de stations OB, 1C en 1B, op 1 km ten oosten en/of ten zuiden van OC vond het NIOZ voortdurend slibgehaltenes tussen de 16 en 50 %. Het slibgehalte op 1C en OB was zelfs hoger dan op de stortlocatie OC. In 1997 hadden de stations OA en 2C, op 2 km ten zuiden en oosten van OC, ook een hoog slibgehalte (5 en 16 %). Ook AquaSense vond in 1997 een hoog slibgehalte (46 %) op 1 km ten oosten van OC.

Vanaf het moment dat bij 1C werd gestort, nam het slibgehalte bij 1B nog verder toe. In oostelijke richting was het effect minder extreem.

Het NIOZ vond vanaf 1998 slibgehaltenes van 4 tot 6 % op stations waar vóór de storting nog een slibgehalte van 0,5 tot 2,5 % werd gemeten. Dit zou een toename van het slibgehalte tot op 4,5 km van de stortlocatie 1C betekenen. De variatie in slibgehaltenes van het NIOZ van jaar tot jaar verhindert echter dat een uitstralingseffect kan worden aangetoond op méér dan 3 km van de stortlocatie.

AquaSense vond in de periode 1997 - 1999 op 1, 2 en 3 km ten oosten van 1C slibgehaltenes van respectievelijk 2,7-6,7 %, 1,4-6,4 % en 1,5-3,6 %. Deze waarden passen goed in het beeld van het NIOZ.

Dat er toch sprake is van een effect van de baggerspeciéstorting tot op 4 km van 1C blijkt uit de beschrijving van de bodem door AquaSense: op 1C was slib_{< 63 µm} in de bovenste 15 cm van het sediment te traceren. Verder naar het oosten nam de dikte van de sliblaag geleidelijk af tot 2 cm op station 5C. Samenvattend: het sterkste effect van de baggerspeciéstorting op de sedimentsamenstelling van Loswal Noordwest is aanwezig tot op 1 à 2 km afstand van de stortlocatie, met name in zuid en/of oostelijke richting. Voorts is een verhoogd slibgehalte te traceren op een aantal locaties tot op 4 km afstand. Deze verhoging is echter bescheiden van aard.

In de macrobenthosgemeenschap treden tot op één kilometer afstand van de stortlocaties 0C en 1C bescheiden uitstraaleffecten op in de vorm van een lage soortenrijkdom, dichtheid en biomassa. Bij de megabenthosgemeenschap is het effect op een afstand van 1 km van de stortlocatie groter: een sterk verarmde soortenrijkdom, een geringe dichtheid (relatieve abundantie) en een zeer geringe gelijkenis van de fauna met overige stations. Daarnaast is er een lage soortenrijkdom van het megabenthos op andere stations tot op een afstand van 3 km van de stortlocatie.

Herstel

Op Loswal Noordwest kon aan de hand van de NIOZ-data geen herstel van de sedimentkarakteristieken worden aangetoond. Op locatie 1C werd in 1999, het laatste jaar van het onderzoek, nog slib_{< 63 µm} gestort zodat een herstel hier sowieso nog moest beginnen. Op locatie 0C werd vanaf 1998 niet meer gestort, maar in 1999 bleef het slibgehalte hoog, vermoedelijk door de nabijheid van de nieuwe stortlocatie bij 1C. Wel is er in de verdeling van de sedimentfracties (gegevens AquaSense) een toename van de grovere zandfracties te zien.

Op Loswal Noordwest leek wel een snel herstel op te treden in de macrofauna: in 1998, twee maanden na het beëindigen van de storting op 0C, zijn er al 21 soorten. Deze ontwikkeling is waarschijnlijk mogelijk doordat er bij 0C naast slib_{< 63 µm} ook al snel grovere zandfracties aanwezig zijn, een indicatie voor een relatief grote habitatvariëteit. De dichtheid en de biomassa blijven in 1998 en 1999 echter laag, mogelijk onder invloed van de stortingen bij 1C. Op Loswal Noordwest is het onderzoek van te korte duur om goede uitspraken over een herstelltijd te doen.

Over de hele loswal percentage gemeten is er een hoog gemiddeld wegstroompercentage voor slib_{< 63 µm} gevonden, 77,9 %. Op grond hiervan is echter geen uitspraak te doen over de specifieke locaties waar biologisch en chemisch onderzoek is uitgevoerd.

Doordat Loswal Noordwest met de van Veenhapper bemonsterd is, is niet zoveel informatie verkregen over de bodemopbouw als met de boxcore mogelijk was geweest.

16 Antwoord op vragen uit het MER

In het milieu-effectrapport 'Een nieuwe Loswal Noord?' (Anonymous, 1995-a) staan in hoofdstuk 8 een aantal vragen opgesomd die in het kader van de mer-procedure beantwoord zouden kunnen worden. Er is slechts een beperkt deel van de vragen uit het MER beantwoord. Vragen met een algemeen onderzoekend karakter en vragen die een groot gebied zouden beslaan, zijn buiten beschouwing gelaten. Ook vragen die als irrelevant werden beschouwd zijn niet beantwoord. Het beantwoorden van alle vragen zou gedurende een lange periode vele onderzoekers hebben beziggehouden, waarbij de kosten en het beslag op materieel groot zou zijn geweest. Om pragmatische redenen heeft een inperking van het aantal te beantwoorden vragen plaatsgevonden. Ondanks deze inperking heeft het onderzoek zo'n 8 jaar en vele miljoenen guldens gekost.

Wel is uitgebreid onderzoek verricht naar de milieu-effecten van het storten van baggerspecie omdat het milieu-effect centraal staat. Het betreft de veranderingen in het bodemleven na het stoppen of starten met het storten, de chemische samenstelling van de zeebodem en de ecotoxicologische effecten. Verder is een poging gedaan om het wegstroom- en retourpercentage van baggerspecie en slib_{< 63 µm} te kwantificeren hoewel dit in eerste instantie een economisch vraagstuk is en minder goed past in een milieu-effect studie.

In bijlage 1 van hoofdstuk 20 staan alle vragen uit het MER opgesomd en per vraag is aangegeven of er onderzoek naar het antwoord is gedaan.

17 Discussie / conclusie

17.1 Resultaten van het onderzoek

De meetresultaten uit deze studie geven aanleiding tot onderstaande discussie en er kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

17.1.1 Loswal Noord

Bodemecosysteem

Uit het onderzoek blijkt dat het herstel op **Loswal Noord** in het laatste meetjaar, 1999, nog niet volledig was. Ook zijn de jaar tot jaar variaties soms gering.

Het herstel van de kleinere organismen is omvangrijker dan dat van grotere organismen. Kleinere organismen nemen met een dunnere zandlaag genoeg dan grotere organismen.

Een uitgebreide discussie van de resultaten van het onderzoek naar het bodemecosysteem staat in § 12.3 en wordt hier niet herhaald.

Chemie

Van 1996 tot 1998 zijn een aantal stoffen in de bodem op en rond de oude **Loswal Noord** onderzocht. Het storten van licht verontreinigde baggerspecie uit de haven van Rotterdam op de dynamische loswal Noord resulteert in een beperkte toename van de gehalte van microverontreinigingen in het sediment, variërend van een factor 2 tot 5.

Het slibgehalte (fractie < 63 µm) was ruim 4x hoger vergeleken met de referentielocaties, terwijl het percentage organisch koolstof gehalveerd was. Op Loswal Noord waren de gehaltes aan microverontreinigingen in het sediment in het laatste jaar van de stortingen (1996) hoger dan in de omgeving: cadmium en kwik 2x, PCB 3-5x, PAK 2-3x en TBT 3x. De metalen lood, koper, zink, chroom en nikkel, vertoonden geen verhoogde gehaltes ten opzichte van de referentielocatie. Alle gehaltes zijn gemeten in de fijne fractie (< 63 µm) en gestandaardiseerd. Het oliegehalte is laag.

In de twee opeenvolgende jaren (1997 en 1998) na het staken van de stortingen is een geringe verbetering van verontreinigingen in sediment opgemerkt. Het slibgehalte halveerde, maar het gehalte organisch koolstof bleef gelijk. Er werd nauwelijks herstel gezien van de contaminantenlast in sediment. De mate van verontreiniging met PAK en kwik is tussen 1996 en 1998 verbeterd maar niet sterk significant. Het kwikgehalte in het slib_{< 63 µm} daalde met 30 %, maar een overeenkomstige daling werd ook in de referentielocaties Ref-1 en Ref-4 gezien, resp. 46 % en 36 %. Blijkbaar zijn dit geen achtergrondwaarden.

De concentraties van de contaminanten in het slib_{< 63 µm} zijn na twee jaar nog niet vergelijkbaar met de omgeving. Het verschil in gehaltes tussen het stortvak en de omgeving is echter beperkt (factor 2 tot 5).

Uit deze resultaten volgt dat de baggerspecie, die in de Noordzee gestort mag worden (de klassen 1 en 2 die voldoen aan de Uniforme Gehalte Toets), weinig bijdraagt aan de verontreinigingsgraad van de Noordzee. Maar ook is te zien dat deze geringe verhoging van de verontreinigingsgraad niet binnen twee jaar verdwenen is.

Gezien de geringe afname van de verontreinigingsgraad en de geringe verhoging is dit onderzoek naar de verontreiniging in het sediment niet voortgezet na 1998.

Ecotoxicologie

Voor de oude **Loswal Noord** werden ecotoxiciteitstesten uitgevoerd in 1996. De ecotoxicologische metingen laten met name verschillen zien in blootstellingsgerelateerde parameters (bioaccumulatie, CALUX). In de effectgerelateerde parameters worden geen verschillen gevonden. Om deze reden lijkt het niet waarschijnlijk dat dergelijke stortingen sterk nadelige effecten hebben veroorzaakt op de benthische fauna wat betreft soortenrijkdom, dichtheid en biomassa als de vergelijking wordt gemaakt met de invloed van scheepvaart, atmosferische depositie en input van rivieren op de plaatselijke achtergrond. Op de Loswal Noord waren de weefselgehalten van microverontreinigingen in zeesterren slechts circa een factor 1,5 hoger. Verder werden er geen effecten van de biomarkers in zeesterren, van sedimentgiftigheid of pathologie van vissen waargenomen. Alleen de biomarker CALUX-DRE was twee keer zo hoog, wat een afspiegeling vormt van het gehalte PCB wat ook twee zo hoog was op het stortvak vergeleken met de referentielocatie.

Opvallend is dus het ontbreken van nadelige effecten van het storten van licht verontreinigd sediment op het ecosysteem rond een loswal die vele decennia is gebruikt. Dit resultaat is echter in lijn met de bevindingen van de chemische verontreiniging en bevestigt de conclusie dat het storten van licht verontreinigde havenspecie geen nadelige ecotoxicologische effecten heeft op het functioneren van het ecosysteem.

De achteruitgang van het ecosysteem op de loswal moet dus eerder aan bedelving door dikke lagen baggerspecie worden toegeschreven dan aan toxische effecten.

In de uitgangssituatie in 1996 is geen verschil tussen de loswal en referentie aantoonbaar.

Gezien de beperkte omvang van de geobserveerde effecten, de beperkte set beschikbare testen en de geringe verhoging van de gehalten in sediment van een aantal onderzochte verbindingen, werd het niet zinvol geacht de ecotoxicologische effecten nog verder te onderzoeken na het eenmalige onderzoek in 1996.

17.1.2 Loswal Noordwest

Bodemecosysteem

Een uitgebreide discussie van de resultaten van het onderzoek naar het bodemecosysteem staat in § 12.3 en wordt hier niet herhaald.

Chemie

Voor de aanvang van de stortingen in 1996 op de nieuwe **Loswal Noordwest** is deze loswal niet te onderscheiden van de omgeving wat betreft bodemsamenstelling en stoffenniveau.

In 1997, een jaar na de t_0 metingen (1996), is de concentratie in het sediment van Loswal Noordwest aanzienlijk toegenomen van slib_{< 63 µm} (80x hoger), cadmium, kwik, PCB en PAK (2x), en TBT (3x hoger). De gemiddelde gehalten lood, koper, zink, chroom en nikkel verschillen na normering niet veel tussen de belaste gebieden en de referentiegebieden. De uitstraling is ongeveer 5 km. Na een jaar storten is hetzelfde niveau bereikt als van de oude Loswal Noord in Vak 53 in het laatste stortjaar.

In 1998, twee jaar na de ingebruikneming, zijn de PCB, PAK en TBT gehalten niet verder toegenomen en lijkt een zekere stabilisatie op te treden. In geval van cadmium en kwik zijn de gevonden gehalten zelfs lager dan in 1997.

De locaties stroomafwaarts van Loswal Noordwest worden sterk beïnvloed door de aanvoer van licht verontreinigd slib, waarbij de reeds voor 1996 aanwezige hoeveelheid slib_{< 63 µm} verwaarloosbaar lijkt. Hierdoor zijn in de gebieden stroomafwaarts de contaminantgehalten (per kg fijn slib) in vrijwel dezelfde mate gestegen als bij Loswal Noordwest zelf. De sedimentfracties in het gebied 'stroomopwaarts' van het stortvak vertoonden geen verhoogde gehalten.

Omdat echter de verschillen met de omgeving wat de concentraties slib_{< 63 µm} en verontreinigende stoffen betreft vrij gering zijn en omdat er op grond van het onderzoek op Loswal Noord met de gebruikte meettechnieken ook geen ecotoxicologische effecten te verwachten zijn, zijn de metingen van de verontreinigingsgraad na 1998 niet voortgezet. De verontreinigingsgraad is voorts sterk met slibhoeveelheden gecorreleerd. Deze worden wel gemonitord.

Ecotoxicologie

Er is geen ecotoxicologisch onderzoek uitgevoerd op de nieuwe **Loswal Noordwest** omdat op de oude Loswal Noord na 35 jaar storten van baggerspecie geen effecten werden gevonden. Noch de contaminantenlast in zeesterweefsel, noch de ecotoxicologische effecten bleken op loswal Noord significant te verschillen van de referentielocaties.

Wegstroom- en retourpercentage

Bij de berekening van het wegstroom- en retourpercentage vanaf **Loswal Noordwest** kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt.

- 1) Voor de volledigheid een herhaling van de resultaten:

wegstroompercentage baggerspecie	50,4 %
wegstroompercentage slib _{< 63µm}	77,9 %
retourpercentage baggerspecie	17,4 %
retourpercentage slib _{< 63µm}	27,0 %
- 2) De hoeveelheid baggerspecie uit de havens is uit het volume berekend met een omrekenfactor (0,4 TDS.m⁻³). De betrouwbaarheid van deze factor is onbekend. Als deze omrekenfactor 10 % te hoog of te laag is, is het wegstroompercentage 1,2 procentpunt hoger of lager;
- 3) het lodingsgebied van Loswal Noordwest is te beperkt geweest waardoor zowel een partiële dubbeltelling als een extrapolatie met 6 % heeft plaatsgevonden om een schatting van de totale resterende massa te kunnen maken. Door deze kunstgreep is een extra fout van onbekende omvang geïntroduceerd;

-
- 4) door het beperkte lodingsgebied ontbreekt ook een onbeïnvloed referentie-gebied waarmee gecorrigeerd kan worden voor gebiedsveranderingen die over het hele gebied plaatsvinden maar niets met de stortingen te maken hebben. Een groter lodingsgebied biedt hierin soelaas;
 - 5) de dichtheid is slechts tweemaal gemeten en wel in de laatste periode waarin gestort werd. Hierdoor ontbreekt exacte informatie over de resterende massa op de loswal in de beginperiode;
 - 6) bij de berekening van de volumetoename op Loswal Noordwest is verondersteld dat er geen hoogteverandering op vak 8 hebben plaatsgevonden. Als vak 8 en hiermee ook het hele beschouwde gebied van 25 km² is gestegen, dan is het wegstroompercentage 1,5 procentpunt hoger. Dus bij 1 cm 48,9 % in plaats van 50,4 %;
 - 7) sommigen vinden de gemeten droge dichtheid aan de hoge kant. Berekening laat zien dat het wegstroompercentage 67,7 % was geweest en geen 50,4 % als de droge dichtheid 1,0 (referentie natte dichtheid 1,63) en geen 1,59 ton.m⁻³ (referentie natte dichtheid 1,99) was geweest;
 - 8) het is niet bekend of het slib_{< 63 µm} buiten de loswal permanent 'begraven' is of weer vrij komt in de loop van de tijd, bijv. bij stormen;
 - 9) voor de kwantificering van slib_{< 63 µm} rondom de loswal met behulp van radiometrische kartering is de (in)homogeniteit van de bovenste 30 cm van de zeebodem van belang. Deze (in)homogeniteit is niet voldoende bekend;
 - 10) het is niet bekend of de bergingscapaciteit voor slib_{< 63 µm} beperkt of onbeperkt is en of de maximale bergingscapaciteit van de zeebodem rondom Loswal Noordwest al bereikt is;
 - 11) de massabepaling door de radiometrische kartering is onvoldoende betrouwbaar;
 - 12) hoewel de zuid-fractie (de fractie slib_{< 63 µm} ten zuiden van de loswal) twee keer met hetzelfde resultaat gemeten is, nl. 0,35, is onbekend of deze fractie echt constant is over de tijd. Deze zuid-fractie is cruciaal bij de berekening van het retourpercentage;
 - 13) er is verondersteld dat de fractie van het wegstroompercentage (de retourstroom) naar het zuiden via de waterfase gelijk is aan de fractie van het slib_{< 63 µm} die zich op de bodem heeft afgezet. Hiervoor wordt enigszins een onderbouwing gevonden in het slibtransportonderzoek;
 - 14) de bruikbaarheid van de resultaten van de radiometrische kartering was groter geweest als de tweede kartering 5 à 6 jaar na aanvang van het storten was uitgevoerd. De lodingresultaten zijn in de periode veel betrouwbaarder en vermoedelijk is dan bijna het maximale retourpercentage bereikt;
 - 15) na 6 jaar vertoont het retourpercentage van baggerspecie (zand + slib) en van slib_{< 63 µm} nog steeds een stijgende lijn. Wanneer het maximale niveau bereikt wordt, is onbekend;
 - 16) modelresultaten laten zien dat retourpercentage van baggerspecie tussen 7 en 20 % zit. Dit is in overeenstemming met de gemeten waarde van 17 %;
 - 17) de modelaannamen gaan uit van een wegstroompercentage van baggerspecie tussen de 24 en 48 %; uit metingen volgde 50,4 %;
 - 18) de afname van de baggerinspanning in haven en vaargeul samen bedraagt 42 % over de periode van juli 1996 tot augustus 2000 ten opzichte van de periode 1983 tot juli 1996. Het model had 30 à 31 % voorspeld.

18 Aanbevelingen

Hieronder staan de aanbevelingen op grond van de discussie en conclusies. Het betreft zowel aanbevelingen voor aanvullend of nieuw onderzoek als voor het beleid voor het storten van baggerspecie.

Biologie

- 1) Voor aanvang biologisch onderzoek een radiometrische kartering uitvoeren over het hele onderzoeksgebied om de slibpatronen vast te leggen. Op grond van de slibverspreiding kan de bemonsteringsstrategie voor de bodemorganismen beter worden vastgesteld;
- 2) Het biologisch onderzoek niet jaarlijks maar om het jaar uitvoeren. Hiermee wordt inzicht in het herstelproces over een langere tijd verkregen tegen dezelfde kosten. De jaar tot jaar variaties zijn soms gering, en zijn niet altijd te onderscheiden van natuurlijke variaties;
- 3) Bodemonsters met de boxcore nemen zodat de laagopbouw beter in beeld komt. Deze laagopbouw is mede bepalend voor herstel van het bodemleven.

Chemie

- 1) Er is geen reden om de opzet van het chemisch onderzoek in een nieuw onderzoek aan te passen. Wel zou overwogen kunnen worden om het onderzoek niet jaarlijks maar om het jaar te laten plaatsvinden, gezien de geringe jaar tot jaar variaties en de 'natuurlijke' variaties in de referentielocaties. Dit nog afgezien van de vraag of dit onderzoek wel herhaald moet worden.

Ecotoxicologie

- 1) Er is geen reden om de opzet van het ecotoxicologische onderzoek in een nieuw onderzoek aan te passen. Wel zou van de meest recente onderzoekstechnieken gebruik gemaakt moeten worden, waarmee misschien wel een toxisch effect kan worden aangetoond. Ook bij dit onderzoek is het de vraag of een herhaling zinvol is.

Radiometrische kartering

- 1) De tweede kartering pas na 5 of 6 jaar storten uitvoeren omdat dan de lodingsresultaten en daarmee het berekende wegstroompercentage betrouwbaarder is. Verder is op dat moment vermoedelijk de eindsituatie bereikt van de oplading met slib_{< 63 µm} in het surveygebied rondom de loswal.

Lodingen

- 1) De eerste loding na aanvang van het storten pas na drie jaar uitvoeren. In de periode daarvoor is de onzekerheid te groot. Deze tijdsspanne is uiteraard afhankelijk van de gestorte hoeveelheid baggerspecie. In dit geval is na drie jaar circa 20 MTDS gestort;
- 2) Eén loding per jaar geeft voldoende informatie;
- 3) De lodingen moeten zich wel in alle richtingen uitstrekken tot een afstand van minstens 5 km vanaf de stortlocatie. Hiermee wordt de complete stortberg in beeld gebracht terwijl er ook een referentiegebied gelood wordt, dat nauwelijks beïnvloed wordt door

-
- de stortingen en waarmee gecorrigeerd voor gebiedsveranderingen die niet het gevolg zijn van de stortingen;
- 4) Met het loden langer dan 6 jaar doorgaan omdat er na deze periode (na het storten van circa 27 MTDS) nog steeds een stijgende lijn zit in het wegstroompercentage en het retourpercentage van zowel baggerspecie als slib $< 63 \mu\text{m}$.

Dichtheidsmetingen en slibbepaling

- 1) Tijdens elke lading dient ook een bepaling van de droge dichtheid via de weegmethode uit 50-cm secties van steekboringen plaats te vinden, evenals een bepaling van het slibgehalte.

Wegstroom- en retourpercentage

- 1) Het vaststellen van het wegstroom- en retourpercentage blijkt een lastige puzzel, die wellicht nooit helemaal opgelost kan worden. Er kan ook besloten worden om de afname van het retourpercentage uitsluitend af te leiden uit de afname in de baggerinspanning en geen aanvullend onderzoek te doen. Voorwaarde is wel dat er in de onderzoeksperiode van 5 à 10 jaar geen andere ingrepen in het havengebied plaatsvinden.

Storten van baggerspecie in zee

- 1) Het bodemleven sterft door bedelving onder dikke lagen baggerspecie en niet door de toxische effecten van baggerspecie. Het verdient de voorkeur de baggerspecie in de toekomst zodanig over de Noordzee te verspreiden dat slechts zulke dunne lagen baggerspecie op de bodem komen die door het bodemleven verdragen kunnen worden en waaraan zij door ontgraving kunnen ontsnappen;
- 2) Uit modelonderzoek van *de Kok* blijkt dat de kosten van het baggeren beperkt kunnen worden met enkele miljoenen als steeds op die plek in de Noordzee gestort wordt waar op dat moment de stroomrichting naar het Noorden gericht is.

19 Literatuurlijst

Rapporten geproduceerd voor het project Monitoring Alternatieve Loswallen

ANONYMOUS (1993-a)

Bioassays sedimenten Calandkanaal en Loswal Noord. Uitgevoerd t.b.v. de MER voor Loswal Noord.
AquaSense, rapportnummer 93.0437

ANONYMOUS (1996-a)

SILTMAN (2) Eindrapportage in situ metingen. Deel I, II en III.
Oceanographic Company of the Netherlands, 127.01

ANONYMOUS (1996-b)

Ecotoxicologische monitoring van Loswal Noord. De aanvangssituatie.
AquaSense, rapportnummer 95.0832

ANONYMOUS (1996-c)

Ecotoxicologische monitoring van Loswal Noord en noordwest met behulp van zeesterren.
AquaSense, rapport nummer 96.0409-2

ANONYMOUS (2001)

PUTMOR, field measurements at a temporary sand pit. Part 1: processing and validation
Ministerie van Verkeer en waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee; Svasek. 01037/1177

AARDOOM, J.H. (1999)

Slib3D berekeningen voor Loswal Noordwest. November 1999.
Aqua Vision. AV 61

ARIESE, F., BURGERS, I., HATTUM, B. VAN, HORST, B. VAN, SWART, K., UBBELS, G. (1997-a)

Chemische monitoring Loswal noordwest. Aanvangssituatie 1996. Eindrapport
Vrije Universiteit Amsterdam, Instituut voor Milieuvraagstukken, ISBN 90-5383-546-6

ARIESE, F., BURGERS, I., HATTUM, B. VAN, OUDHOFF, K., SWART, K. (1997-b)

Chemische monitoring Loswal noordwest. Situatie 1997
Vrije Universiteit Amsterdam, Instituut voor Milieuvraagstukken, R-97/13, ISBN 90-5383-587-3

ARIESE, F., HOPMAN-UBBELS, G., KAIM, P., OUDHOFF, K. SWART, K. (1999)

Chemische monitoring Loswal Noordwest. Situatie 1998. Herziene uitgave
Vrije Universiteit Amsterdam, Instituut voor Milieuvraagstukken, ISBN 90-5383-648-9. R99/01

BLACQUIERE, G. (1999)

Review rapporten KVI Loswal Noordwest, versie 2
TNO, rapport HAI-RPT-9900039

BUNT, J.D. VAN DEN, (2000)

Metingen op Loswal Noordwest van momentane stroom, reststroom en troebelheid.

Waterloopkundig laboratorium, B0472.00

DAAN, R., BERGMAN, M.J.N., SANTBRINK, J.W. (1997)

Macrobenthos op Loswal noord na 35 jaar stortingen van havenslib en op Loswal noordwest voor aanvang stortingen.

NIOZ, Rapport 1997-3, ISSN 0923-3210

DAAN, R., BERGMAN, M.J.N., SANTBRINK, J.W. (1998)

Macrobenthos op Loswal noord en noordwest in 1997, 1 jaar na verplaatsing van het stortgebied.

NIOZ, Rapport 1998-2, ISSN 0923-3210

DAAN, R., BERGMAN, M.J.N., DUINEVELD, G.C.A. (1999)

Macrobenthos op Loswal Noord en Noordwest in 1998, 2 jaar na verplaatsing van het stortgebied.

NIOZ, Rapport 1999-1, ISSN 0923-3210

DAAN, R., BERGMAN, M.J.N., DUINEVELD, G.C.A. (2000)

Macrobenthos op Loswal Noord en Noordwest in 1999, 3 jaar na verplaatsing van het stortingsgebied.

NIOZ, Rapport 2000-2, ISSN 0923-3210

EIJ, J.M., (2000)

Modelberekeningen voor Loswal Noordwest na Noordwester- en Zuidwesterstorm. November 2000.

Aqua Vision. AV 69

GROENENDIJK (1995)

Monitoringplan Alternatieve Loswal

V&W, RWS, RIKZ

GROENENDIJK, F.C. (1997)

Projectplan MAL: Monitoring Alternatieve Loswal. Voor de periode 1995 - 2002

V&W, RWS, RIKZ, 7 april 1997

GROENENDIJK, F (1998)

Radiometrische kartering Loswal Noordwest.

V&W, RWS, werkdocument RIKZ/AB-98.122x

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

Project 'Verdiepte Loswal'. Lithologie, watergehalte en volumieke massabepalingen van 5 steekboringen (eerste serie)

Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen / TNO. NITG-226-B

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

Project 'Verdiepte Loswal'. Lithologie, watergehalte en volumieke massabepalingen van 7 steekboringen (tweede serie, december 2000)

Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen / TNO. NITG 00-333-B

KLUYVER, M.J. DE (1997-a)

Effecten van de verplaatsing van Loswal Noord op het macrobenthos.
AquaSense, rapportnummer 96.0929

KLUYVER, M.J. DE (1997-b)

Effecten van de verplaatsing van Loswal Noord op het macrobenthos. De T1
situatie.
AquaSense, rapportnummer 97.1090

KLUYVER, M.J., NIEUWENHUIZEN, A. VAN (1998)

Effecten van de verplaatsing van Loswal Noord op het macrobenthos. De T2
situatie van 1998.
AquaSense, rapportnummer 98.1280

KLUYVER, M.J., NIEUWENHUIZEN, A. VAN, DUBBELDAM, M. (1999)

Effecten van de verplaatsing van Loswal Noord op het macrobenthos. De t3
situatie van 1998.
AquaSense, Project 1430

KOK, J.M. DE, SANDEH (2000)

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

**KOOMANS, R.L., MEIJER, R.J. DE, OKKER, D.A., STAPEL, C., VENEMA, L.B.
(1996)**

Survey Loswal Noordwest (Voorlopige resultaten)
Kernfysisch versneller instituut. Z47

LIMBURG, J., VENEMA, L.B., MEIJER, R.J. DE (2000)

Verdiepte Loswal', tO-survey. Data Report
Kernfysisch versneller instituut. Z-107

ROBERTI, J.R. (1999)

Meten met MEDUSA
Ministerie van Verkeer en waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust
en Zee
Werkdocument RIKZ/IT 99.137X

SANDEH (1999)

Bagger vaart een stukje verder.
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust
en Zee, werkdocument RIKZ/AB-99-132x

STRONKHORST, J. (1998)

Impact hypothesis and ecological monitoring of the relocation of the coastal
dump site for dredged material' from the port of Rotterdam.
V&W, RWS, RIKZ, paper presented at Scientific group of London Dumping
Convention

STUTTERHEIM, S. (2002-a)

Werkwijze voor de berekening van het wegstroompercentage en de standaardfout ervan voor Loswal Noordwest en de Verdiepte Loswal. Omvang van de standaardfout van het wegstroompercentage van de Verdiepte Loswal op grond van geschatte stortingen.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, werkdocument RIKZ/AB/2002-109x

STUTTERHEIM, S. (2002-b)

Retourpercentage van Loswal Noordwest. Bepaling op grond van baggeradministratie, lodingen en radiometrische kartering

Ministerie van Verkeer en waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, RIKZ werkdocument RIKZ/AB/2002.115x

STUTTERHEIM, S. (2002-c)

Het storten van baggerspecie in de Verdiepte Loswal.

Ministerie van Verkeer en waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, rapport RIKZ/2002.025

STUTTERHEIM, S. (2002-d)

Opleg-notitie. Conclusies naar aanleiding van onderzoek naar loswallen in de Noordzee voor baggerspecie uit het Rijnmondgebied.

Ministerie van Verkeer en waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, werkdocument RIKZ/AB/2002.120x

VENEMA, L.B., KOOMANS, R.L., STAPEL, C., MEIJER, R.J. DE, GROEN, P. (1997-a)

t1-survey at 'Loswal Noordwest' Part I.

Kernfysisch versneller instituut. Z-61

VENEMA, L.B., KOOMANS, R.L., STAPEL, C., MEIJER, R.J. DE, OKKER, D.A., GROEN, P., ZWANENBURG-NEDERLOF, H.P. (1997-b)

Radiometric surveys 'Loswal Noordwest' t0- en t1-synthesis report.

Kernfysisch versneller instituut. Z-66

VENEMA, L.B., MANSO, F., KOOMANS, R.L., LIMBURG, J., MEYER, R.J. DE (1998)

t2-survey at 'Loswal Noordwest'. Part I. Data report survey.

Kernfysisch versneller instituut. Z-77

VENEMA, L.B., HAVE, R. TEN, MEIJER, R.J. DE, OS, B. VAN, GIESKE, J.M.J.P., ZWANENBURG-NEDERLOF, H.P. (1999-a)

Radiometric t2- survey of 'Loswal Noordwest' Part II: Radiometric and geochemical characterisation.

Kernfysisch versneller instituut. Z-90

VENEMA, L.B., LIMBURG, J., MEIJER, R.J. DE (1999-b)

Radiometric t2- survey of 'Loswal Noordwest' Part III: Synthesis.

Kernfysisch versneller instituut. Z-91

**VENEMA, L.B., MEIJER, R.J. DE., LIMBURG, J., GIESKE, J.M.J., OS, B.J.H.
VAN, SPEK, A.J.F, VAN DER (2000)**

Assessment of the 'Verdiepte Loswal', t0-survey for radiometry
Kernfysisch versneller instituut. Z-107; NITG 00-188-B

VETHAAK, D. (1997)

Visserij nabij Loswal Noord juni 1996
V&W, RWS, RIKZ, losse aantekeningen

ZINDLER, J.A., SANDEH, HEINS, C. (2001)

Slibtransport vanaf Loswal Noordwest. Een inschatting op basis van stroom- en troebelheidsmetingen in de periode december 1999 tot en met april 2000.
Ministerie van Verkeer en waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee
RIKZ werkdocument OS/2001.158x

ZWANENBURG-NEDERLOF, H.P. (1999)

Onderzoek korrelgrootte verdeling van het gestorte materiaal Loswal Noordwest. Steekboringen juli 1999.
Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen / TNO. NITG 99-174-C

Geraadpleegde literatuur

ANONYMOUS (1990)

Putten in zee. Feasibility study.
Gemeente Rotterdam, Gemeentewerken Rotterdam, Onderhoud havens,
Ingenieursbureau Geotechniek en Milieu, Ingenieursbureau Havenwerken.
Code BO-90.01. IH 103.17R90.14

ANONYMOUS (1992-a)

Onderzoek toekomstige plaats en methode van zeeberging specie regio
Rijnmond. Eindrapport.
V&W, RWS, Directie Noordzee, projectgroep TZSR, Nota NZ-N-92.09;
document SGNZ 92.49 / TZSR 92.126

ANONYMOUS (1992-b)

Onderzoek toekomstige plaats en methode van zeeberging specie regio
Rijnmond. Bijlagen.
V&W, RWS, Directie Noordzee, projectgroep TZSR, bijlagen, document SGNZ
92.49 / TZSR 92.126

ANONYMOUS (1992-c)

Startnotitie voor een Milieu Effect Rapportage over een nieuwe Loswal in de
Noordzee voor baggerspecie afkomstig uit de regio Rijnmond
V&W, RWS, Directie Zuid-Holland en Gemeente Rotterdam, december 1992

ANONYMOUS (1993-b)

MER Loswal Noord. Verspreiding van toxische stoffen in de Noordzee en
Waddenzee.
Waterloopkundig Laboratorium T139/T1211, november 1993

ANONYMOUS (1993-c)

MER Loswal Noord. Macrofauna inventarisatie.
AquaSense, rapport 93.0439

ANONYMOUS (1995-a)

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

ANONYMOUS (1995-b)

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

ANONYMOUS (1995-c)

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

DREUMEL, P.F. VAN (1995)

Slib- en zandbeweging in het noordelijk Deltabekken in de periode 1982-1992.
V&W, RWS, Directie Zuid-Holland, afdeling Watersysteemkennis.

HAEREN, J.J.F.M. VAN, GRAVENDAAL, J.W., SAMKALDEN, D., TILBURG, R. VAN (1994)

Milieu-effectrapportage. Besluiten voor een leefbaar Nederland. Handleiding. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu; Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij; DHV, Milieu en infrastructuur; Twijnstra Gudde. ISBN 90-5458-155-7; SISO 614.62; UDC 504.064.2; NUGI 693

HEUVEL, T. VAN (1988)

Sedimentbalans Loswal Noord

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

DGW-rapport GWAO 88.034 715

KOK, J.M. DE (1991)

Slibtransport rond Loswal Noord. Alternatieve stortlocaties.

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

DGW-rapport GWAO 91.002.

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

Baggerspecie, van Waterweg tot Waddenzee. Fysisch en milieukundig onderzoek naar alternatieven voor Loswal Noord.

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

DGW-rapport GWAO 92.030.

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

A 3D finite difference model for the computation of near- and far-field transport of suspended sediment near a river mouth.

Continental Shelf Research, **12** (5/6) 625-642.

KOK, J.M. DE (1993)

Forward Semi-Lagrangian Methods – The second Moment Method.

Chapter 10 in: *Numerical Methods for Advection-Diffusion Problems, Notes on Numerical Fluid Mechanics*, Eds. C.B. Vreugdenhill and B. Koren. Vieweg, Braunschweig.

KOK, J.M. DE (2002)

Getijafhankelijk storten. Resultaten van numeriek modelonderzoek.

Ministerie van Verkeer en waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, RIKZ. Rapport RIKZ/2002.027

MCLAREN, P. (1989)

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

Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren.

SMEDES, F. (1997)

Zand, slib en zeven: standaardisering van contaminantgehalten in mariene sedimenten.

V&W, RWS, rapport RIKZ-96.043; ISSN 0927-3980

SPANHOFF, R., KOK, J.M. DE (1990)

Verplaatsen stortlocatie Loswal Noord

Ministerie van Verkeer en waterstaat, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren
(Rijksinstituut voor Kust en Zee), notitie GWAO - 90.10168

**STRONKHORST, J., LOURENS, J.M., TIJINK, J., EVERS, E.H.G., SCHOBEN,
J.H.M. (1994)**

Ecotoxicologische consequenties van Loswal Noord en alternatieven.

V&W, RWS, RIKZ, rapport RIKZ/94.029

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

Massive Sedimentation Events at the Mouth of the Rotterdam Waterway.

Journal of Coastal Research, 16 (2) p 458-469.

20 Bijlagen

Bijlage 1	Alle vragen uit het MER
Bijlage 2	Niet gebruikt onderzoek: Troebelheidsmetingen
Bijlage 3	Niet gebruikt onderzoek Vaste slibmeetopstelling:
Bijlage 4	Uitvoering loding
Bijlage 5	Uitvoering korrelgrootteanalyse
Bijlage 6	Uitvoering dichtheidsmetingen
Bijlage 7	Uitvoering radiometrische kartering
Bijlage 8	Gebruikte rekenmodellen voor slibstromen
Bijlage 9	Korrelgrootteverdeling in vak E, F en G
Bijlage 10	Gegevensverzameling baggerinspanning
Bijlage 11	Gestorte hoeveelheid baggerspecie
Bijlage 12	Formules voor de berekening van het wegstroompercentage en retourpercentage
Bijlage 13	Overall foutenschatting
Bijlage 14	Uitvoering metingen verontreinigende stoffen in het sediment
Bijlage 15	Uitvoering metingen ecotoxicologie
Bijlage 16	Uitvoering metingen Macrobenthos
Bijlage 17	Uitvoering metingen Megafauna
Bijlage 18	Projectorganisatie
Bijlage 19	Lijst medewerkers
Bijlage 20	Afkortingen- en begrippenlijst
Bijlage 21	Lijst tabellen
Bijlage 22	Lijst figuren
Bijlage 23	Nabestellen
Bijlage 24	Internetsite

Tabel 20-1 Algemene vraagstukken uit het MER

No.	Omschrijving	Komt er antwoord op de vraag?	Antwoord in onderzoek van:
A.1	Verdere kwantificering van de verschillende sedimentstromen vanaf de loswal. Verdere definiëring van de onderliggende processen bij de sedimentstromen [continuering onderzoek met semi-permanente stations].	Nee	
A.2	Effect van wijzigingen in doorzicht op andere organismen dan algen. [intensivering ecologische modellering.	Nee	
A.3	Verdeling contaminanten over sediment (slib, organisch stof, zand) en water; daaruit volgend: (A.4)	Nee	
A.4	kwantificering contaminanten transport in de Rijnmond en tussen de verschillende watersystemen. [verdere uitwerking contaminantenbalansen, aangevuld met metingen en fundamenteel onderzoek]	Nee	
A.5	Effect contaminanten (soort, hoeveelheid) op organismen in relatie tot andere verstoringen (bijvoorbeeld visserij); meer in detail: <input type="checkbox"/> • beschikbaarheid contaminanten voor opname; <input type="checkbox"/> • optreden van bio-accumulatie of biotransformatie; effect verontreinigingen (soort, hoeveelheid) op populatieniveau; effect verontreinigingen (soort, hoeveelheid) op ecosysteemniveau. [voortzetting risico-analyse (RAM-onderzoek), aangevuld met metingen en fundamenteel onderzoek, waarbij rekening wordt gehouden met de mate van detail waarbij effecten van andere verstoringen bekend zijn]	Nee	

Tabel 20-2 Specifieke 'Loswal Noord' vraagstukken uit het MER

No.	Omschrijving	Komt er antwoord op de vraag?	Antwoord in onderzoek van:
B.1	Precisering aandeel van het zwevend stof in de kustzone en Waddenzee dat in de Rijnmond sedimenteert en vervolgens wordt gebaggerd en verspreid op Loswal Noord. [nadere uitwerking slibbalans Dover-Waddenzee-Duitse Bocht, aangevuld met metingen en uitwerking in 3D-kuststrookmodel]	Nee	
B.2	Precisering samenstelling, voorkomen en aandeel slibdeken (fluid- mudlayer) in de retourstroom. [continuering fluid mud onderzoek met semi-permanente stations; proceskennis slibdeken in numeriek model onderbrengen]	Nee	
B.3	Trends in aanslibbings- en aanzandingspatronen vanaf 1985. [statistische uitwerking baggervak gegevens.	Ja	Administratie baggeren H7
B.4	Herstel mogelijkheden van bodemfauna na staken van het verspreiden van baggerspecie op Loswal Noord. [monitoring bodemfauna (biomassa, diversiteit en dichtheid) en sediment (m.n. korrelgrootteverdeling) voor en tijdens ingebruikname van loswal]	Ja	Bodem-ecosysteem H13 en H14
B.5	Identificatie van stoffen die de sedimenttoxiciteit op Loswal Noord veroorzaken door middel van gerichte biologische toetsen.	Ja	Ecotoxicologie

Tabel 20-3 Vraagstukken gerelateerd aan loswal alternatieven uit het MER

No.	Omschrijving	Komt er antwoord op de vraag?	Antwoord komt uit onderzoek naar:
C.1	In hoeverre treedt er inderdaad geen retourstroom van sediment meer op?	Ja	7.5 + 7.6
C.2	In hoeverre treedt een wijziging op in de kwaliteit en korrelgrootteverdeling van de baggerspecie in de Rijnmond?	Ja	7.3 E/F/G
C.3	Metingen met semipermanente stations (metingen van zowel slibdeken (fluid mud layer) als suspensief transport);	Ja	SILTMAN onderzoek
C.4	Intensievere chemische en fysische monitoring baggervakken	Nee	
C.5	Frequente administratie baggerhoeveelheden	Ja	Baggeradministratie
C.6	In hoeverre treedt een wijziging in de slibflux langs de Hollandse kust op?	Nee	
C.7	Regelmatige monitoring zwevend stof gehalte langs de Hollandse kust; implementatie in 3D-kuststrookmodell	Nee	
C.8	In hoeverre treedt verstoring van het lokale ecosysteem, met name bodemfauna, op?	Ja	H13 + H14
C.9	Monitoring bodemfauna (biomassa, diversiteit en dichtheid) en sediment (m.n. korrelgrootteverdeling) voor en tijdens ingebruikneming van de loswal	Ja	H13 + H14 H6 + H7

Tabel 20-4 Praktijkproef met de verplaatste Loswal Noordwest

No.	Omschrijving	Komt er antwoord op de vraag?	Antwoord komt uit onderzoek naar:
E.1	Treedt er nog retourtransport van suspensief slib op? zo ja, onder welke condities en om hoeveel slib gaat het gemiddeld in een jaar?	Ja	7.5 + 7.6
E.2	Treedt er nog retourtransport op van slib en zand onder invloed van de slibdeken? zo ja, onder welke condities en om hoeveel slib en zand gaat het gemiddeld in een jaar?	Ja	Rapport Verdiepte Loswal

Tabel 20-5 Toetsingsadvies over het milieu-effectrapport over een nieuwe Loswal voor het storten van baggerspecie in zee

No.	Blz.	Inhoud / Vraag	Komt er antwoord op de vraag?	Antwoord komt uit onderzoek naar:
1	3	De verspreiding van TBT en de effecten daarvan verder te onderzoeken en te monitoren. De afbraakprodukten dibutyltin en monobutyltin, alsmede fenylnitroverbindingen zouden tegelijkertijd kunnen worden gemonitord.	Nee	
2	3	Een gehaltetoets voor TBT te ontwikkelen	Ja	Ontwikkeld in ander project
3	3	Tributyltin Inventariseren of TBT in bepaalde baggervakken relatief in hoge concentraties voorkomt, al of niet in combinatie met andere gidsstoffen, om die bij voorkeur te storten in een verdiepte loswal. Onderzoek naar de verspreiding van TBT na storten.	Nee	
4	3	Invloed bioturbatie op mobilisatie en verspreiding van contaminanten. Bij de berekening voor het vrijkomen van contaminanten uit de gestorte specie wordt geen rekening gehouden met de invloed van het omwoelen en opnemen van bodemdeeltjes door bodemorganismen (bioturbatie). In verdiepte loswallen kan bioturbatie toch een factor van betekenis blijken te zijn voor de verspreiding van contaminanten. Monitoring van gehalten aan contaminanten in de bodem van de (verdiepte) loswallen in combinatie bestandsopnamen van bioturbatie-veroorzakende bodemorganismen kan hierin inzicht verschaffen.	Onbelangrijk	

De troebelheid rondom de loswallen is gemeten. Het is echter niet mogelijk gebleken om conclusies te trekken uit deze metingen. Het gevolg is dat ook over de retourstroom geen uitspraak kan worden gedaan. Deze troebelheidsmetingen zijn gestaakt in 1999. Omdat het toch van belang is om het volledige loswal-onderzoek weer te geven, inclusief de 'doodlopende paden', wordt in deze bijlage een summier verslag van het troebelheidsonderzoek gegeven.

Troebelheidsmetingen zijn uitgevoerd om verandering in de retourstroom te kunnen vaststellen, aangezien troebelheid te koppelen is aan het gehalte zwevend stof in de waterfase.

Rond de oude Loswal Noord en de nieuwe Loswal Noordwest zijn twee keer per jaar troebelheidsmetingen uitgevoerd vanaf het tweede kwartaal 1996 tot en met het tweede kwartaal van 1999. Hiertoe zijn op drie raaien loodrecht op de kust metingen uitgevoerd, nl. de raaien Loswal 1, Loswal 2 en Loswal 3, met een totale lengte van 80 km, zie Figuur 20-1.

De metingen op de raai Loswal 1 en 3 worden tijdens de ebstroom uitgevoerd, die op Loswal 2 bij vloedstroom.

De resultaten van het troebelheidsonderzoek staan in het rapport "Verplaatsing stortgebied Loswal Noord" van directie Noordzee. Opmnamedata zijn:

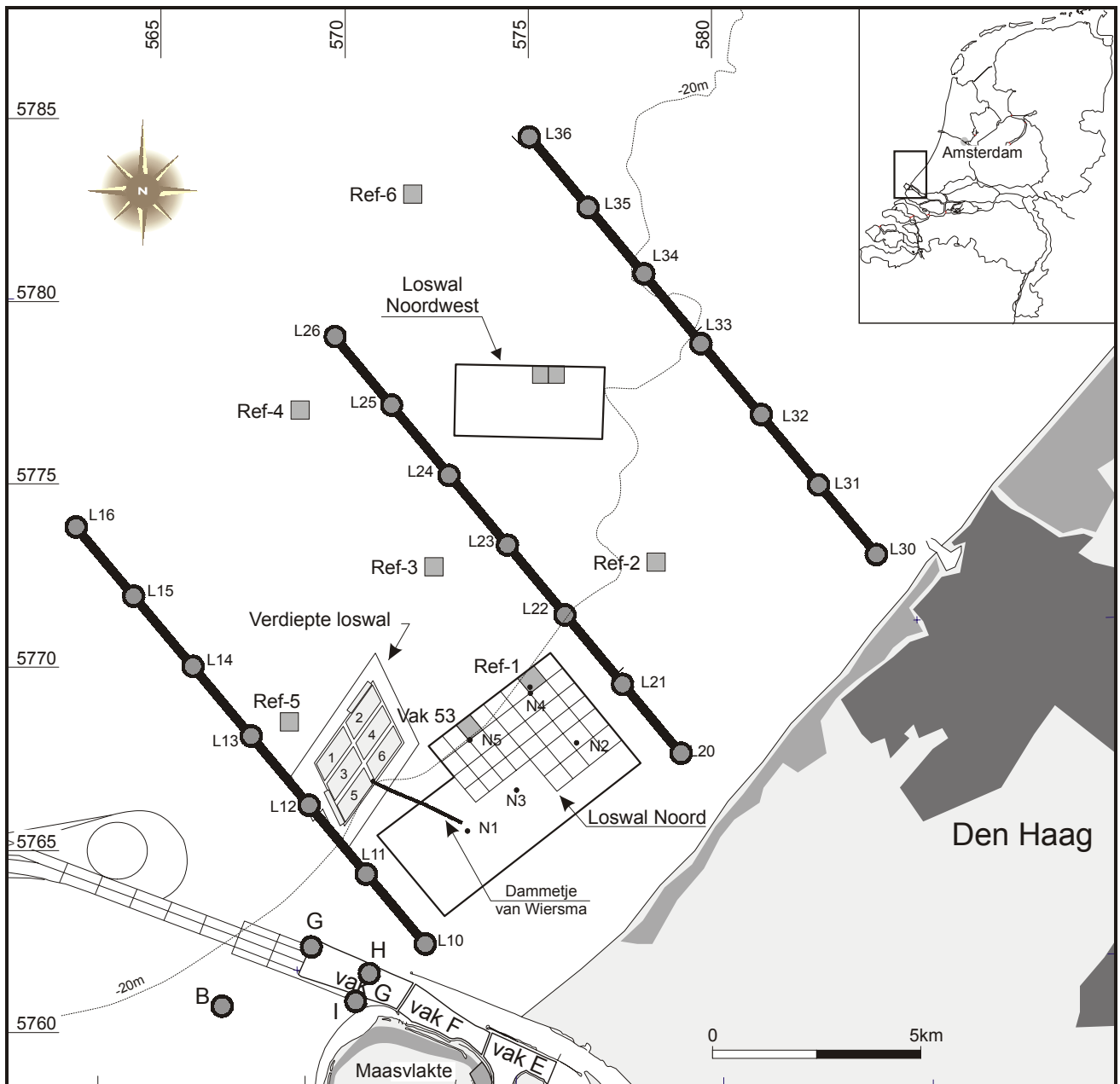
- 1996, de weken 23 en 40
- 1997, de weken 23 en 44
- 1998, de week 09.

Rond beide loswallen is de troebelheid in de waterfase gemeten op drie raaien langs de loswallen. De meetresultaten van het onderzoek naar troebelheid in de waterfase rond de loswallen staan in Tabel 20-6. Deze tabellen geven per raai en per meetpunt de troebelheid voor 25 cm en 10 cm diepte, uitgedrukt in procenten. Hoe hoger de waarde voor het doorzicht is, des te schoner is het water.

De beschikbare resultaten zijn niet geschikt gebleken om uitspraken te doen over de retourstroom. Er is op verschillende tijdstippen, op verschillende momenten in het getij en op verschillende locaties gemeten. Een toename van de troebelheid stroomafwaarts ten opzichte van stroomopwaarts ten opzichte van Loswal Noordwest kan een aanwijzing zijn voor het optreden van de retourstroom. Het is echter niet mogelijk gebleken om zomaar het verschil te bepalen tussen twee 'gepaarde' locaties, dus een verschilbepaling tussen twee punten in de richting van de stroom, gezien de continue variaties in het zwevend stofgehalte. Elke hoeveelheid water heeft op elk moment zijn eigen 'geschiedenis' die het momentane zwevend stofgehalte bepaalt.

De verkregen resultaten zijn wel gebruikt voor het afstellen van modellen die ontwikkeld zijn in het kader van het project SILTMAN.

Figuur 20-1 Monitoringslocaties in het onderzoeksgebied



sd02037.cdr

L₁₀ - L₃₀
 Vak 53, N1-N5
 -1A - 8E
 Vak 29, Vak 30
 Ref-1-Ref-6
 B-G-H-I

Troebelheidsonderzoek
 Stortvakken, monsterpunten op Loswal Noord
 Onderzoekslocaties (grid) op Loswal Noordwest
 1^e en 2^e gebruikte stortvak op Loswal Noordwest
 Referentielocaties
 Locaties vaste slibmeetopstelling bij vaargeul
 sd02037

Het is niet mogelijk gebleken om uit de metingen van de troebelheid in de waterfase rond de loswallen een conclusie te trekken aangaande toe- of afname van de troebelheid in een bepaalde stroomrichting ten opzichte van de loswal. de retourstroom. Er valt dus ook geen uitspraak te doen over de retourstroom.

Tabel 20-6 Meetresultaten troebelheidsonderzoek

		Deel a									
		23_96	23_96	40_96	40_96	23_97	23_97	44_97	44_97	09_98	09_98
		trb25	trb10	trb25	trb10	trb25	trb10	trb25	trb10	trb25	trb10
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
L10	opp-3	58,71	69,79	54,61	70,90	60,00	73,20	19,69	49,86	52,06	70,02
L10	hdpt	59,43	70,19	41,32	63,69	61,77	74,65	23,84	52,74	48,70	67,20
L10	bdm+3	60,70	70,87	34,91	58,63	50,82	70,79	25,21	54,61	46,21	66,37
L11	opp-3	58,54	69,79	66,16	76,06	60,93	74,08	30,57	58,61	60,68	74,44
L11	hdpt	60,70	70,80	65,13	75,89	66,93	77,44	21,01	50,94	48,17	67,13
L11	bdm+3	59,84	70,42	63,23	74,90	63,87	76,62	12,39	42,38	44,14	65,68
L12	opp-3	64,87	72,72	66,05	75,55	68,46	77,88	44,03	67,02	63,11	75,71
L12	hdpt	68,27	74,30	67,95	77,35	66,61	77,60	43,58	66,89	65,15	75,38
L12	bdm+3	67,52	73,98	65,47	76,41	61,79	75,50	44,08	67,42	59,69	73,88
L13	opp-3	69,90	75,09	69,64	77,68	68,00	77,50	52,89	72,25	74,10	80,59
L13	hdpt	71,69	75,86	70,61	78,52	69,64	78,99	56,77	74,74	73,05	78,88
L13	bdm+3	71,77	75,80	69,43	77,97	64,91	76,31	56,06	74,56	69,53	78,54
L14	opp-3	63,13	75,64	69,60	77,19	65,31	76,26	58,70	75,06	76,27	81,65
L14	hdpt	70,23	76,08	71,56	78,92	71,11	79,68	65,45	78,70	75,54	79,92
L14	bdm+3	72,01	75,92	70,61	78,53	65,91	77,16	64,91	78,37	73,56	80,20
L15	opp-3	72,09	76,02	67,89	76,68	65,67	76,67	62,99	77,20	78,53	82,47
L15	hdpt	71,62	75,90	69,25	77,94	71,52	79,81	66,33	79,29	77,88	81,40
L15	bdm+3	71,28	75,56	68,31	77,33	71,18	79,62	67,23	79,62	76,79	81,65
L16	opp-3	72,45	76,05	66,39	75,98	65,86	76,71	65,85	78,27	77,24	81,98
L16	hdpt	72,53	76,24	60,11	72,61	71,14	79,71	65,95	78,70	76,91	80,49
L16	bdm+3	71,08	75,68	58,65	71,46	71,00	79,65	67,69	79,40	76,12	81,30

		Deel b									
		23_96	23_96	40_96	40_96	23_97	23_97	44_97	44_97	09_98	09_98
		trb25	trb10	trb25	trb10	trb25	trb10	trb25	trb10	trb25	trb10
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
L20	opp-3	49,71	65,37	46,21	64,78	44,97	65,95	21,59	50,57	44,40	65,26
L20	hdpt	58,72	69,54	48,93	66,85	54,70	70,02	14,16	45,19	39,67	62,28
L20	bdm+3	46,07	63,86	45,54	65,14	54,33	71,46	12,35	44,89	34,85	59,46
L21	opp-3	43,72	62,50	46,52	63,53	67,15	78,32	28,96	57,25	55,71	72,12
L21	hdpt	60,28	70,85	57,35	71,69	56,44	75,19	25,81	55,03	54,71	70,03
L21	bdm+3	52,74	66,99	54,96	70,16	47,12	66,88	23,09	53,41	46,88	66,99
L22	opp-3	34,85	57,52	52,64	66,10	64,56	77,16	36,90	62,87	60,84	74,45
L22	hdpt	61,98	71,72	62,02	74,08	44,97	66,04	30,59	58,52	54,62	70,74
L22	bdm+3	54,22	69,14	62,05	74,09	28,37	57,29	19,08	49,17	47,36	67,52
L23	opp-3	35,92	59,16	57,47	71,36	67,81	78,50	37,25	63,02	58,07	73,17
L23	hdpt	67,97	74,41	68,30	77,35	38,50	61,26	47,39	69,41	61,23	73,97
L23	bdm+3	67,51	73,82	67,40	77,01	14,63	33,54	31,13	61,26	35,58	60,67
L24	opp-3	69,22	74,93	64,91	75,01	60,78	75,28	49,64	70,46	57,11	72,84
L24	hdpt	69,43	75,07	62,43	73,95	31,92	57,76	47,40	69,69	65,83	76,06
L24	bdm+3	67,87	74,34	61,61	73,81	15,75	37,70	28,27	63,49	36,78	62,10
L25	opp-3	70,87	75,75	65,35	75,31	70,75	80,52	49,60	70,15	61,35	74,45
L25	hdpt	70,07	75,46	66,16	76,73	68,78	79,08	57,71	75,24	65,37	76,19
L25	bdm+3	67,53	74,51	64,55	75,85	67,81	78,47	61,12	77,48	57,42	73,21
L26	opp-3	71,95	76,20	68,72	76,69	70,56	80,06	51,44	71,28	76,14	81,54
L26	hdpt	71,36	76,01	69,12	77,93	71,46	80,08	57,60	75,01	75,10	80,21
L26	bdm+3	71,12	75,78	69,34	78,22	70,57	79,91	66,23	79,03	72,57	79,82

		Deel c									
		23_96	23_96	40_96	40_96	23_97	23_97	44_97	44_97	09_98	09_98
		trb25	trb10	trb25	trb10	trb25	trb10	trb25	trb10	trb25	trb10
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
L30	opp-3	55,52	67,84	42,50	63,54	49,64	67,35	0,94	14,06	31,72	57,47
L30	hdpt	55,33	68,20	43,44	64,76	48,02	66,81	0,51	11,58	31,18	56,25
L30	bdm+3	54,30	67,65	5,27	26,08	44,76	65,15	-0,02	1,27	15,15	42,06
L31	opp-3	62,06	71,29	56,08	71,54	59,11	73,60	20,85	49,88	64,39	76,12
L31	hdpt	60,36	70,71	53,18	70,85	62,28	75,41	19,17	48,39	60,71	73,25
L31	bdm+3	55,80	67,22	44,03	65,90	54,46	71,21	18,17	47,23	38,62	62,02
L32	opp-3	65,13	71,58	54,81	71,06	65,48	76,13	43,04	66,22	65,28	76,42
L32	hdpt	61,76	71,37	45,14	66,13	65,73	76,74	20,06	50,76	54,48	70,36
L32	bdm+3	56,74	69,36	47,15	66,82	61,51	74,44	16,16	48,23	51,40	69,70
L33	opp-3	65,91	73,41	56,18	70,54	57,25	72,04	46,65	68,48	67,49	77,53
L33	hdpt	65,52	73,01	32,63	57,88	56,73	71,70	29,21	58,31	53,38	69,22
L33	bdm+3	61,16	71,56	24,26	49,00	55,80	72,04	18,06	48,72	32,46	58,94
L34	opp-3	67,88	73,98	56,46	71,11	47,60	64,99	49,81	70,17	67,33	77,19
L34	hdpt	67,05	73,77	45,38	65,99	40,41	58,75	42,28	66,11	62,43	74,42
L34	bdm+3	60,29	70,92	33,30	58,46	27,92	48,63	11,87	44,23	36,72	62,00
L35	opp-3	69,95	74,97	54,33	69,22	71,36	79,98	51,57	71,21	69,75	78,35
L35	hdpt	68,91	74,58	51,21	68,59	71,06	79,82	43,19	66,86	72,84	78,72
L35	bdm+3	67,08	74,08	39,96	62,23	71,34	79,93	28,51	58,51	65,15	76,84
L36	opp-3	71,53	75,40	65,47	76,02	72,20	80,39	54,93	72,69	71,97	79,28
L36	hdpt	72,44	76,07	63,73	74,66	72,26	80,24	54,82	72,97	71,67	78,54
L36	bdm+3	71,72	76,21	61,73	73,82	72,10	80,29	50,80	71,27	72,91	79,87

De troebelheid bij de vaargeul (de Maasgeul) is gemeten. Het is echter niet mogelijk gebleken om conclusies te trekken uit deze metingen. Het gevolg is dat ook over de retourstroom geen uitspraak kan worden gedaan. Deze troebelheidsmetingen zijn gestaakt in 1999. Omdat het toch van belang is om het volledige loswal-onderzoek weer te geven, inclusief de 'doodlopende paden', wordt in deze bijlage een summier verslag van het troebelheidsonderzoek gegeven.

Door aan weerszijden van de vaargeul naar de haven, de Euro-Maasgeul, stroomsnelheidsmetingen en troebelheidsmetingen uit te voeren kan de retourstroom bepaald worden. Voor deze berekening zijn numerieke stoftransportmodellen nodig die gevoed worden met de onderliggende processen van het slibtransport. De resultaten van de metingen voor de ingebruikneming van de nieuwe loswal geven de retourstroom van de oude Loswal Noord, metingen na die datum geven die van de nieuwe Loswal Noordwest. De resultaten van dit onderzoek staan hieronder.

De gekozen meetlocaties voor de vaste slibmeetopstelling, B, G, H en I, staan in Figuur 20-1. Ten noorden en ten zuiden van de vaargeul is apparatuur geplaatst om de troebelheid vlak boven de bodem te meten. Gedurende de eerste meetperiode zijn maar drie van de vier Mex's geplaatst. De vierde werd pas halverwege de meetperiode geplaatst. Wel zijn alle 'Acoustic Doppler Current Profile' (ADCP's) geplaatst in deze periode. Met een ADCP wordt de stroomsnelheid gemeten.

Het idee was dat uit het verschil tussen de troebelheid ten noorden en ten zuiden een uitspraak over de zevend stoffluxen en daarmee over de retourstroom gedaan zou kunnen worden. De verkregen data waren echter niet op deze wijze te interpreteren.

Aangezien het slechts met zeer grote inspanning en tegen hoge kosten mogelijk is om uit metingen in de waterfase een uitspraak te doen over de retourstroom, zijn deze metingen na 1998 niet voortgezet.

Directie Noordzee voert c.q. voerde regelmatig lodingen uit op Loswal Noord en Loswal Noordwest. Deze lodingen dienen o.a. om de verondiepingen te controleren, want voor beide gebieden geldt een minimale stortdiepte van 11,5 meter. Dit houdt in dat in deze gebieden gestort mag worden tot een diepte van 11,5 meter onder het middenstandsvlak (de zeespiegel). In deze studie zijn de lodingen gebruikt om het stortvolume te berekenen.

De opnamen zijn door de meetvaartuigen 'Arca' en 'Octans' van Directie Noordzee door middel van een single beam echolood met een frequentie van 210 kHz. Deze frequentie geeft een terugkaatsing bij een natte dichtheid van ongeveer $1,04 \text{ ton.m}^{-3}$. De oorspronkelijk lodingen zijn omgewerkt tot gemiddelde diepten voor een gridcel van 500 m x 500 m. De diepten worden in decimeters gepresenteerd en zijn ten opzichte van het middenstandsvlak (MV). Voor een verklaring van het middenstandsvlak, zie 'Getijtafels voor Nederland'. Voor de vergridding is de DIGIPOL-methode toegepast en de kubering is door middel van IRAP gedaan in grids van 5 m x 5 m. De kuberingsgegevens staan ook vermeld in het rapport SLURP*MER en het NHI-jaarplan.

Op de volgende data zijn de lodingen van Loswal Noord en Noordwest uitgevoerd.

Tabel 20-7 Opnamedata lodingen

	Datum	Code		
Loswal Noord	15 - 19 april 1996	LN 96-01		
	22 juli - 2 augustus 1996	LN 96-02		
	11 - 15 november 1996	LN 96-03		
	8 - 10 april 1997	LN 97-01		
	4 - 13 juni 1997	LN 97-02		
	26 nov. - 30 dec. 1997	LN 97-03		
	19 februari - 10 april 1998	LN 98-01		
	2 - 8 december 1998	LN 98-02		
	28 mei -30 juni 1999	LN 99-01		
Loswal Noordwest				Dagen na start stort op 1 juli 1996
1	6 - 13 mei 1996	LNW 96-01	t_0	0
2	15 - 20 november 1996	LNW 96-02	t_1	139
3	11 - 17 april 1997	LNW 97-01	t_2	278
4	24 - 26 juni 1997	LNW 97-02	t_3	349
5	29 - 31 oktober 1997	LNW 97-03	t_4	496
6	22 - 23 juli 1998	LNW 98-01	t_5	752
7	8 - 10 december 1998	LNW 98-02	t_6	892
8	8 - 28 juli 1999	LNW 99-01	t_7	1110
9	26 - 27 april 2000	LNW 00-01	t_8	1396
10	4 - 10 januari 2001	LNW 01-01	t_9	1649
11	30 juli - 2 augustus 2001	LNW 01-02	t_{10}	1857
12	6 - 20 juni 2002	LNW 02-01	t_{11}	2172

Voor dit onderzoek zijn korrelgrootteanalyses van zeebodemmonsters uitgevoerd. Hiermee is de opbouw van de zeebodem bepaald en is het mogelijk om de ruimtelijke verspreiding van baggerspecie te volgen. Belangrijke parameters hierbij zijn het slibgehalte en de mediane korrelgrootte.

Korrelgrootteanalyses zijn door drie instituten uitgevoerd. In Tabel 20-8 staan de instituten en enkele meetmethoden en fracties genoemd

Tabel 20-8 Korrelgrootteanalyse

Instituut	Bepaling	Fractie	Bemonsterings-techniek
AquaSense	7 zeven: 2,8 mm 1,4 - 2,8 mm 0,6 - 1,4 mm 0,3 - 0,6 mm 0,15 - 0,3 mm 0,09 - 0,15 mm 0,05 - 0,09 mm < 0,053 mm		Van Veen happer
TNO-NITG	D(0,10) D(0,50) D(0,60) D(0,90) Percentage tussen 0,1 en 63 μm Percentage tussen 63 en 2000 μm Fijnmazige verdeling tussen 0,01 en 2000 μm (31 fracties)		Steekbuizen meten per 50 cm
RIKZ	minerale delen < 16 μm minerale delen 16-2000 μm D10 μm D20 μm D30 μm D40 μm D50 μm D60 μm D70 μm D80 μm D90 μm min. fr. >16 μm 16-53 μm min. fr. >16 μm 16-63 μm skewness curtosis	vocht humus kalk slib zand	Van Veenhapper Boxcore

Op basis van de dominante fracties gebruikt AquaSense de volgende typologie voor de bodemmonsters:

Tabel 20-9 Typologie bodemmonsters

Type	dominante fractie µm	Naamgeving
I	> 2800	grove monsters
II	1400 - 2800	
III	600 - 1400	
IV	300 - 600	grof zand
V	150 - 300	fijn zand
VI	90 - 150	zeer fijn zand
VII	50 - 90	zeer fijn zand
VIII	< 50	slib
d 0,053	d 53	slib d 0,053

Als de bodemsamenstelling door een recente verstoring een tweetoppige korrelgrootteverdeling heeft, wordt dit sediment aangeduid als een verstoord of (dis) type.

Tabel 20-10 Sedimentkarakteristieken Loswal Noord en Loswal Noordwest

Loswal	Locatie	t ₀ 1995-1996		t ₁ 1997		t ₂ 1998		t ₃ 1999	
		sed. type	slib %	sed. type	slib %	sed. type	slib %	sed. type	slib %
Loswal Noord	N1	V	1,4	V	1,0	V	0,2	V	0,4
	N4	V	0,5	V	2,6	V	0,4	V	0,7
	N5	V,VI,VIII	27,7	VI	16,8	VIII	25,8	V,VIII	23,8
Loswal Noord-west	Ref-4	IV	0,0	IV	0,1	IV	0,0	IV	0,0
	NW4	IV	0,1	IV	0,2	IV	0,8	IV	1,4
	0C	IV	0,2	VIII	36,8	V(dis)	26,4	V(dis)	18,2
	1C	IV	0,2	IV(dis)	45,5	VI	24,8	VI	23,5
	2C	IV	0,1	IV(dis)	2,7	IV(dis)	4,0	IV(dis)	6,7
	3C	IV	0,1	IV(dis)	2,4	IV	1,4	IV(dis)	6,4
	5C	IV	0,2	IV(dis)	3,6	IV	1,5	IV	2,0

Voor betekenis type I t/m VII, zie Tabel 20-9.

De volumetoename op Loswal Noordwest wordt met behulp van gemeten dichtheden omgerekend in massatoename ten gevolge van het storten van baggerspecie. De dichtheid wordt op twee manieren bepaald, nl. via een γ -probe en via weging van een zeebodemmonster, verkregen uit steekboringen.

γ -probe

De dichtheid met de γ -probe wordt door Directie Zuid-Holland uitgevoerd. De γ -probe wordt in de bodem geperst tot een diepte van maximaal 4 m of totdat de weerstand te groot wordt. De grootste natte dichtheid die op deze manier gemeten kan worden is $1,6 \text{ TDS.m}^{-3}$, omdat het doordringend vermogen van de γ -straling eindig is. Bij aanvang van deze studie werd verondersteld dat de natte dichtheid binnen het meetbereik zou vallen. De dichtheid bleek echter hoger, zoals volgde uit herhaalde metingen via de 'weegmethode' van de steekboringen.

Deze meting is in juli 1999 op Loswal Noordwest op vak 28, 29 en 30 uitgevoerd.

Steekboringen

Bij de steekboringen worden kernen gestoken van 5,5 m lang. De steekboringen worden in stukken gezaagd van 50 cm lengte. In elk van stukken van 50 cm wordt het gewicht bepaald van het vaste volume van een submonster dat met een ring wordt uitgenomen. Het gewicht wordt voor en na droging, bij 105°C , bepaald. Deze meetmethode kent geen bovengrens in het meetbereik van de dichtheid.

De metingen zijn juli 1999 op Loswal Noordwest op vak 28, 29 en 30, in december 2000 op vak 27 en in november 2001 op vak 30 uitgevoerd.

De meting op Loswal Noord is in december 200 en in november 2001 op vak 124 uitgevoerd.

In het begin van de studie is, zoals te doen gebruikelijk, alleen de **natte dichtheid** gemeten. Om de massa in de stortlaag te bepalen is echter de **droge dichtheid** nodig. Hieronder staat de formule en de afleiding er van om de natte in de droge dichtheid om te rekenen.

Omrekenen natte dichtheid in droge dichtheid

Uit de gemeten natte dichtheid van baggerspecie kan de droge dichtheid worden berekend. Baggerspecie bestaat uit een mengsel van zand, slib_{<63 μm} en zeewater. Het soortelijk gewicht van zeewater is 1020 kilo per kuub en dat van vaste massa (minerale fractie) 2600 kilo per kuub. Het volume van het water plus die van de vaste massa, zand en slib_{<63 μm} samen, is samen één.

Voor één kubieke meter luidt de formule:

A

$$Volume_{water} * 1,02 + (Volume_{vast} * 2,6) = \text{Gemeten totale gewicht (TDS.m}^{-3}\text{)}$$

B *Natte dichtheid = totale gewicht*

$$\mathbf{C} \quad Volume_{water} + Volume_{vast} = 1$$

Uit **A**, **B** en **C** volgt dat:

$$\mathbf{D} \quad Volume_{vast} = \frac{Gemeten\ natte\ dichtheid - 1,020}{2,6 - 1,02}$$

De droge dichtheid van de baggerspecie bedraagt derhalve:

$$\mathbf{E} \quad Droge\ dichtheid = Gewicht_{vast}\ in\ een\ kuub = Volume_{vast} * 2,6$$

Uit **D** en **E** volgt de formule van de droge dichtheid:

F

$$Droge\ dichtheid\ (TDS.m^{-3}) = \left(\frac{Gemeten\ natte\ dichtheid - 1,02}{2,6 - 1,02} \right) * 2,6$$

In het begin van deze studie, die uitgevoerd is door het project *MAL*, is de gemeten natte dichtheid omgerekend naar de droge dichtheid. In de loop van de studie echter is zowel de natte als de droge dichtheid gemeten. Hiermee werd het mogelijk om de formule in E te controleren, dat wil zeggen om na te gaan of de waarde van het soortelijk gewicht van steenachtig materiaal wel gelijk is aan 2,6 ton.m⁻³.

Omwerken van de formule E geeft:

G

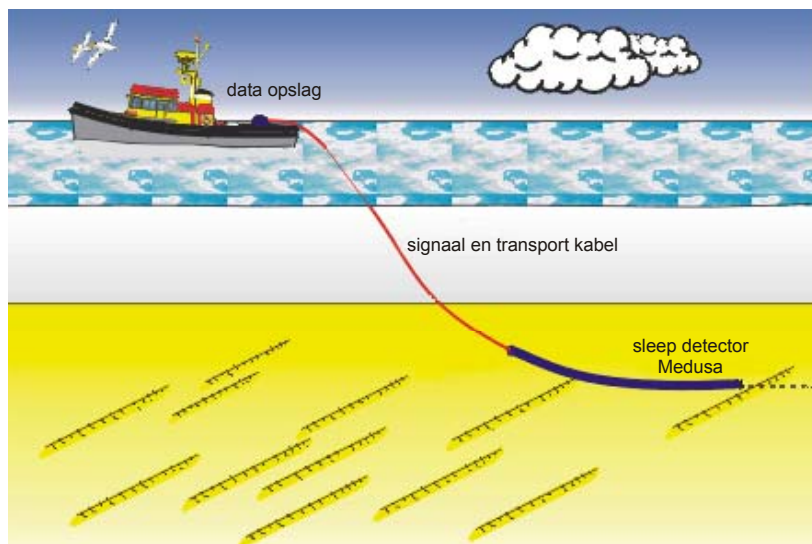
$$Soortelijk\ gewicht_{vast}\ (TDS.m^{-3}) = \left(\frac{1,02 * Natte\ dichtheid}{1,02 + Droge\ dichtheid - Natte\ dichtheid} \right)$$

De methode van de radiometrische kartering wordt hier uitgebreid beschreven omdat het een nieuwe methode betreft.

Om de hoeveelheid silt_{<63 µm} en klei_{<16 µm} in de bodem te bepalen en daarmee de verspreiding van het slib_{<63 µm} te kwantificeren, is gebruik gemaakt van de natuurlijke radioactiviteit van het bodemsediment en van de gestorte baggerspecie. Elke sedimentsoort heeft zijn eigen radiometrische karakteristiek, de z.g. 'finger print'. Met behulp van deze 'finger print' is het mogelijk een onderscheid te maken tussen zand ($63 < d < 2000 \mu\text{m}$) en slib ($< 63 \mu\text{m}$). Slib is onderverdeeld in silt ($16 < d < 63 \mu\text{m}$) en klei ($< 16 \mu\text{m}$). Drie in het sediment aanwezige isotopen, waarvan de concentraties karakteristiek zijn voor de verschillende sedimentsoorten, hebben een natuurlijke radioactiviteit die meetbaar is met een passieve detector.

Het Kernfysisch Versneller Instituut (KVI) heeft de bodemsamenstelling rond Loswal Noordwest bepaald. Hiertoe is een sleepdetector, genaamd 'MEDUSA', achter een schip, de MITRA, van Directie Noordzee van Rijkswaterstaat gesleept met een snelheid van $2 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$. Een kabel van 300 m verbindt de MEDUSA aan de boot. De sleepdetector MEDUSA (Multi Element Detection System for Underwater Sediment Activity) bestaat uit een aantal sensoren in een aluminiumbuis met een diameter van 7 cm en een lengte van ongeveer 1 meter. Een PVC-buis met een diameter van 10 cm en een lengte van 30 m zorgt voor de geleiding van de meetsonde over obstakels. De toegepaste sensoren zijn een sonde voor gammastraling (BGO-kristal) en sensoren voor diepte, geluid en temperatuur. De diepte-, geluids- en temperatuursonde zijn voornamelijk gebruikt om de werking van de gammastralingssonde te controleren.

Figuur 20-2 De MEDUSA achter de MITRA



sd02056.cdr

De sleepdetector MEDUSA achter het schip 'MITRA' waarmee de radiometrische kartering rondom Loswal Noordwest is uitgevoerd in juni en november 1996 en november 1997.

sd02056

Het sleeppatroon was een ruitennet van 10 x 15 km² met onderlinge afstand tussen de raaien van 1 km. Dit ruitennet is zodanig gesitueerd dat de nieuwe Loswal Noordwest in zijn geheel en de oude Loswal Noord voor een deel in het net passen. Tijdens de metingen is ook de diepte van de zeebodem bepaald.

De achtergrond van de metingen is als volgt. Zand_{>63 μm}, silt_{<63 μm} en klei_{<16 μm} bevatten verschillende hoeveelheden radioactieve elementen, nl. isotopen van kalium (K), en van de uraniumreeks (bismut, Bi) en van de thoriumreeks (thorium, Th), die natuurlijke radioactieve tracers zijn, en cesium (Cs), dat door menselijk handelen in het slib_{<63 μm} aanwezig is, in. Deze elementen zenden γ-straling uit van verschillende energie. In Tabel 20-11 is de activiteit per sedimentsoort weergegeven. Figuur 20-3 toont het γ-spectrum van een typische energie in het spectrum van het natuurlijke sediment, met daarin de fotopiek van de isotopen. De kanaalnummers moeten ongeveer met 10 keV vermenigvuldigd worden om de energieën te verkrijgen.

Tabel 20-11 Natuurlijke radioactiviteit van de bodem van de Noordzee

Sedimentsoort	Grootte	⁴⁰ Kalium	²¹⁴ Bismut	²³² Thorium	¹³⁷ Cesium
		Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg
Zand	63 μm < < 2 mm	213 ± 13	5,2 ± 0,2	5,8 ± 0,2	0,12 ± 0,05
Slib / silt	16 μm < < 63 μm	340 ± 20	29,7 ± 0,9	28,5 ± 1,0	3,9 ± 0,3
Klei	< 16 μm	540 ± 30	31,2 ± 1,2	32,4 ± 1,1	19,5 ± 0,5

De radioactieve isotopen voor de drie sedimentsoorten zand, slib en klei van de bodem van de Noordzee met hun specifieke stralingsintensiteit. Monsters zijn rond Loswal Noordwest genomen.

De hoeveelheid specifieke straling van de onderscheiden sedimentsoorten is niet gelijk voor sediment van verschillende herkomst of met een verschillende geschiedenis en moet voor elke omgeving opnieuw bepaald worden. In het laboratorium zijn bodemonsters gescheiden in de verschillende groottefracties, nl. tussen de 2 mm en 63 μm (zand), tussen de 63 μm en 16 μm (slib / silt) en kleiner dan 16 μm (klei) (zie Tabel 20-11). In de tekst wordt bij de grondsoort steeds de grootte in μm gegeven omdat die verschilt van de meer gangbare definities voor sedimenttypen. Met behulp van deze gegevens en de gemeten radioactiviteit voor de drie natuurlijke isotopen kan de samenstelling van de bodem bepaald worden. De bepaling is betrouwbaar voor een laagdikte van enkele millimeters tot ~30 cm. Hierbij wordt verondersteld dat deze laag homogeen gemengd is. Voor de signaalverzwakking wordt gerekend met een halvering per 7 cm. De procedure voor het uiteindelijk opstellen van de massabalans staat in Figuur 20-4.

Om de bodemsamenstelling te bereken uit de hoeveelheid gemeten radioactiviteit zijn drie vergelijkingen met drie onbekenden beschikbaar. Het zijn:

$$C_{K}^{tot} = m_{klei} \cdot C_{K}^{klei} + m_{silt} \cdot C_{K}^{silt} + m_{zand} \cdot C_{K}^{zand}$$

$$C_{Bi}^{tot} = m_{klei} \cdot C_{Bi}^{klei} + m_{silt} \cdot C_{Bi}^{silt} + m_{zand} \cdot C_{Bi}^{zand}$$

$$C_{Th}^{tot} = m_{klei} \cdot C_{Th}^{klei} + m_{silt} \cdot C_{Th}^{silt} + m_{zand} \cdot C_{Th}^{zand}$$

Daarnaast wordt aangenomen dat de hele bodem uit zand, silt en klei bestaat, dus de vierde vergelijking luidt:

$$1 = m_{klei} + m_{silt} + m_{zand}$$

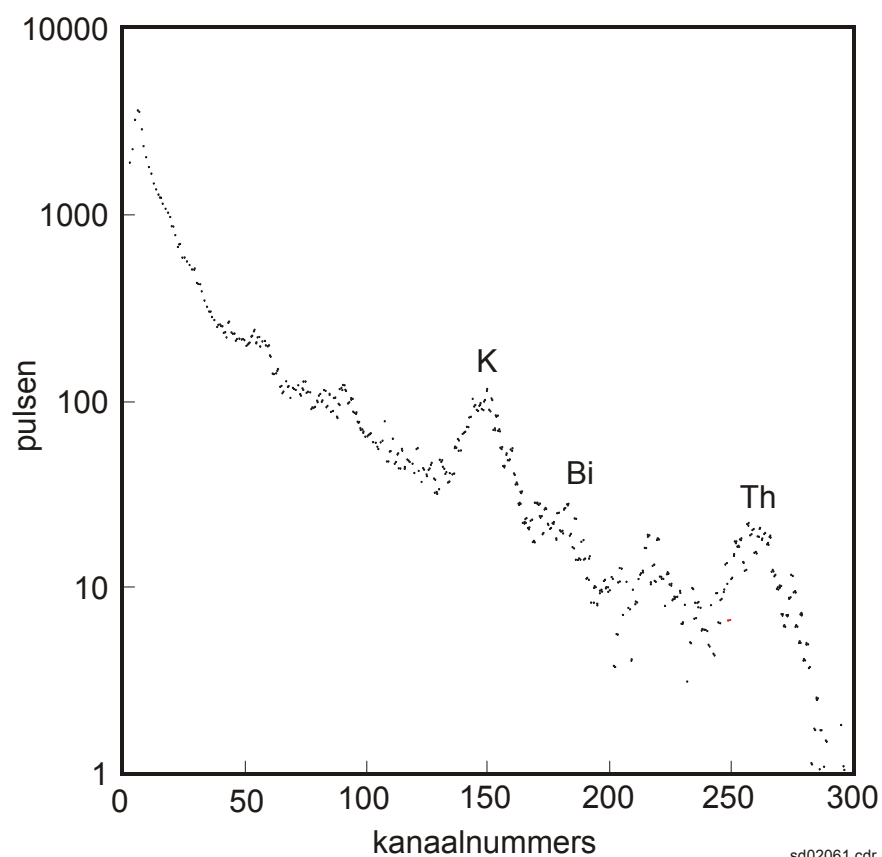
C_K^{tot} = totale hoeveelheid radioactiviteit gemeten in kalium

m_{klei} = fractie klei in de bodem

$C^{klei}K$ = specifieke radioactiviteit van ^{40}K in klei

Mutatis mutandis de overige uitdrukkingen.

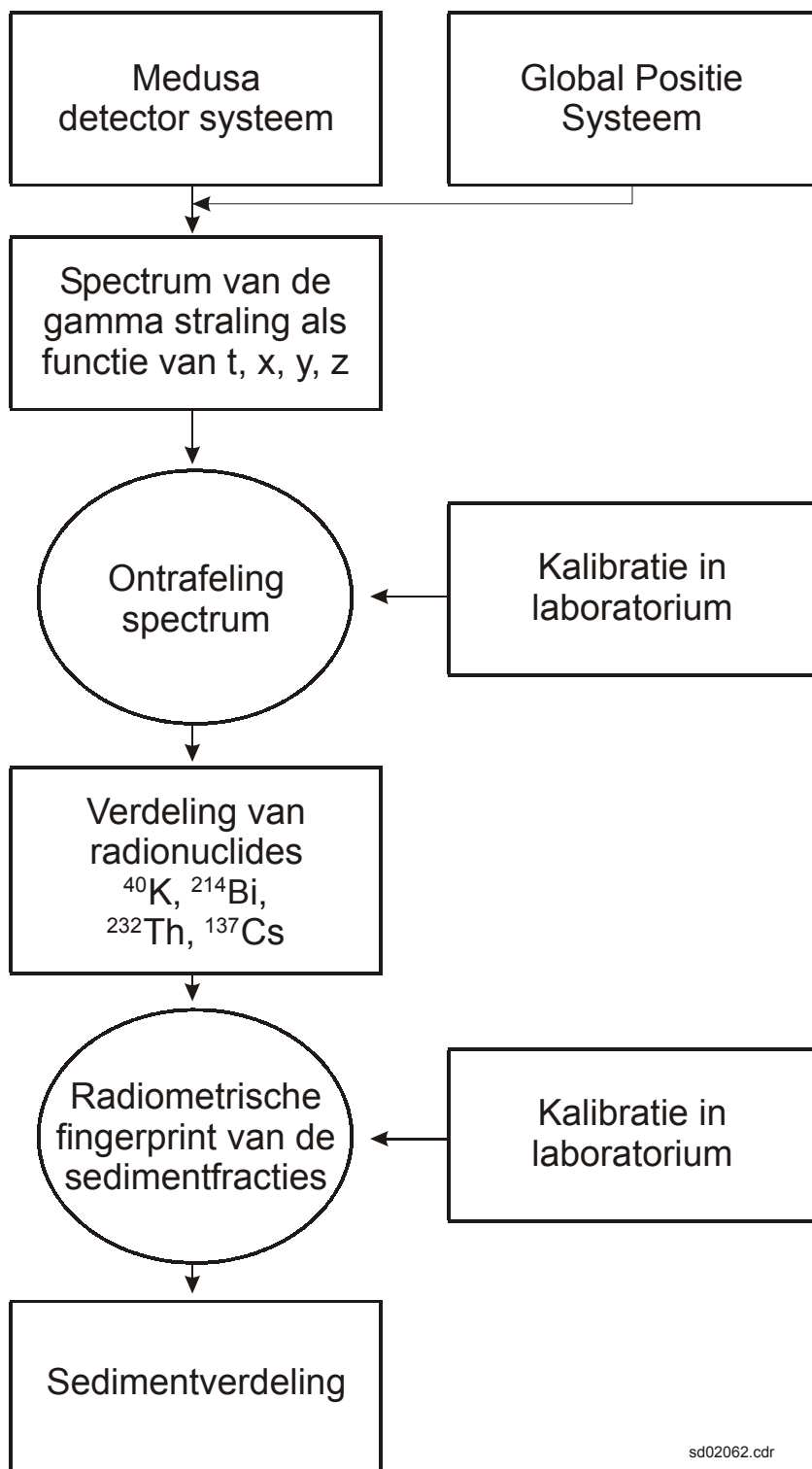
Figuur 20-3 De natuurlijke γ -straling van het sediment



De radioactieve straling van kalium-40, bismut-214 en thorium-232 zoals gemeten met het MEDUSA-systeem.

sd02061

Figuur 20-4 **Werkstappen radiometrische kartering**



sd02062.cdr

De metingen en rekenkundige bewerkingen die nodig zijn voor het vaststellen van de bodemsamenstelling en de massabalans.

sd02062

Rekenmodel uit 1995 voor slibstromen

De modelberekeningen voor het milieu-effectrapport om het retourpercentage vanaf Loswal Noord te berekenen, dateren uit 1991. Het gebruikte rekenmodel uit 1990 was aangepast aan de beschikbare rekencapaciteit en bevatte minder dan 750 rekenpunten horizontaal. De horizontale resolutie was 1000 m op een rechthoekig rooster en er werd gerekend met 5 modellagen. De valsnelheid van de slibdeeltjes varieerde van 0,1 tot 2 mm.sec⁻¹ en de gebruikte Rijnafoer was 1800 m.sec⁻¹. De berekeningen zijn gerapporteerd in de Kok (1991) en de Kok et al. (1992). De runs zijn gedraaid voor lozingen tussen eb- enloedkentering.

Rekenmodel uit 1999 voor slibstromen onder standaardomstandigheden

De modelberekeningen voor het retourpercentage van Loswal Noord en Noordwest zijn in 1999 opnieuw uitgevoerd. De computercapaciteit was toen 50 keer zo groot als 9 jaar eerder. Er was nieuwe programmatuur voor waterbeweging en slibtransport beschikbaar, nl. DELFT3D en SLIB3D. Er werd gedraaid met de RIJMAMO-schematisatie:

- 30.000 rekenpunten horizontaal;
- 8 waterlagen en 2 bodemlagen;
- maaswijdte in de Maasmond 100m;
- kromlijinig rooster.

De valsnelheid was op grond van SILTMAN-metingen op 1 mm.sec⁻¹ gezet. De opgelegde Rijnafoer was 1800 m³.sec⁻¹ door de Nieuwe Waterweg en 400 m³.sec⁻¹ door het Haringvliet. Er was reeds gebleken dat relatief kleine saliniteitsverschillen en verschillen in restroomp Patronen grote verschillen in retourtransport kunnen opleveren. Er zijn runs gedaan voor zowel lozingen tijdens ebkentering als tijdensloedkentering. Verdere details staan in de Kok en Sandeh (2000).

Rekenmodel uit 2000 voor slibstromen onder stormomstandigheden

Het gebruikte model om het zwevend stof (slib) transport in de Nederlandse kustwateren en de aanslibbing in de havengebieden te berekenen is het numerieke model SLIB3D. Voor deze studie is modelversie 3.7 gebruikt. Het model bevat 8 waterlagen, een bodemlaag, de z.g. 'standaardbodemlaag' en verder een extra bodemlaag die 'afdekkingsbodemlaag' wordt genoemd. In de standaardbodemlaag sedimenteert slib_{< 63 µm} en erodeert hier weer uit, afhankelijk van de stroomsnelheid van het water. Om zandafdekking van slib_{< 63 µm} te simuleren wordt op Loswal Noordwest gedurende enkele getijden een kleine fractie van het slib_{< 63 µm} (0,5 % van de initieel gestorte massa) van de onderste waterlaaglaag overgebracht naar de afdekkingsbodemlaag. De massa in deze afdekkingsbodemlaag is niet meer beschikbaar voor erosie. Het materiaal dat in afdekkingsbodemlaag terecht komt, blijft daar onder gemiddelde omstandigheden liggen maar kan onder stormomstandigheden weer vrijkomen. Dit is de z.g. "sand-buried sedimentation". Het model is massabehoudend. De initieel gestorte massa, die niet over de randen van het model is verdwenen, bevindt zich in de bodemlaag of in suspensie en hiertussen treedt uitwisseling op via erosie en sedimentatie. De berekening van het model geschiedt in tijdstappen van 10 minuten, waarbij de getijperiode van 12,5 uur wordt opgedeeld in 75 tijdstappen.

Als input gebruikt het model hydrodynamica in de vorm van waterbewegingsvelden, gegenereerd met het driedimensionaal waterbewegingsmodel DELFT/3D van het Waterloopkundig Laboratorium. Er zijn drie waterbewegingen:

- G01 gemiddeld getij-, wind en rivierafvoeromstandigheden
- N02 Noordwesterstorm
- Z02 Zuidwesterstorm

Het gebruik van een driedimensionaal waterbewegingsmodel is noodzakelijk om het effect van stratificatie in de kustzone op de hydrodynamica te kunnen simuleren. De waterbeweging is in Lagrangiaanse vorm, dus de trajectorieën (transportpaden) van de waterdeeltjes zijn bekend. Dit sluit aan bij de parameterisatie van het slibtransport die bij SLIB3D gebruikt wordt. Bij deze parameterisatie wordt de translatie en deformatie van pakketjes slib_{< 63 µm} berekend, de zogeheten uitgebreide tweede momenten methode (de Kok 1992a en de Kok 1993). De waterbeweging wordt bepaald. Voor een karakteristieke windrichting en windsnelheid en rivierafvoer (Rijn/Maas) wordt voor twee volledige getijperioden uitvoer opgeslagen.

Er zijn twee scenario's doorgerekend, elk bestaande uit 3 runs. De eerste run, de G01 initialisatie-run, is voor beide scenario's gelijk. De tweede run is de 'stormrun', in het ene scenario een zuidwesterstorm in het andere een noordwesterstorm. Daarna is een, voor beide scenario's verschillende, herverdelingsrun gedraaid.

Allereerst wordt het storten van baggerspecie gesimuleerd die vervolgens zo wordt verdeeld dat de verspreiding overeenkomt met de situatie, zoals die met de radiometrische kartering is gemeten (zie § 6.1.2e) en 6.5.1).

Bij de initialisatie-run is op Loswal Noordwest in de achtste waterlaag een miljoen kilo slib_{< 63 µm} gestort. Deze stort vond halverwege de ebfase plaats. Dit moment is van invloed op de retourstroom van slib_{< 63 µm} naar het Rijn-Maasmond gebied. Deze run heeft een lengte van 40 getijperioden en het "sand-buried mechanisme" is ingeschakeld. Er is gerekend met standaardomstandigheden, dat wil zeggen met een gemiddeld getij, gemiddelde windsnelheid en -richting. Deze run is een aantal malen herhaald met andere storttijdstippen, verdeeld over de getijperiode om zo een gemiddelde verdeling over een getijperiode van het "sand-buried slib" in de afdekkingsbodemplaat te krijgen. Het gemiddelde slibveld in de afdekkingsbodemplaat is daarna herschaald zodat de totale hoeveelheid slib_{< 63 µm} in de vier deelgebieden rondom Loswal Noordwest overeenkomt met de hoeveelheid slib_{< 63 µm} in de bodem zoals die berekend is in 1996 en 1997 met de techniek van de radiometrische kartering, zie § 6.1.1e) *'Vorm en bodemsamenstelling Loswal Noordwest'*.

Vervolgens wordt een noordwester- of zuidwesterstorm nagebootst. De beginsituatie voor de stormrun (zuidwest of noordwest) is de eindsituatie van de initialisatie-run. Verder is de massa in de gecombineerde afdekkingsbodemplaat aan het begin van de run overgeplaatst naar de standaardbodemplaat zodat deze weer beschikbaar is voor erosie. Om te simuleren dat een deel van het slib_{< 63 µm} permanent in de afdekkingsbodemplaat achterblijft, wordt een deel van de massa, nl. 20 % van de initieel gestorte hoeveelheid slib, niet overgeplaatst. Bij de stormrun, die drie getijperioden duurt, is het "sand-buried mechanisme" uitgeschakeld. Rondom Loswal Noordwest is vervolgens de erosieconstante (de hoeveelheid gesedimenteerde slib_{< 63 µm} die per tijdseenheid wordt geërodeerd) zodanig ingesteld dat het

gesedimenteerde slib_{< 63 µm} in de standaardbodemplaat in de stormsituatie volledig erodeert.

Tot slot wordt het materiaal dat door de storm gesuspendeerd is, weer verdeeld over de waterfase en de bodem. Hiervoor wordt een herverdelingsrun met gemiddelde weersomstandigheden gedraaid. Hierbij wordt het materiaal dat gedurende de storm in suspensie is gebracht, opnieuw verspreid. Deze run duurt 40 getijperioden en het "sand-buried mechanisme" is uitgeschakeld. In Tabel 20-12 staat een overzicht van de runs.

Tabel 20-12 De modelruns voor slibverspreiding onder stormomstandigheden

Naam run	Aantal getijperioden	Waterbeweging	Sand-buried mechanisme	Startomstandigheden	Uitvoer
Initialisatierun	40	G01	ingeschakeld	Stort 10 ⁶ kg slib _{< 63 µm} in waterlaag 8	Slibverdeling in de bodem is gelijk aan meting uit de radiometrische kartering
Stormrun (zuidwest of noordwest)	3	N02 of Z02	uitgeschakeld	Slib deels vrijgeven voor erosie, deels permanent begraven	Herverdeeld slib
Herverdelingsrun	40	G01	uitgeschakeld	Resultaat stormrun	Berekende retourstroom

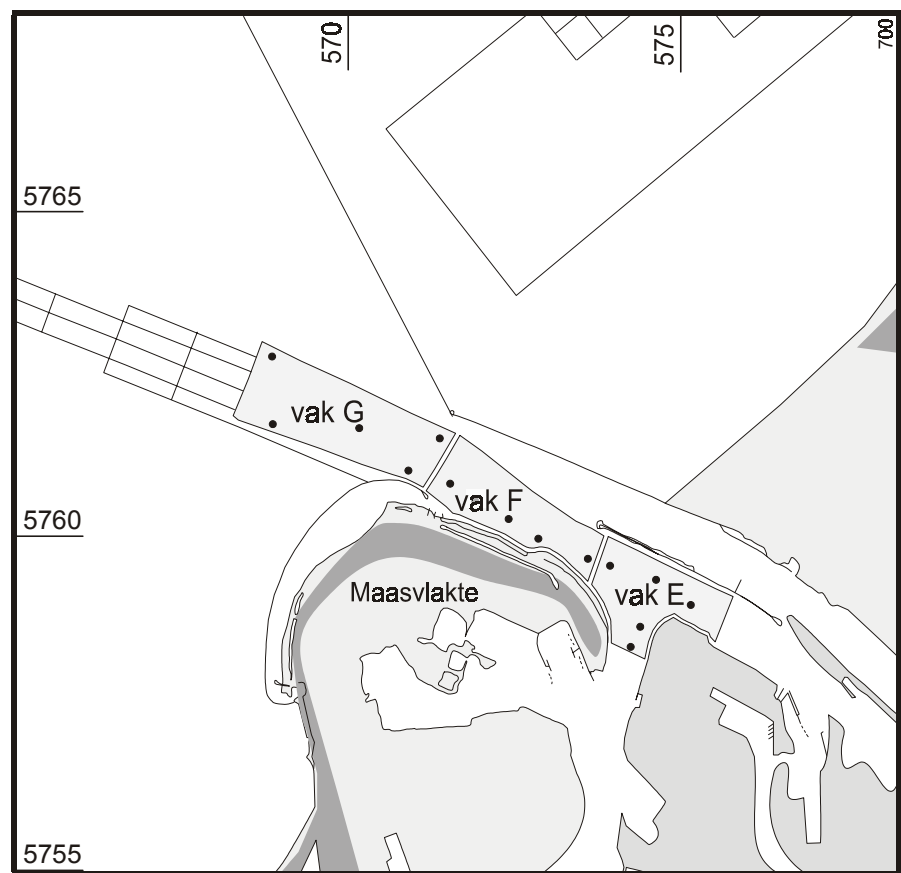
De volledige beschrijving van het gebruikte model en de runs staat in Eij (2000).

De berekende retourstroom staat in § 7.5.2.

Korrelgrootteverdeling in de vaargeul (vak E, F en G)

Er zijn bodemonsters genomen in de monding van de Nieuwe Waterweg in de vakken E, F en G. Een daling in het slibgehalte in de bodem kan wijzen op een afname van de retourstroom. In de vakken E, F en G (G meest zeewaarts) in de vaargeul zijn door directie Zuid-Holland bodemonsters genomen die door het laboratorium van het Rijksinstituut voor Kust en Zee zijn geanalyseerd. Per vak werden 5 monsters genomen met een frequentie van eens in de twee maanden in de periode van januari 1996 tot maart 1998. De monsters worden ieder keer zoveel mogelijk op dezelfde locatie genomen. De ligging van de desbetreffende vakken en de uitgangspositie van de meetpunten worden weergegeven in Figuur 20-5. De bodemonsters worden genomen met een Van Veenhapper.

Figuur 20-5 Monitoringslocaties in de vaargeul, vakken E, F en G



sd02064.cdr

De monsterlocaties in de vaargeul in de vakken E, F en G om de korrelgrootteverdeling te bepalen en daarmee de slib/zand-verhouding.

sd02064

De resultaten worden in gewichtspercentages gegeven van de totale droge stof monster. Onder slib_{< 63 µm} wordt verstaan de fractie < 63 µm en onder zand de fractie van 63 - 2000 µm. Het monster wordt eerst gewogen, dan wordt het

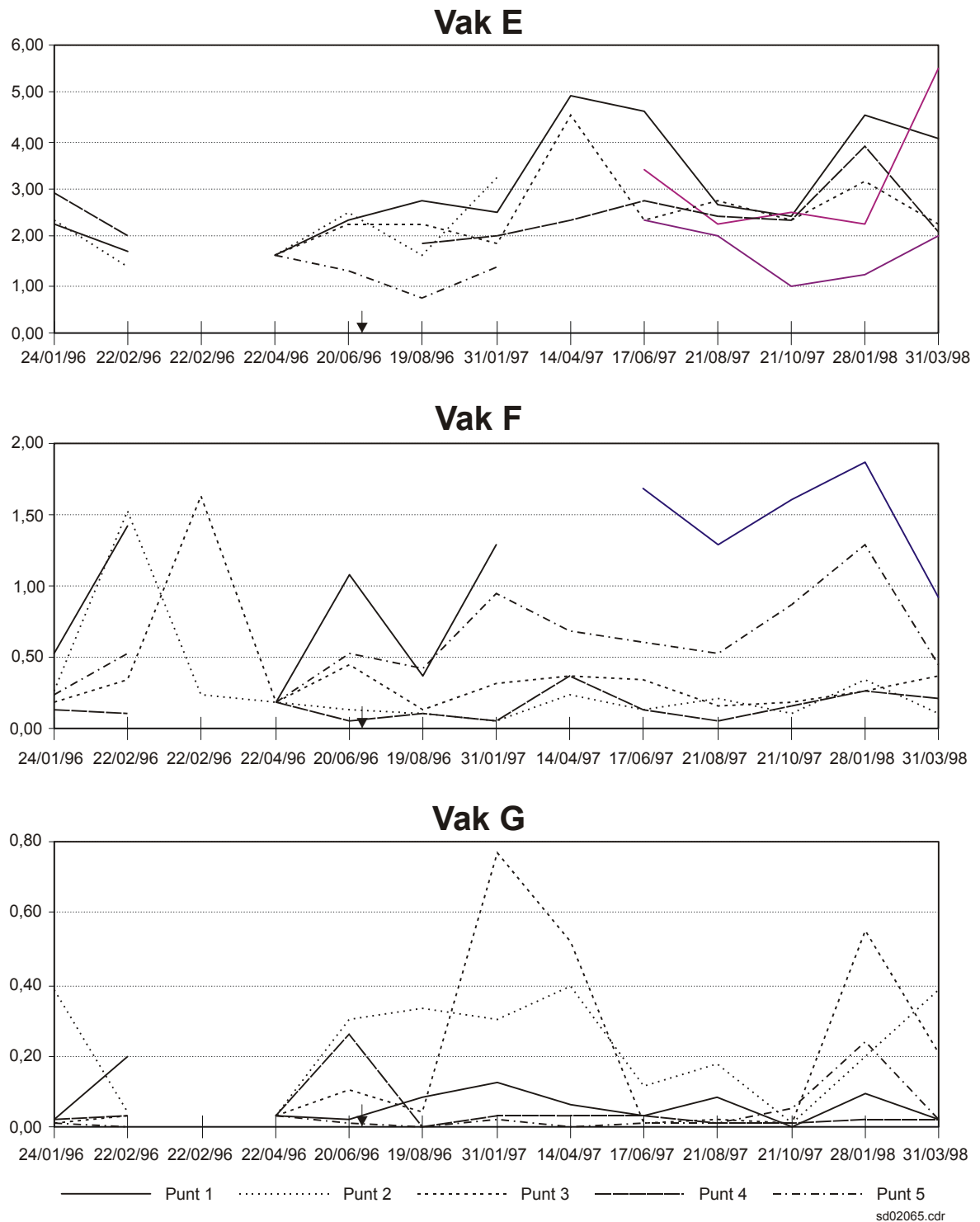
monster gecentrifugeerd zodat het vocht eruit is. Hiervan wordt dan weer het gewicht bepaald wat op 100% gesteld wordt. Door dit monster te behandelen met een zoutzuuroplossing kan het kalkpercentage worden bepaald. De rest gaat door zeven om het slib- en het zandpercentage te bepalen. De korrelgrootteverdeling, de slib/zandverhouding en het slibgehalte is bepaald c.q. berekend.

In Figuur 20-6 zijn de slib/zandverhoudingen van de vijf monsterlocaties in elk baggervak weergegeven. Het pijltje in de figuren geeft het moment aan waarop Loswal Noordwest in gebruik is genomen. De verwachting was dat na dit moment het slibgehalte zou gaan dalen doordat de retourstroom en daarmee de aangevoerde slibmassa zou afnemen. In de figuur is echter geen afname te zien.

In Figuur 20-7 zijn dezelfde resultaten op een andere wijze weergegeven. De gemiddelde slib/zandverhouding over de gehele periode in elk stortvak is links weergegeven en in het midden en rechts het gemiddelde vóór resp. na ingebruikneming Loswal Noordwest. In alle vakken is een toename van de slib/zandverhouding te zien na de ingebruikneming van Loswal Noordwest, dus een toename van het slib_{< 63 µm}. Dit resultaat is een tegenspraak met een afgenomen retourstroom waarbij minder slib_{< 63 µm} werd verwacht. Opgemerkt dient te worden dat de spreiding dermate groot is dat nauwelijks een uitspraak valt te doen.

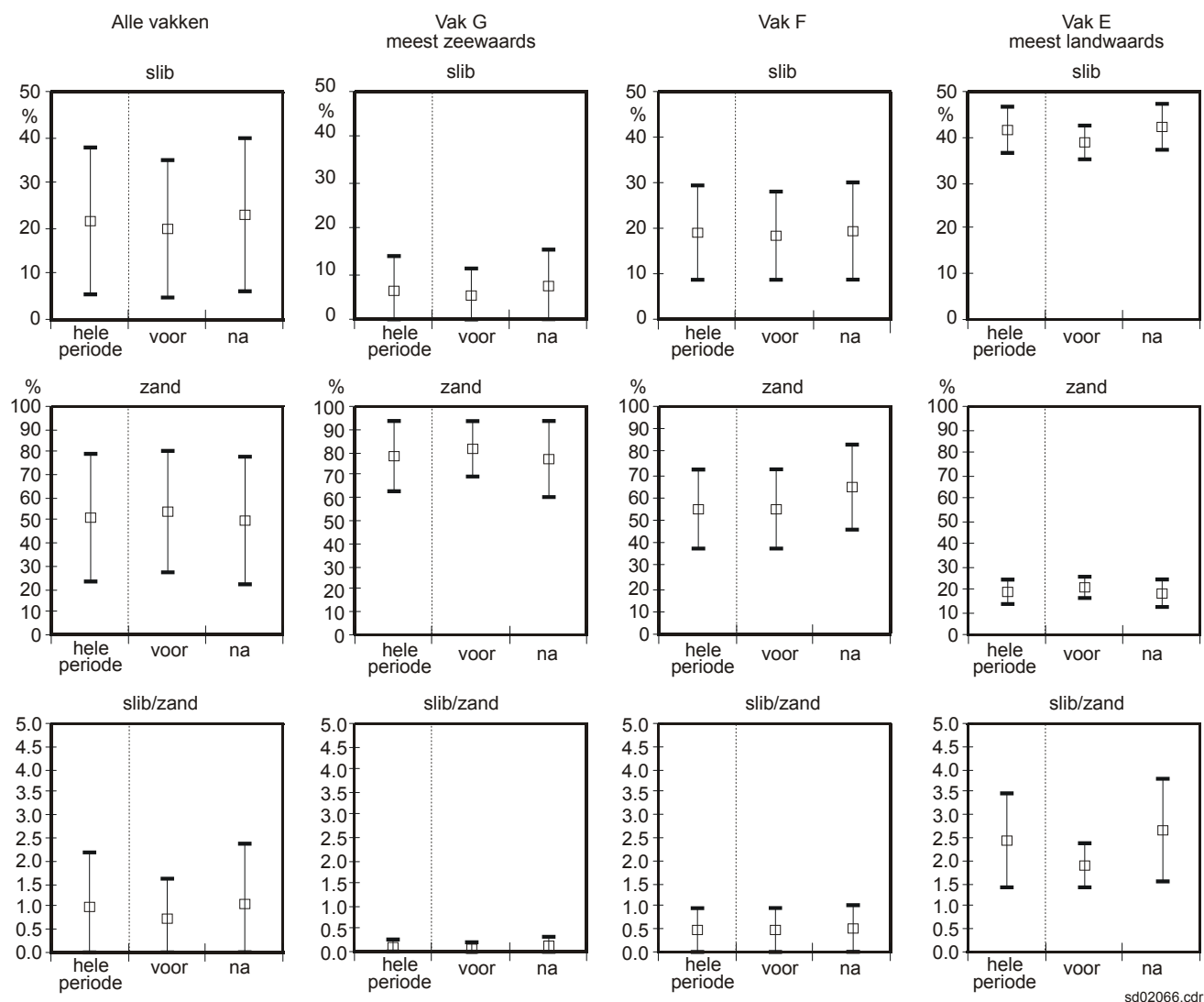
Ook het onderste plaatje met het gemiddelde van alle metingen in alle vakken, laat een toename zien van de slib/zandverhouding. Het gemiddelde zandgehalte is 51 %, het gemiddelde slibgehalte 49 %.

Figuur 20-6 Slib/zandverhouding op alle monsterlocaties in de vakken E, F en G



De slib/zandverhouding in alle gemeten monsterlocaties in de vakken E, F en G van de vaargeul tussen 24 januari 1996 en 31 maart 1998. Zie Figuur 20-5 voor de locaties.
sd02065

Figuur 20-7 Slib/zandverhouding in de vakken E, F en G



sd02066.cdr

De gemiddelde slib/zandverhouding in de vakken E, F en G van de vaargeul tussen 24 januari 1996 en 31 maart 1998. Rechts in elk figuurtje het gemiddelde over de hele periode, in het midden over de periode voor de ingebruikneming van Loswal Noordwest, rechts het gemiddelde erna. De onderste figuur geeft de gemiddelde slib/zandverhouding over alle locaties van alle vakken over de gehele periode.

□ = gemiddelde van de waarnemingen
 |—| = spreiding

sd02066

Opgebaggerde hoeveelheden baggerspecie

Voor deze studie is bepaald hoeveel baggerspecie is opgezogen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de binnenhaven en de vaargeul.

De resultaten op jaarbasis staan in Tabel 6-4 in § 6.4.1.

Het betreft de periode 1 juli 1996 tot augustus 2000, het moment waarop de Verdiepte Loswal in gebruik is genomen. Vanaf april 2002 is weer op Loswal Noordwest gestort.

Tot 1 juli 1996 werd op Loswal Noord gestort, daarna op Loswal Noordwest.

Het is niet bekend wat de foutenschatting is van de gegevens van de opgezogen (opgebaggerde) baggerspecie. Hier is dan ook niet meegerekend bij het vaststellen van de veranderingen in het retourpercentage na de ingebruikname van Loswal Noordwest.

Gestorte hoeveelheden baggerspecie

De hoeveelheden baggerspecie die op Loswal Noordwest zijn gestort, staan in Tabel 20-13. Er is onderscheid gemaakt tussen de baggerspecie die uit de binnenhaven komt en die uit de vaargeul. De opgave is op weekbasis.

Tabel 20-13 Gestorte hoeveelheden baggerspecie op Loswal Noordwest

- Vaargeul (RWS)
- Binnenhaven (Rotterdam)

VAARGEUL		BINNENHAVEN	
Jaar/week	Gestort	Jaar/week	Gestort
j/w	TDS	j/w	TDS
96-27	141.075	96-27	15.004
96-28	15.952	96-28	22.684
96-29	31.278	96-29	24.165
96-30	45.087	96-30	11.601
96-31	0	96-31	6.532
96-32	0	96-32	0
96-33	0	96-33	10.798
96-34	60.773	96-34	8.521
96-35	8.133	96-35	6.702
96-36	0	96-36	6.716
96-37	36.857	96-37	2.182
96-38	0	96-38	26.829
96-39	0	96-39	28.080
96-40	67.491	96-40	17.306
96-41	94.332	96-41	21.352
96-42	44.171	96-42	11.368
96-43	228.843	96-43	2.714
96-44	120.355	96-44	0
96-45	240.952	96-45	0
96-46	277.543	96-46	16.843
96-47	246.049	96-47	11.064
96-48	173.443	96-48	7.513
96-49	70.134	96-49	10.944
96-50	47.242	96-50	11.079
96-51	69.626	96-51	5.082
96-52	0	96-52	0
97-01	77.195	97-01	0
97-02	228.179	97-02	5.758
97-03	159.094	97-03	20.100
97-04	2.615	97-04	1.020
97-05	2.434	97-05	4.313

97-06	49.678	97-06	15.638
97-07	80.390	97-07	9.392
97-08	108.438	97-08	22.566
97-09	31.296	97-09	14.040
97-10	0	97-10	24.654
97-11	119.890	97-11	33.359
97-12	92.167	97-12	38.821
97-13	102.427	97-13	27.182
97-14	116.374	97-14	21.346
97-15	62.594	97-15	19.234
97-16	253.032	97-16	7.265
97-17	229.369	97-17	30.611
97-18	89.528	97-18	31.758
97-19	82.788	97-19	22.659
97-20	71.261	97-20	19.609
97-21	100.442	97-21	19.603
97-22	122.909	97-22	26.353
97-23	93.386	97-23	19.101
97-24	96.856	97-24	29.630
97-25	71.614	97-25	25.500
97-26	105.613	97-26	23.057
97-27	95.018	97-27	23.734
97-28	121.589	97-28	30.906
97-29	197.103	97-29	44.161
97-30	111.802	97-30	9.167
97-31	150.633	97-31	50.042
97-32	97.509	97-32	40.594
97-33	111.892	97-33	14.109
97-34	168.633	97-34	18.584
97-35	83.805	97-35	36.010
97-36	1.509	97-36	33.663
97-37	101.138	97-37	32.655
97-38	145.124	97-38	24.541
97-39	34.142	97-39	45.775
97-40	144.024	97-40	45.794
97-41	209.159	97-41	3.143
97-42	257.521	97-42	12.805
97-43	181.606	97-43	17.994
97-44	123.648	97-44	17.382
97-45	116.466	97-45	17.157
97-46	100.075	97-46	18.794
97-47	35.260	97-47	5.586
97-48	66.919	97-48	1.075
97-49	42.754	97-49	14.236
97-50	197.042	97-50	30.593
97-51	192.172	97-51	27.870
97-52	68.708	97-52	0
98-01	0	98-01	0
98-02	94.646	98-02	1.020
98-03	70.675	98-03	14.772

98-04	94.737	98-04	16.484
98-05	19.427	98-05	26.989
98-06	61.805	98-06	34.376
98-07	0	98-07	29.999
98-08	65.847	98-08	27.443
98-09	33.991	98-09	4.586
98-10	108.452	98-10	8.408
98-11	94.292	98-11	26.413
98-12	108.035	98-12	19.215
98-13	224.502	98-13	20.420
98-14	131.887	98-14	51.198
98-15	73.180	98-15	63.622
98-16	99.283	98-16	26.282
98-17	39.382	98-17	32.608
98-18	87.661	98-18	39.763
98-19	82.239	98-19	35.465
98-20	92.475	98-20	24.024
98-21	90.786	98-21	36.314
98-22	34.989	98-22	59.561
98-23	69.725	98-23	32.969
98-24	142.380	98-24	24.574
98-25	105.221	98-25	27.789
98-26	156.797	98-26	54.318
98-27	226.803	98-27	47.231
98-28	91.492	98-28	55.279
98-29	189.312	98-29	22.882
98-30	49.590	98-30	0
98-31	179.138	98-31	14.372
98-32	3.746	98-32	0
98-33	30.684	98-33	19.334
98-34	122.069	98-34	15.820
98-35	36.514	98-35	20.127
98-36	114.559	98-36	18.937
98-37	0	98-37	9.054
98-38	81.588	98-38	10.731
98-39	14.998	98-39	15.508
98-40	0	98-40	23.963
98-41	140.803	98-41	27.541
98-42	135.587	98-42	12.001
98-43	56.804	98-43	33.646
98-44	47.091	98-44	0
98-45	9.056	98-45	3.176
98-46	114.324	98-46	5.159
98-47	120.191	98-47	22.172
98-48	33.929	98-48	29.694
98-49	27.299	98-49	34.348
98-50	58.314	98-50	34.035
98-51	52.494	98-51	35.142
98-52	110.448	98-52	0
99-01	132.219	99-01	0

99-02	101.999	99-02	27.328
99-03	177.847	99-03	2.150
99-04	141.367	99-04	26.194
99-05	180.845	99-05	4.305
99-06	295.042	99-06	50.606
99-07	103.172	99-07	20.746
99-08	66.819	99-08	17.270
99-09	97.604	99-09	36.141
99-10	193.127	99-10	39.217
99-11	186.171	99-11	49.570
99-12	206.251	99-12	28.686
99-13	242.080	99-13	8.622
99-14	93.315	99-14	7.193
99-15	212.579	99-15	33.533
99-16	163.205	99-16	44.862
99-17	219.774	99-17	42.329
99-18	111.059	99-18	34.276
99-19	130.473	99-19	24.433
99-20	125.751	99-20	36.042
99-21	120.574	99-21	25.008
99-22	105.794	99-22	104.130
99-23	80.480	99-23	17.552
99-24	73.931	99-24	10.908
99-25	111.001	99-25	58.410
99-26	82.215	99-26	81.571
99-27	55.290	99-27	32.290
99-28	97.306	99-28	38.074
99-29	74.471	99-29	6.396
99-30	55.267	99-30	4.896
99-31	71.439	99-31	8.877
99-32	62.778	99-32	6.824
99-33	69.420	99-33	11.497
99-34	84.242	99-34	14.362
99-35	76.622	99-35	10.077
99-36	30.110	99-36	14.374
99-37	32.149	99-37	8.079
99-38	64.069	99-38	21.094
99-39	83.097	99-39	3.340
99-40	10.555	99-40	9.902
99-41	68.702	99-41	2.668
99-42	65.954	99-42	10.028
99-43	65.677	99-43	24.331
99-44	54.225	99-44	15.026
99-45	42.751	99-45	35.346
99-46	120.018	99-46	5.758
99-47	148.891	99-47	0
99-48	132.716	99-48	20.119
99-49	117.381	99-49	61.676
99-50	129.800	99-50	54.584
99-51	50.254	99-51	37.275

99-52	0	99-52	0
00-01	144.066	00-01	1.440
00-02	166.191	00-02	0
00-03	169.266	00-03	9.086
00-04	189.411	00-04	28.277
00-05	223.479	00-05	39.196
00-06	173.905	00-06	27.580
00-07	210.033	00-07	70.625
00-08	179.531	00-08	63.920
00-09	200.764	00-09	34.990
00-10	176.498	00-10	26.655
00-11	187.844	00-11	28.162
00-12	211.332	00-12	7.349
00-13	182.537	00-13	37.819
00-14	159.458	00-14	30.516
00-15	174.330	00-15	5.803
00-16	111.127	00-16	11.270
00-17	185.005	00-17	27.770
00-18	142.504	00-18	26.912
00-19	43.401	00-19	42.890
00-20	0	00-20	20.852
00-21	34.801	00-21	47.879
00-22	60.438	00-22	24.011
00-23	96.729	00-23	36.008
00-24	111.271	00-24	35.579
00-25	111.540	00-25	18.766
00-26	70.938	00-26	15.792
00-27	0	00-28	13.227
00-28	55.218	00-30	3.199
00-29	25.741	00-31	0
00-30	32.866	00-32	18.124
		00-33	24.918
		00-34	1.440
		00-35	12.893
		00-36	16.830
00-37		00-37	25.574
00-38		00-38	24.007
00-39		00-39	7.126
00-40		00-40	13.758
00-41		00-41	15.327
00-42		00-42	6.570
00-43		00-43	17.308
00-44		00-44	8.307
00-45		00-45	23.620
00-46		00-46	17.235
00-47		00-47	14.216
00-48		00-48	11.508
00-49		00-49	16.379
00-50		00-50	0
00-51		00-51	17.538

00-52	00-52	0
01-01	01-01	0
01-02	01-02	6.311
01-03	01-03	3.194
01-04	01-04	3.646
01-05	01-05	10.450
01-06	01-06	2.871
01-07	01-07	0
01-08	01-08	12.956
01-09	01-09	5.752
01-10	01-10	15.836
01-11	01-11	14.351
01-12	01-12	3.018
01-13	01-13	12.155
01-14	01-14	3.171
01-15	01-15	5.257
01-16	01-16	16.980
01-17	01-17	18.532
01-18	01-18	8.964
01-19	01-19	5.736
01-20	01-20	12.292
01-21	01-21	8.256
01-22	01-22	7.548
01-23	01-23	6.973
01-24	01-24	7.635
01-25	01-25	21.513
01-26	01-26	5.280
01-27	01-27	1.094
01-28	01-28	1.821
01-29	01-29	27.090
01-30	01-30	75.275
01-31	01-31	3.528
01-32	01-32	0
01-33	01-33	36.209
01-34	01-34	13.844
01-35	01-35	11.052
01-36	01-36	14.806
01-37	01-37	5.758
01-38	01-38	19.873
01-39	01-39	18.303
01-40	01-40	15.115
01-41	01-41	13.185
01-42	01-42	11.643
01-43	01-43	3.029
01-44	01-44	23.094
01-45	01-45	14.114
01-46	01-46	60.128
01-47	01-47	18.244
01-48	01-48	12.388
01-49	01-49	4.838

01-50		01-50	10.906	
01-51		01-51	2.498	
01-52		01-52	0	
02-01		02-01	888	
02-02		02-02	17.472	
02-03		02-03	14.556	
02-04		02-04	2.494	
02-05		02-05	13.234	
02-06		02-06	33.447	
02-07		02-07	17.241	
02-08		02-08	1.065	
02-09		02-09	1.095	
02-10		02-10	10.428	
02-11		02-11	20.251	
02-12		02-12	7.677	
02-13		02-13	3.924	
02-14	138.083			
02-15	63.209			
02-16	17.462			
02-17	171.854			
02-18	160.737			
02-19	112.423			
02-20	106.847			
02-21	128.362			
02-22	91.124			
02-23	130.609			
02-24	142.152			
02-25	22.694.164			
TOTAAL	22.477.378		5.767.947	28.245.326

bron: M:\Groos\mal\eind-rap\ NW-eind-lod-slib.xls # dzh-beun en ghr-beun

Foutenschatting

De hoeveelheid gestorte baggerspecie op weekbasis is berekend uit de afzonderlijke vaartochten. Volgens opgave is de fout per vaartocht 20 % voor de baggerschepen van Rijkswaterstaat en 30 % voor de baggerschepen van de Gemeente Rotterdam (Stutterheim, 2002-a).

De formules voor de berekening van het wegstroompercentage en retourpercentage staan beschreven in het werkdocument 'Werkwijze voor de berekening van het wegstroompercentage en de standaardfout ervan voor Loswal Noordwest en de Verdiepte Loswal' (Stutterheim, S. (2002a).

$z + s = \text{zand} + \text{slib}_{< 63 \mu\text{m}}$

A.

Het wegstroompercentage voor de totale hoeveelheid gestorte baggerspecie wanneer alleen de restmassa op Loswal Noordwest in beschouwing wordt genomen:

$$\text{Wegstroompercentage } (z + s) = \left(\frac{\text{Gestorte baggerspecie } (z + s) - \text{restmassa op loswal } (z + s)}{\text{Gestorte baggerspecie } (z + s)} \right) * 100$$

B.

Het wegstroompercentage voor de hoeveelheid gestort slib_{< 63 μm} wanneer de restmassa van het slib_{< 63 μm} zowel op als rondom Loswal Noordwest in beschouwing wordt genomen:

Wegstroompercentage (slib) =

$$\left(\frac{\text{Gestorte baggerspecie (slib)} - \{\text{restmassa op loswal (slib)} + \text{restmassa rondom loswal (slib)}\}}{\text{Gestorte baggerspecie (slib)}} \right) * 100$$

C.

Het retourpercentage voor de hoeveelheid gestort slib_{< 63 μm} wanneer de restmassa van het slib_{< 63 μm} zowel op als rondom Loswal Noordwest in beschouwing wordt genomen:

$$\text{Retourpercentage (slib)} = \text{wegstroompercentage (slib)} * \left(\frac{\text{restmassa in zuid sector (slib)}}{\text{restmassa rondom loswal (slib)}} \right)$$

D.

Het retourpercentage voor de totale hoeveelheid gestorte baggerspecie wanneer zowel de restmassa op de loswal als de restmassa van het slib_{< 63 µm} rondom Loswal Noordwest in beschouwing wordt genomen:

Retourpercentage $(z + s) = 100 *$

$$\left(\frac{\text{gestorte baggerspecie } (s + z) - \{\text{restmassa op loswal } (s + z) + \text{restmassa rondom loswal (slib)}\}}{\text{gestorte baggerspecie}} \right) * zf$$

Bij formule **A.** wordt het **wegstroompercentage van de totale gestorte hoeveelheid baggerspecie** berekend.

Dit wegstroompercentage wordt voor de hele onderzoeksperiode van juli 1996 tot augustus 2001, zo'n 5 jaar, bepaald.

Het verschil tussen de gestorte en resterende hoeveelheid baggerspecie op de bodem geeft de massa aan die van Loswal Noordwest is weggespoeld. De gestorte hoeveelheid baggerspecie is bekend uit de baggeradministratie. Bij deze berekening, formule **A.**, wordt alleen de resterende massa van de gestorte baggerspecie **op de loswal** zelf in beschouwing genomen. Deze restmassa is met behulp van lodingen en de dichtheid van de stortberg bepaald. Het uit de lodingen berekende volume baggerspecie (m³) op de zeebodem wordt met behulp van de dichtheid omgerekend naar massa (TDS). Doordat alleen de lodingsgegevens van de loswal gebruikt worden, wordt geen rekening gehouden met het slib_{< 63 µm} dat buiten de loswal is geraakt.

Alleen voor dit wegstroompercentage is het mogelijk om een standaardfout vast te stellen. Om deze standaardfout te berekenen is voor elke afzonderlijke term de standaardfout bepaald.

Bij formule **B.** wordt het **wegstroompercentage van slib_{< 63 µm}** berekend.

De gestorte hoeveelheid slib_{< 63 µm} is berekend uit de baggeradministratie en uit de fractie slib_{< 63 µm} hierin. Deze laatste is bepaald door de deeltjesfractie met een diameter kleiner dan 63 µm te meten.

Bij deze berekening is ook het slib, dat verspreid is in het gebied **rondom de loswal**, in beschouwing genomen. Deze hoeveelheid slib_{< 63 µm} is bepaald met radiometrische kartering omdat de laagdikte hooguit enkele cm's bedraagt die niet met lodingen is te meten.

De berekening op grond van de kartering heeft uitsluitend betrekking op de periode juli 1996 tot oktober 1997.

Bij formule **C.** wordt het **retourpercentage van het slib_{< 63 µm}** bepaald.

De hoeveelheid slib_{< 63 µm} die naar het zuiden stroomt, wordt verondersteld evenredig te zijn met de fractie van het slib_{< 63 µm} die zich in de zuid-sector bevindt. Deze fractie wordt de zuidfractie genoemd, afgekort tot 'zf'. De zuidfractie is gelijk aan de restmassa van het slib_{< 63 µm} in de zuid-sector gedeeld door de restmassa slib_{< 63 µm} rondom de loswal. Deze fractie is te berekenen zodra de hoeveelheid slib_{< 63 µm} in elk van de vier sectoren rondom de loswal is vastgesteld.

In formule:

$$\text{zuidfractie} = \text{slibmassa in zuid-sector} / \text{slibmassa in hele surveygebied}$$

Bij formule **D.** tenslotte wordt de **retourstroom bepaald van de totale hoeveelheid gestorte baggerspecie**, dus van slib_{< 63 µm} plus zand.

Bij deze berekening is niet alleen rekening is gehouden met de restmassa van zand en slib_{< 63 µm} **op de loswal** zelf maar ook met de hoeveelheid slib_{< 63 µm} die zich **rondom de loswal** heeft verspreid.

Bij deze berekening wordt eerst bepaald hoeveel materiaal op de bodem is achtergebleven. Dit is de hoeveelheid zand + slib_{< 63 µm} op de loswal zelf die met behulp van de lodingen berekend is plus de hoeveelheid slib_{< 63 µm} rondom de loswal die gemeten is met radiometrische kartering. Uit het verschil met de gestorte hoeveelheid baggerspecie volgt hoeveel materiaal is weggestroomd. Hiermee is het wegstroompercentage voor de gestorte baggerspecie te bepalen. Om vervolgens het retourpercentage te berekenen, wordt het wegstroompercentage vermenigvuldigd met de fractie van het slib, die zich rondom de loswal in de zuid-sector bevindt. Dit is de reeds genoemde zuidfractie.

Bij het bepalen van het wegstroompercentage van de totale hoeveelheid baggerspecie is ook de onzekerheidsmarge van dit percentage van belang. Dit onderwerp is uitgebreid behandeld in het werkdocument 'Werkwijze voor de berekening van het wegstroompercentage en de standaardfout ervan voor Loswal Noordwest en de Verdiepte Loswal' (Stutterheim, S. (2002a). De toegepaste formules en de gebruikte standaardfouten staan hieronder.

Toegepaste formules

De standaardfout van het wegstroompercentage is gebaseerd op de fouten die gemaakt zijn bij de onderliggende bouwsteen. Het betreft de fout in de bepaling van het volume van de beun, de lading, de dichtheid en de omrekenfactor van kuubs naar 'tonnen droge stof', de droge dichtheid.

1. De formule om de standaardfout van het wegstroompercentage te berekenen bestaat uit een aantal stappen.

2.

Hieronder staat de aanpak waarmee de formules om de standaardfout te bepalen, zijn opgesteld.

1. Als er binnen de berekening voor het wegstroompercentage opgeteld of afgetrokken wordt, dan wordt de standaardfout berekend door de **kwadraten van de absolute fouten** op te tellen. De wortel uit deze som geeft weer de absolute fout.

Voorbeeld: het optellen van alle beun-volumes binnen de beschouwde periode.

2. Als er binnen de berekening voor het wegstroompercentage vermenigvuldigd of gedeeld wordt, dan worden de **kwadraten van de fracties van de standaardfouten** bij elkaar opgeteld. De wortel uit deze som geeft weer de fractie oftewel de relatieve standaardfout.

Voorbeeld: het vermenigvuldigen van het gelode volume met de droge dichtheid om van kuubs naar 'tonnen droge stof' om te rekenen.

Toepassing van deze regels leidt bijv. tot de volgende formule voor de absolute fout van de totaal gestorte massa.

Absolute fout gestorte massa (TDS) =

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n \left\{ \left(\frac{\text{relatieve fout in beunvolume}_i}{100} \right)^2 + \left(\frac{\text{relatieve fout in droge dichtheid}}{100} \right)^2 \right\} *}$$

$$\left\{ (\text{Baggervolume}_i \text{ (m}^3\text{)}) * (\text{droge dichtheid (TDS.m}^{-3}\text{)}) \right\}^2$$

Op overeenkomstige wijze zijn de formules voor de standaardfout opgesteld voor de andere formules.

Overzicht gebruikte standaardfouten

In Tabel 20-14 staan de standaardfouten die gebruikt zijn voor de berekening van de standaardfout in de massa en het wegstroompercentage.

Tabel 20-14 Gebruikte standaardfouten

Relatieve fout beun DZH	Relatieve fout beun GHR	Fout diepte-bepaling	Relatieve fout droge dichtheid	Slibbepaling
%	%	m	%	%
20	30	0,14	6,8	7,5

De onderliggende foutenbronnen hebben een verschillende invloed op de uiteindelijke standaardfout van het wegstroompercentage.

De fouten in de beuninhoud hebben, hoewel ze per reis een grote waarde hebben, uiteindelijk maar een geringe invloed op de standaardfout van het wegstroompercentage. De fout in de dieptebepaling en de fout in de droge dichtheid daarentegen hebben wel een grote invloed.

De fout, die geïntroduceerd wordt door de lodingen, wordt deels geëlimineerd door gebruik te maken van verschilmetingen. Zo wordt de resterende massa op de bodem van de loswal berekend door het verschil te bepalen tussen het bodemvolume op verschillende tijdstippen ná het storten en het volume vóór het storten.

Bij de berekeningen voor de foutenschatting is aangenomen dat de foutenbronnen onafhankelijk van elkaar zijn en dat de kansverdeling van deze fout gauss-vormig is. Voor de berekening van de totale fout (onder fout wordt de standaardfout bedoeld) van een variabele kunnen derhalve de afzonderlijke absolute of relatieve fouten worden gekwadrateerd, opgeteld en vervolgens kan van deze som de wortel worden genomen zodat het kwadraat van de absolute waarde of van de relatieve fout bij elkaar mogen worden opgeteld.

Aangezien we hebben aangenomen dat de fout gauss-vormig of normaal verdeeld is kunnen we aannemen dat het 68% betrouwbaarheidsinterval van de waarde van de variabele verkregen wordt uit het interval 'waarde \pm absolute fout'.

Rijkswaterstaat heeft onderzoek laten verrichten naar de verontreinigingsgraad van het bodemmateriaal op en rond de oude Loswal Noord en de nieuwe Loswal Noordwest door het 'Instituut voor Milieuvraagstukken' van de Vrije Universiteit van Amsterdam.

De locaties en de referentielocaties waar monsters zijn genomen, staan weergegeven in Figuur 10-1. De aantallen monsters voor iedere locatie staan in Tabel 20-15.

In juni 1996, juli/augustus 1997 en juli/augustus 1998 zijn resp. 30, 27 en 27 monsters genomen met een boxcore en geanalyseerd. De monstername vanaf het meetschip de *M/TRA* van Directie Noordzee kostte in elk jaar 5 bootdagen. In de monsters werden de volgende de volgende korrelgrootteverdelingen bepaald: <2 µm, <16 µm, 63 µm, de hoeveelheid organisch koolstof en kalk. Daarnaast werd eveneens uit het volledige sediment de fractie kleiner dan 63 µm afgescheiden. In deze fractie werden de chemische analyses uitgevoerd conform de standaardmethoden van RIKZ. In het sediment werden de zware metalen cadmium, kwik, lood, koper, zink, chroom en nikkel en de organische microverontreinigingen PCB (7 stuks), PAK's (13 stuks) en tinverbindingen (9 stuks) waaronder tributyltin bepaald.

De gemeten resultaten voor de zware metalen worden omgerekend naar standaardomstandigheden volgens de formules van Smedes (1997). De standaardbodem bevat 25 % lutum (= klei, fractie kleiner dan 2 µm) en 10 % organisch koolstof. De formule luidt:

$$C_{stb} = \frac{C_m - z}{0,02 \cdot L_m + 0,05 \cdot OS_m} + z$$

In deze formule zijn

- C_{stb} het gestandaardiseerde metaalgehalte
- C_m het gemeten metaalgehalte
- L_m het gemeten lutumgehalte
- OS_m het gemeten organisch stofgehalte

Alle gehalten zijn bepaald in dezelfde fractie.

Het percentage organische stofgehalte is berekend door het gemeten organisch koolstofgehalte te vermenigvuldigen met 2,2, overeenkomstig een koolstofgehalte van 45 %. Verder is gebruik gemaakt van de volgende z-waarden: cadmium, 0,03; kwik, 0; lood, 2; koper, 1; zink, 8; chroom, 13; en nikkel, 2,5 µg/g. Bij een gering gehalte aan lutum (< 10 %) zijn de gestandaardiseerde gehalten minder betrouwbaar (Smedes, 1997).

Voor organische verbindingen en organotin vindt standaardisatie plaats naar een standaardbodem met 10 % organisch stof (OS). De standaardisatieformule heeft de volgende vorm:

$$C_{stb} = 10 \times C_m / OS_m$$

In deze formule is C_{stb} het genormeerde gehalte organische verbinding en zijn C_m en OS_m respectievelijk het gemeten gehalte organische verbinding en het gemeten organisch stofgehalte (beide bepaald in dezelfde fractie).

De resultaten zijn gerapporteerd in Ariese et al. (1996), Ariese et al. (1997) en Ariese et al. (1998).

Tabel 20-15 Meetprogramma verontreinigingsgraad sediment

Locatie	Code	Aantal monsters		
		juni 1996	juli/ augustus 1997	juli augustus 1998
Loswal NW 29	0-C	1	1	1
dwarsraai 0	0-A, 0-E	2	2	2
dwarsraai 1000	1-A, 1-C, 1-E	3	3	3
dwarsraai 2000	2-A, 2-C, 2-E	3	3	3
dwarsraai 3000	3-A, 3-C, 3-E	3	3	3
dwarsraai 5000	5-A, 5-C, 5-E	3	3	3
dwarsraai 8000	8-C	1	1	1
Referentie 4	A,B,C,D,M	5	5	5
Loswal Noord 53	A,B,C,D,M	5	5	5
Referentie 1		1	1	1
Beneluxhaven		1		
Totaal		30	27	27

Aantal sedimentmonsters dat op de aangegeven locaties van Loswal Noord, Noordwest en de referentielocaties is genomen in 1996, 1997 en 1998. Dwarsraai 1000 etc: raai op afstand van 1000 m van raai door stortvak 29; A-C-E: dwarsraai-aanduiding, zie Figuur 10-1 Referentie 4 en Loswal Noord vak 53, A,B,C,D,M: meetlocaties binnen het vak (in DONAR staan alle coördinaten)

De locaties zijn zo gekozen dat, behalve de stortplaatsen, ook locaties in de richting van de reststroom (noordoostelijk) zijn onderzocht. Voor de oude Loswal Noord zijn dat Vak 53 en het gebied Ref-1. Voor de nieuwe Loswal Noordwest zijn dat de punten langs de dwarsraaien 0 tot en met 8. Locatie Ref-4 doet dienst als referentiepunt.

In de sedimentmonsters werden de bepalingen uitgevoerd, zoals getoond in Tabel 20-16.

Tabel 20-16 Bepalingen verontreinigingsgraad sediment

Matrix / Fractie	Bepaling	Nadere aanduiding
Totaal sediment	korrelgrootte fracties	<2µm, 2µm < 16 µm en 16 µm < 63µm
Fractie < 63 µm	Percentage droge stof	
	fractie <2 µm	
	Carbonaat	
	Organisch koolstof	
	Zware metalen	cadmium (Cd), kwik (Hg), lood (Pb), koper (Cu) chroom (Cr), nikkel (Ni)
	Poly Chloor Bifenylen (PCB)	congeneren (IUPAC no's) 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180
	Poly Cyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK)	16 componenten van de EPA lijst
	Organotinverbindingen	tributyltin, trifenyln

De korrelgroottebepalingen en de microverontreinigingen die in de fractie < 63 µm werden uitgevoerd in het sediment van Loswal Noord en Noordwest.

Op de volgende wijze zijn de verontreiniging in zeesterren, de bio-assays in sediment en de biomarkers in zeesterren uitgevoerd.

Verontreiniging in zeesterren

De weefselbelasting met microverontreinigingen, mogelijk toxische effecten van het sediment van Loswal Noord, ziekte en sterfte van vissen en biochemische parameters zullen onderzocht worden. Verwacht wordt dat hier ecotoxicologische effecten zichtbaar zullen zijn.

Door het instituut *AquaSense* zijn in juni 1996 zeesterren verzameld met een boomkor van 4 meter breed. Direct daarna werd de maagblindweefselzak (*Caeca pyloria*) uitgeprepareerd (Anonymous, 1996c). Monsters werden genomen op Loswal Noord en de toekomstige Loswal Noordwest en twee referentielocaties, Ref-1 en Ref-4. De locaties staan aangegeven in Figuur 11-1.

In de zeester *Asterias rubens* zijn de gehalten aan zware metalen en organische microverontreinigingen, PCB, organische koolwaterstoffen, trifenyltin en tributyltin bepaald. De onderzochte verbindingen en congenen staan in Tabel 20-17.

Tabel 20-17 Onderzochte verbindingen in zeesterren

Klasse van verbindingen	Verbinding / congenen
Zware metalen	cadmium, kwik, lood, koper, zink, chroom, nikkel
PCB (Poly Chloor Bifenylen)	28, 52, 101, 118, 138, 153 en 180
PAK (Poly cyclische Aromatische Koolwaterstoffen)	naftaleen, acenaftyleen, acenaften, fluoreen, fenantreen, antraceen, fluoranteen, pyreen, benzo(a)antraceen, chryseen, benzo(b)fluoranteen, benzo(k)fluoranteen, benzo(a)pyreen, dibenzo(a,h)antraceen, benzo(ghi)peryleen en indeno(1,2,3-cd)pyreen.
Alkyltin-verbindingen	MBT-pe, DBT-pe, TBT-pe, MPT-pe, DPT-pe, TPT-pe, DCT-pe, TCT-pe en FBTO-pe M = mono ; D = di ; T = tri ; F = fenbuta B = butyl ; P = propyl ; C = cyclohexyl T = tin ; O = oxide; pe = ??

De onderzochte verbindingen en congenen in het weefsel van zeesterren van Loswal Noord

Bio-assays met sediment

Rijkswaterstaat heeft onderzoek laten verrichten naar de sterfte van verschillende organismen die werden blootgesteld aan sediment afkomstig van Loswal Noord en referentielocatie Ref-4. Voor de locaties zie Figuur 11-1.

- De gebruikte organismen zijn de zeeklit *Echinocardium cordatum*, de slijkgarnaal *Corophium volutator*, het knipsprietkreeftje *Bathyporeia sarsi* en het raderdier *Brachionus plicatilis*. De toxiciteitstesten worden uitgevoerd met gehomogeniseerd totaal sediment behalve die voor het raderdier, die werden uitgevoerd met poriewater. De bodemonsters zijn genomen in december 1995 (Anonymous, 1996-c).
- Het sterftepercentage van amphipoden en het percentage dode en misvormde oesterlarven is bepaald. De oesterlarven werden blootgesteld aan zeewater, waarmee het sediment geëxtraheerd is. Zo wordt een

voorspelling verkregen van effecten die door het baggeren (opwervelen) en terugstorten van specie kunnen worden veroorzaakt.

De amphipodentest is uitgevoerd met gehomogeniseerd sediment. De amphipode *Bathyporeia sarsi* is gekozen omdat deze naar verwachting het meest geschikt was voor het testen van de zandige monsters uit het loswalgebied. De sedimentmonsters zijn genomen in juli 1993 (Anonymous, 1993-a).

Biomarkers in zeesterren

De zeesterren zijn verzameld zoals hierboven beschreven onder 'Verontreiniging in zeesterren'.

De volgende biomarkers zijn bepaald:

- cytochroom P₄₅₀-gehalte
Het gehalte aan dit enzym stijgt als het organismen toxische stoffen afbreekt.
- benzo(a)pyreen-hydroxylase activiteit
Het gehalte aan dit enzym stijgt als benzo(a)pyreen wordt afgebroken.
- acetylcholine esterase remmer
Verschillende bestrijdingsmiddelen remmen de werking van het enzym acetylcholine esterase
- Calux DRE
Het acroniem CALUX DRE staat voor chemical activated luciferase expression - dioxine related effects. Bij een test met CALUX DRE wordt een snelle schatting gemaakt voor de toxische potentie van dioxines en stoffen die hier qua werking op lijken. Deze stoffen zijn Arylhydrocarbonreceptor (AhR)-actieve componenten die binden aan de Ah receptor en deze activeren.
- DNA integriteit
Wanneer de concentratie van mutagene stoffen zo hoog is dat er echte schade ontstaat bij het DNA, moeten organismen deze repareren. Tot een bepaald niveau van schade is dat mogelijk en is het proces omkeerbaar. Bij hogere of langdurig blootstelling kan het organisme niet meer repareren en zal er een niet-omkeerbare schade aan het DNA worden aangericht. Deze schade wordt met deze biomarker bepaald.
De 'alkaline unwinding' essay wordt gebruikt om vast te stellen hoeveel strandbreaks in het DNA van een bepaald monster voorkomen. Daartoe worden drie karakteristieken bepaald, namelijk:
 - 1) de hoeveelheid dubbelstrengs-DNA (ds) d.m.v. kleuring
 - 2) de binding van het kleurreagens aan enkelstrengs-DNA (ss)
 - 3) de hoeveelheid dubbelstrengs-DNA na splitsing onder gecontroleerde omstandigheden (au).

Het onderzoek naar het macrobenthos, zoals beschreven in hoofdstuk 12, is uitgevoerd door het instituut AquaSense. Macrobenthos zijn dierlijke organismen groter dan 1 mm, zoals garnalen en borstelwormen. Het veldonderzoek werd uitgevoerd vanaf de RV MITRA en SMAL AGT. Er werd bemonsterd met een boxcore (binnenoppervlak van 6,8 dm²). Omdat 6 boxcores het minimum areaal bleek te zijn dat nodig was voor een verantwoorde statistische verwerking zijn per locatie 10 monsters met de boxcore genomen in een gebied van 20 bij 20 m. De boxcore penetreerde tot op 30-50 cm diepte in de bodem.

De monsterlocaties en de aantallen monsters staan in Figuur 12-1 en Tabel 20-18.

Het macrobenthos werd verkregen door te zeven over een vierkante zeef met ronde gaten van 1 mm.

Monsterlocaties

Loswal Noord

Vak-53 (500 x 500 m) behoort tot het meest recente stortvak op Loswal Noord waar nog Rotterdams baggerspecie is gestort (tot juli 1996). De stortingen op Vak-53 vonden plaats tot en met juni 1996. Binnen Vak53 lag station N5. In 1995 werd deze stortlocatie vergeleken met 4 andere locaties (N1 t/m N4) binnen het Loswal Noord gebied. Van 1996 tot en met 1999 werden naast station N5 alleen N1 en N4 bemonsterd.

Loswal Noordwest

De centrale locatie van waaruit een net van locaties werd geprojecteerd voor de bemonstering van het stortgebied Loswal Noordwest werd gevormd door Vak29. Dit vak was het eerste dat aangewezen was voor stortingen vanaf 1 juli 1996. Vanuit dit perceel werd een as uitgezet in de veronderstelde richting van de reststroom met daarop een vijftal stations (0C t/m 5C) op 0, 1, 2, 3, 5 en 8 km afstand. Daarnaast werd in beginsel een tweetal referentiestationen (Ref-4 en NW4) bemonsterd. In 1995 en 1996 week het bemonsteringspatroon wat af. Zie hiervoor Tabel 14.2.

Voor de bemonstering en verwerking van het sediment zie bijlage 5, § 5.1.1b) en 6.1.1b).

Analyse

De organismen werden, indien mogelijk, tot op soortniveau gedetermineerd. De biomassa van de afzonderlijke soorten werd verkregen door het asvrijdrooggewicht (in g.m⁻²) te bepalen. Hiertoe werden de monsters minimaal 3 dagen gedroogd bij 70 °C en vervolgens 4 uur verast bij 520 °C.

De bodemgemeenschappen werden gekarakteriseerd door het aantal soorten, het aantal individuen per soort en de biomassa. Verder werden 'clusters' bepaald. De reden is als volgt. Omdat de omvang van het onderzoek het onmogelijk maakt om de onderzoeksresultaten van organismensoorten per jaar en per locatie te bespreken, wordt op de volgende manier een ordening in de meetresultaten aangebracht. Er worden groepjes gevormd van locaties die

Tabel 20-18. Monsternamen Macro-benthos

Loswal	Monsterperiode	4-6 december 1995	17-25 juni 1996	28 juli - 1aug. 1997 20-21 juli 1998 5-6 juli 1999
Loswal Noord	aantal monsterlocaties	5	2	3
	codes locaties	N1 N2 N3 N4 N5	N4b (=N4) N5b (=N5)	N1 N4 N5
	aantal monsters per locatie	10 (N4: 20)	10	10
Loswal Noordwest	aantal monsterlocaties	6	6	7
	codes locaties	NW1 (=0C) NW2 (=2C) NW3 NW4 NW5	0C 1C 2C 3C 5C R4	0C 1C 2C 3C 5C R4 NW4
	aantal monsters per locatie	10 (NW3: 20)	10	10

Monsternamen AquaSense 1995 tot en met 1999. Locaties en aantal macrobenthosmonsters. Op de vetgedrukte locaties was recent baggerspecie gestort.

overeenstemmen wat het voorkomen van soorten betreft. Deze groepjes van locaties worden **clusters** genoemd.

De clusteranalyses gebeurde met behulp van het programma CLUSTAN1C2 met niet getransformeerde data. Bij deze clustering werd gebruik gemaakt van de Bray-Curtis coëfficiënten uit de 'average linkage' methode. Na de normale analyse werd een inverse analyse uitgevoerd met behulp van het programma SRTORD. Deze analyse verschaft inzicht in de kwantitatieve samenstelling van de clusters. Karakteristieke soorten zijn onderscheiden op een concentratieniveau van 90 %. Dit betekent dat 90 % van de totale hoeveelheid van een soort zich binnen één cluster bevindt. Zowel karakteristieke als dominante soorten (gemiddeld 4 of meer per boxcore binnen één cluster) moeten een presentieniveau van minimaal 66,7 % binnen de locaties van een cluster bereiken hebben. Karakteristieke soorten beperken zich tot één cluster, terwijl dominante soorten in meerdere clusters voorkomen.

Clusters worden als volgt gedefinieerd. Als locaties in voldoende mate overeenstemmen qua soortensamenstelling en aantal organismen, zoals bepaald in een statistische toets, mogen deze locaties worden samengenomen tot een *cluster*.

Voor details betreffende de bemonstering en analyse wordt voor 1995/1996, 1997, 1998 en 1999 verwezen naar respectievelijk De Kluijver *et al.* (1996), De Kluijver *et al.* (1997) De Kluijver en Van Nieuwenhuizen (1998) en De Kluijver *et al.* (2000).

Het onderzoek naar het megafauna werd uitgevoerd door het NIOZ. Megafauna zijn dierlijke organismen, groter dan 10 mm en bestaat o.a. uit megabenthos, zeesterren, schelpdieren en vissen. Het veldonderzoek werd uitgevoerd vanaf de RV MITRA van Directie Noordzee. Er werd bemonsterd met de Triple-D bodemschaaf (Bergman & Santbrink 1994). Deze schaaaf is uitgerust met een mes van 20 cm breed dat tot een diepte van 10 cm in de bodem steekt en voorzien is van een vangnet met een maaswijdte van 7 x 7 mm (14 mm gestrekt). De schaaftrekken werden in de stroom gevaren met een snelheid van circa 6 km per uur (3 knopen). De trek lengten varieerden van 80 tot 200 m. De monsterlocaties en de aantallen monsters staan in figuur 14.2 en tabel 14.3.

De vangsten werden aan boord gesorteerd en alle megabenthos individuen inclusief de vissen werden op 5 mm opgemeten.

Monsterlocaties

Loswal Noord

Vak53 (500 x 500 m) behoort tot de meest recente op Loswal Noord waar nog baggerspecie is gestort (tot juli 1996). Deze locatie werd vergeleken met een zevental andere locaties die geacht werden meer of minder door de stortingen te zijn beïnvloed.

Locatie Ref-1 was een locatie binnen Loswal Noord waar recent geen stortingen meer hebben plaatsgevonden. De locaties Ref-2, Ref-3 en Ref-5 liggen buiten het stortgebied, maar op zodanige afstanden (2 tot 4 km) dat een zekere mate van beïnvloeding bij voorbaat niet kan worden uitgesloten. De locaties Ref-4, Ref-6 en vak 29 lagen op dusdanige afstanden van Loswal Noord (7 tot 12 km), dat verondersteld werd dat deze buiten de invloedssfeer daarvan lagen. Locatie vak29 is een perceel in het nieuwe stortgebied Loswal Noordwest, dat vóór de aanvang van de stortingen in juli 1996 nog als referentielocatie functioneerde voor Loswal Noord.

Op al deze locaties werd een sjabloonbemonstering uitgevoerd, dat wil zeggen 5 parallelle schaaftrekken op een onderlinge afstand van 80 m.

Loswal Noordwest

De centrale locatie van waaruit een net van locaties werd geprojecteerd voor de bemonstering van het stortgebied Loswal Noordwest werd gevormd door vak 29. In dit vak werden de eerste stortingen uitgevoerd (zie onder). Vanuit vak 29 werd een as uitgezet in de veronderstelde richting van de reststroom met daarop dwarsraaiën op 0, 1, 2, 3, 5 en 8 km afstand. Op iedere dwarsraai werden 5 locaties gekozen, waarvan 1 op het kruispunt met de centrale as, 2 aan de zuidkant en 2 aan de noordkant hiervan, op 1 en 2 km afstand. Van 1997 tot en met 1999 werd ook nog een schaaftrek gedaan op locatie -1C, op 1 km van Vak-29 tegen de reststroomrichting in. De codering van de stations staat in Figuur 12-2.

In Vak-29 werd telkens een sjabloonbemonstering van 5 schaaftrekken uitgevoerd. Op de overige locaties van Loswal Noordwest werd een enkelvoudige schaaftrek gedaan.

In Vak29 werden de eerste stortingen uitgevoerd vanaf 1 juli 1996 tot en met medio juni 1998. Direct daarna werd een vak 1 km oostelijker (bij 1C) in gebruik genomen.

Voor de bemonstering en verwerking van het sediment zie § 5.1.1 en § 6.1.1.

Tabel 20-19 Monsternamen Megafauna

Loswal	Monsterperiode	Standaard bemonstering	Afwijking standaard bemonstering			
			10-20 juni 1996	laatste 2 wk. juli 1997	eerste 2 wk. juli 1998	2 ^e & 4 ^e wk. juni 1999
Loswal Noord	aantal monsterlocaties	7				
	codes locaties	V53 Ref-1 t/m Ref-6	V29 ook referentie			
	aantal schaaftrekken per locatie	5				
	sedimentmonsters (1 per schaaftrek)	35				
Loswal Noordwest	aantal monsterlocaties	30		31	31	31
	codes locaties	Vak29 (=0C) 0A, 0B, 0D, 0E; 1A t/m 1E; 2A t/m 2E; 3A t/m 3E; 5A t/m 5E; 8A t/m 8E		-1C	-1C	-1C
	aantal schaaftrekken per locatie	Vak29: 5 overige locaties: 1				
	sedimentmonsters (1 per schaaftrek)	34		35	35	35

Monsternamen NIOZ 1996 tot en met 1999. Locaties en aantal megafaunamonsters

Analyse

Verschillen tussen en overeenkomsten in faunasamenstelling op de locaties werden gekwantificeerd op basis van de Bray-Curtis index voor de mate van gelijkenis (%). De index werd berekend op basis van $\sqrt{}$ -getransformeerde soortspecifieke dichtheden. De formule luidt:

$$BI_{ik} = \frac{2 \sum_{j=1}^S \min(x_{ij}, x_{kj})}{\sum_{j=1}^S (x_{ij} + x_{kj})}$$

Hierin is:

- BI_{ik} de indexwaarde voor de gelijkenis tussen de stations i en k
- x_{ij} de $\sqrt{}$ -getransformeerde dichtheid van de j-de soort op station i
- x_{kj} de $\sqrt{}$ -getransformeerde dichtheid van de j-de soort op station k
- S het totale aantal gevonden soorten

De Bray-Curtis index varieert van 0 % (geen gelijkenis) tot 100 % (identieke monsters).

Voor details betreffende de bemonstering en analyse wordt voor 1995/1996, 1997, 1998 en 1999 verwezen naar respectievelijk Daan *et al.* (1997, 1998, 1999 en 2000).

De stuurgroep '*Baggeren 2000*', later '*Baggerdriehoek*' heeft het initiatief genomen tot het beantwoorden van de vragen die in het Milieu-effectrapport "*Een nieuwe Loswal Noord voor het lossen van baggerspecie in zee? Verplaatst of verdiept?*" gesteld werden. De leden van deze stuurgroep waren afkomstig van het Gemeente Havenbedrijf Rotterdam en van directie Zuid-Holland en directie Noordzee van Rijkswaterstaat.

De coördinatie c.q. uitvoering van de werkzaamheden vond plaats bij het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) van Rijkswaterstaat binnen het project *Monitoring Alternatieve Loswallen* (MAL). In 1995 en 1996 heette het project SLURP*MER. De begeleiding van dit project was in handen van de 'werkgroep monitoring', meestal aangeduid als 'werkgroep MAL', waarvan de leden afkomstig waren van het Gemeente Havenbedrijf Rotterdam en van Rijkswaterstaat de onderdelen directie Zuid-Holland, directie Noordzee van Rijkswaterstaat en het RIKZ.

Een deel van de werkzaamheden werd uitbesteed aan de volgende instituten:

AquaSense	Onderzoek naar macrobenthos
Aquavision	Modelberekeningen naar retourstroompercentage
Bureau Waardenburg en Ecosub	Samenvatting van het biologieonderzoek
Instituut voor Milieuvraagstukken van de Vrije Universiteit	Onderzoek naar de vervuilingsgraad van het sediment
Kernfysisch Versneller Instituut (KVI)	Radiometrische kartering
MEDUSA (opvolger van KVI)	Radiometrische kartering
Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen (NITG/TNO)	Steekboringen voor bepaling dichtheidsmetingen en korrelgrootteanalyse
Nederlands Instituut voor onderzoek der Zee (NIOZ)	Onderzoek naar megafauna
Waterloopkundig Laboratorium	Metingen slib- en waterstromen op Loswal Noordwest
Laboratorium Zeeland-Walcheren	Voorbehandeling korrelgrootteanalyse

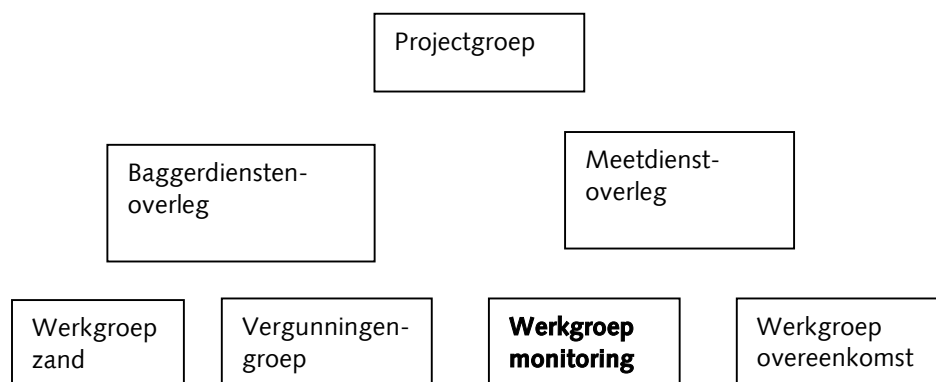
Scheepscapaciteit werd beschikbaar geteld door Directie Noordzee met het Ms. *MITRA* en door Directie Zuid-Holland. De voorbehandeling van de bodemonsters vond plaats bij 'Laboratorium Zeeland-Walcheren' en de korrelgrootteanalyse werd uitgevoerd door het laboratorium van het RIKZ in Middelburg.

De meetdienst van Directie Zuid-Holland verrichte dichtheidsmetingen met een γ -sonde.

Het project MAL is medio 1995 begonnen en is in 2002 afgerond voor de oude Loswal Noord en de verplaatste Loswal Noordwest. Het onderzoek naar de Verdiepte Loswal zal naar verwachting tot 2005 doorlopen.

De organisatiestructuur van de 'Baggerdriehoek' was, op hoofdlijnen, als volgt:

Figuur 20-8 Organisatiestructuur 'Baggerdriehoek'



De personele samenstelling van de verschillende groepen was als volgt:

**Stuurgroep
Baggerdriehoek
(voorheen Baggeren
2000)**

I.K. Deibel	Gemeente Havenbedrijf Rotterdam		
F.J.M. Draaisma	Directie Noordzee		tot januari 2000
A. Noordijk	Gemeente Havenbedrijf Rotterdam	vanaf april 1999	
M. Reinking	Directie Noordzee	vanaf mei 2002	
T. Vellinga	Gemeente Havenbedrijf Rotterdam	voorzitter	
H. Versteeg	Directie Noordzee	vanaf jan. 2000	
J.M. Versteegen	Directie Noordzee		tot augustus 2001
A. van der Wekken	Directie Zuid-Holland		
J.W. Zwakhals	Gemeente Havenbedrijf Rotterdam		tot april 1999

**Werkgroep
monitoring (MAL)**

I. Akkerman	Directie Noordzee		tot december 2000
T. van Brummelen	Directie Noordzee	voorzitter vanaf november 1998	tot november 1999
I. Deibel	Gemeente Havenbedrijf Rotterdam	vanaf sept. 2000	
W. van Gorsel	Directie Zuid-Holland		tot maart 1999
F. Groenendijk	RIKZ	projectleider en voorzitter	tot juli 1998
J. Mol	Directie Zuid-Holland	voorzitter vanaf november 1999	
P. Mollema	Gemeente Havenbedrijf Rotterdam		tot september 2000
H. Ooms	Directie Zuid-Holland	vanaf maart 1999	tot september 1999
A. Stolk	Directie Noordzee	vanaf oktober 1999	
J. Stronkhorst	RIKZ		tot juni 1998
Sandeh Stutterheim	RIKZ	projectleider vanaf juli 1998	

Het plan was om hier een lijst van alle medewerkers van het project MAL te vermelden. Naar schatting zijn ruim honderd personen direct bij de totstandkoming betrokken geweest. Maar wie wel en wie niet vermelden? Wel de meetleider op de boot, maar niet zijn medewerkers? Wel de complete meetploeg, maar niet de vaarploeg? Bij elke namenlijst zouden vele arbitraire keuzes gemaakt zijn. Verder bestaat het gevaar dat ik wel directe collega's vermeld maar niet de mensen op grotere afstand waarvan ik de namen niet ken.

Dit alles heeft mij doen besluiten geen namenlijst op te nemen, maar op deze bladzij mijn dank uit te spreken voor de inzet van velen, zonder wier bemoeienis dit rapport nimmer het licht had gezien.

Maar omdat het hemd toch nader dan de rok is, wil ik hier twee collega's noemen. Ten eerste Joop Groos die het rekenwerk uitvoerde in gigantische spreadsheets met alle rekenresultaten en in de tweede plaats Harry van Reeken die alle prachtige plaatjes gemaakt heeft en nooit moe werd om mijn steeds veranderende inzichten grafisch weer te geven.

ADCP	Acoustic Doppler Current Profile - apparaat om de stroomsnelheid te meten
AS	Het instituut AquaSense dat benthische infauna (> 1 mm) onderzocht heeft.
asvrij-drooggewicht	Gewicht van weefsel zonder water en zouten, gebruikt als basis voor de kwantificering van de lichaamsbelasting met stoffen.
AVDG	Asvrij-drooggewicht
benthische infauna	Dieren die in de bodem leven. In dit rapport bodemdieren groter dan 1 mm.
cluster	Een groep (verzameling) monsterlocaties die overeenstemming qua soortensamenstelling van de onderzochte organismen.
community niveau	Gemeenschapsniveau
epifauna	Dieren die vlak boven de bodem leven. In dit rapport bodemdieren groter dan 1 cm.
fauna	Samenvattende benaming voor dieren die in een bepaald gebied leven.
gestandaardiseerd gehalte	Het gemeten gehalte zware metalen en organische microverontreinigingen wordt omgerekend naar een 'standaardbodem'. Deze bodem bevat 25 % klei en 10 % organisch koolstof. Zie voor de omrekenformules § 5.2.1.
habitat	Woonplaats van een soort gekenmerkt door specifiek abiotische omstandigheden.
klei	Minerale fractie, met een diameter kleiner dan een zekere waarde. In dit rapport wordt een grens van 16 µm aangehouden. Het IvM gebruikt als grens: < 2 µm Het KVI gebruikt als grens < 16 µm
KVI	Kernfysisch Versneller Instituut. Verzorgde de radiometrische karteringen.
loslocatie	Locatie in de Noordzee waar baggerspecie wordt gestort, dus een loswal, stortlocatie, stortperceel of stortvak.
loswal	Plek in de Noordzee waar baggerspecie uit de vaargeul naar en uit de haven van Rotterdam gestort wordt. In dit rapport is sprake van drie loswallen: de oude <i>Loswal Noord</i> , de nieuwe of verplaatste <i>Loswal Noordwest</i> en de <i>Verdiepte Loswal</i> . De loswallen hebben een oppervlak van enkele vierkante kilometers.
Loswal Noord	De oude loswal op 5 km afstand ten noordwesten van Hoek van Holland waar vanaf 1961 tot juni 1996 baggerspecie uit het Rijnmondgebied is gestort.
Loswal Noordwest	De nieuwe loswal op 8,5 km ten noorden van de oude Loswal Noord waar vanaf juni 1996 baggerspecie uit het Rijnmondgebied is gestort.
lutum	Minerale fractie kleiner dan 2 µm
MAL	Monitoring Alternatieve Loswallen. In het kader van dit project is dit rapport opgesteld.
MER	Milieu-effectrapport

NIOZ	Het instituut Nederlands Instituut Onderzoek der Zee dat epibenthos (> 1 cm) onderzocht heeft.
radiometrische kartering	Meetmethode waarbij met een radioactieve sensor de natuurlijke radioactiviteit van de bodem wordt gemeten. Hiermee wordt de bodemsamenstelling in zand, silt en klei vastgesteld.
referentielocatie	Locatie die verondersteld wordt gelijk te zijn aan de locatie die bestudeerd wordt, op de onderzochte factor na.
retourpercentage	De hoeveelheid van de gestorte baggerspecie die vanaf de loswal weer terugstroomt naar vaargeul en havengebied. Zie Figuur 4-2.
retourstroom	De stroming vanaf de loswal terug naar de vaargeul en havengebied van Rotterdam.
silt slib	Minerale fractie tussen 16 µm en 63 µm Het woord 'slib' wordt in dit rapport gebruikt als licht materiaal dat gemakkelijk door het water wordt getransporteerd. Daarnaast bestaan de volgende definities: 1) Een door water in suspensie meegevoerde of daaruit bezonken deeltjes vaste stof. 2) Een fractie van het sediment (=bodemmateriaal) met een korrelgrootte die kleiner is dan een bepaalde grens. Gebruikte grenzen: AS < 53 µm lvM < 63 µm KVI < 63 µm NIOZ < 16 µm Kleine slibfractie NIOZ < 63 µm Grof slib 3) Als het woord slib in de tekst van dit rapport wordt gebruikt om een bepaalde fractie aan te duiden, dan wordt de grens van de korrelgrootte aangegeven in subscript.
soort	Populatie van organismen die in staat zijn eenzelfde nageslacht voor te brengen en die taxonomisch kunnen worden geïdentificeerd.
stortlocatie	Zie stortvak
stortperceel	Zie stortvak
stortvak	Elke loswal is ingedeeld in vakken van 500 x 500 m waar de baggerspecie gestort wordt.
stroomafwaarts	In de richting van de reststroom. In feite is deze term in zee onjuist.
stroomopwaarts	Tegengesteld aan de richting van de reststroom.
UGT	Uniforme Gehalte Toets
Uniforme Gehalte Toets	Norm waaraan de gehalten zware metalen en organische microverontreinigingen moeten voldoen om in de Noordzee gestort te mogen worden.
wegstroompercentage	Toestemming tot storten wordt per havenvak gegeven. De hoeveelheid van de gestorte baggerspecie die vanaf de loswal wegstroomt zonder dat bekend is waarheen. Het wegstroompercentage is groter dan of gelijk aan het retourpercentage. Zie Figuur 4-2.
WVZ	Wet Verontreiniging Zeewater
zand	Minerale fractie, met de volgende grenzen: KVI 63 µm < d < 2 mm

zuid-fractie

De fractie van het slib_{< 63µm} dat in de zuidelijke sector van het surveygebied van de radiometrische kartering rondom Loswal Noordwest ligt.

Tabel 4-1	Lot van de baggerspecie op Loswal Noord	60
Tabel 5-1	Dichtheid van Loswal Noord	69
Tabel 5-2	De berekende retourpercentages van Loswal Noord en Loswal Noordwest.....	79
Tabel 6-1	Dichtheid en slibgehalte op Loswal Noordwest	95
Tabel 6-2	Gecorrigeerde restmassa slib _{< 63 µm} rondom Loswal Noordwest	100
Tabel 6-3	Afname baggerinspanning	102
Tabel 6-4	Gestorte hoeveelheid baggerspecie op Loswal Noordwest	109
Tabel 6-5	De volumetoename op Loswal Noordwest (zand plus slib)	109
Tabel 6-6	De massatoename op Loswal Noordwest (totaal en slib)	112
Tabel 6-7	Gebruikte foutenbronnen en hun standaardfouten	112
Tabel 6-8	Wegstroompercentage van baggerspecie (zand + slib) en standaardfout op Loswal Noordwest.....	114
Tabel 6-9	Wegstroompercentage en standaardfout van slib _{< 63 µm} op Loswal Noordwest.....	119
Tabel 6-10	Berekende slibverdeling over de verschillende gebieden na een storm	127
Tabel 7-1	Overzicht van de retour- en wegstroompercentages	129
Tabel 8-1	De gemiddelde momentane stroomsnelheid op vak 27 van Loswal Noordwest.....	133
Tabel 8-2	Percentage van de totale flux naar de verschillende richtingen	135
Tabel 9-1	De foutenschatting van de radiometrische kartering.....	143
Tabel 9-2	Massabalans Loswal Noordwest.....	143
Tabel 10-1	Monsterlocaties stroomopwaarts en stroomafwaarts	156
Tabel 10-2	Loswallen voldoen aan de milieunorm	159
Tabel 11-1	Ecotoxicologie Loswal Noord	165
Tabel 12-1	Terminologie Macrobenthos en Megafauna	169
Tabel 12-2	Clusters in 1995 en 1996.....	170
Tabel 12-3	Macrobenthos in december 1995 en juni 1996.....	176
Tabel 12-4	Macrobenthos in juni 1997.....	177
Tabel 12-5	Macrobenthos in juni 1998.....	179
Tabel 12-6	Macrobenthos in juni 1999.....	181
Tabel 12-7	Verdeling monsterlocaties over de verschillende clusters	184
Tabel 12-8	Dominante soorten in de macrobenthosclusters	185
Tabel 20-1	Algemene vraagstukken uit het MER.....	252
Tabel 20-2	Specifieke 'Loswal Noord' vraagstukken uit het MER.....	253
Tabel 20-3	Vraagstukken gerelateerd aan loswal alternatieven uit het MER.....	253
Tabel 20-4	Praktijkproef met de verplaatste Loswal Noordwest.....	254
Tabel 20-5	Toetsingsadvies over het milieu-effectrapport over een nieuwe Loswal voor het storten van baggerspecie in zee	254
Tabel 20-6	Meetresultaten troebelheidsonderzoek	257
Tabel 20-7	Opnamedata lodingen.....	260
Tabel 20-8	Korrelgrootteanalyse	261
Tabel 20-9	Typologie bodemonsters	262
Tabel 20-10	Sedimentkarakteristieken Loswal Noord en Loswal Noordwest.....	262
Tabel 20-11	Natuurlijke radioactiviteit van de bodem van de Noordzee	266
Tabel 20-12	De modelruns voor slibverspreiding onder stormomstandigheden	271
Tabel 20-13	Gestorte hoeveelheden baggerspecie op Loswal Noordwest	277
Tabel 20-14	Gebruikte standaardfouten	288
Tabel 20-15	Meetprogramma verontreinigingsgraad sediment.....	290
Tabel 20-16	Bepalingen verontreinigingsgraad sediment.....	291
Tabel 20-17	Onderzochte verbindingen in zeesterren	292

Tabel 20-18. Monsternamen Macrobenthos	295
Tabel 20-19. Monsternamen Megafauna	297

Figuur 1-1	Loswallen voor baggerspecie uit de Rijnmond	30
Figuur 3-1	Overzicht van het onderzoek	42
Figuur 4-1	Baggerspecie uit de Rijnmond	53
Figuur 4-2	Sedimenttransport in de kustzone en haven	55
Figuur 4-3	Kwantificering sedimenttransport in de kustzone en haven	56
Figuur 4-4	Patroon van netto zandtransport langs de Zuid-Hollandse kust	58
Figuur 4-5	Reststroom in de waterfase	61
Figuur 5-1	Volumetoename op Loswal Noord	68
Figuur 5-2	Slib _{< 63 µm} en mediane korrelgrootte Loswal Noord	70
Figuur 5-3	Slibgehalte Loswal Noord	73
Figuur 5-4	Mediane korrelgrootte Loswal Noord	74
Figuur 5-5	Slibgehalte en hoogte van de stortberg op Loswal Noord	76
Figuur 6-1	De route in 1996	83
Figuur 6-2	De route in 1997	84
Figuur 6-3	Vorm van de stortberg op Loswal Noordwest	86
Figuur 6-4	Bodemgelaagdheid rondom Loswal Noordwest	87
Figuur 6-5	Ligging van de stortvakken op Loswal Noordwest	88
Figuur 6-6	Slib _{< 63 µm} en korrelgrootteverdeling Loswal Noordwest	90
Figuur 6-7	Slib _{< 63 µm} Loswal Noordwest	92
Figuur 6-8	Mediane korrelgrootte Loswal Noordwest	93
Figuur 6-9	Verdeling natuurlijke radioactiviteit rondom Loswal Noordwest	96
Figuur 6-10	Diepte en radioactiviteit	97
Figuur 6-11	Slibgehalte rondom Loswal Noordwest	98
Figuur 6-12	Achtergebleven slib _{< 63 µm} rondom Loswal Noordwest	99
Figuur 6-13	Verdeling van het slib _{< 63 µm} rondom Loswal Noordwest	100
Figuur 6-14	Baggerinspanning in haven en vaargeul	103
Figuur 6-15	Wegstroompercentage van baggerspecie (zand + slib) en standaardfout ervan voor Loswal Noordwest	115
Figuur 6-16	Invloed droge dichtheid op wegstroom- en retourpercentage van baggerspecie	117
Figuur 6-17	Wegstroompercentage van slib _{< 63 µm} en standaardfout ervan voor Loswal Noordwest	120
Figuur 6-18	Berekende slibverdeling over verschillende compartimenten na een storm	125
Figuur 8-1	Stroomrichting en stroomsnelheid op Loswal Noordwest	132
Figuur 8-2	Slibrichting en slibhoeveelheid vanaf Loswal Noordwest	134
Figuur 8-3	Percentage van de totale flux in verschillende zuidelijke richtingen	135
Figuur 10-1	Monitoringslocaties bodemonsters verontreiniging	149
Figuur 10-2	Slibfractie, organisch koolstof en microverontreinigingen	153
Figuur 10-3	Monsterlocaties stroomopwaarts en stroomafwaarts	155
Figuur 11-1	Monitoringslocaties ecotoxicologische metingen	163
Figuur 12-1	Monitoringslocaties van Macrobenthos	167
Figuur 12-2	Monitoringslocaties van Megafauna	168
Figuur 12-3	Clusters Megafauna, 1996 t/m 1999	172
Figuur 12-4	Aantal soorten Macrobenthos	173
Figuur 12-5	Dichtheid Macrobenthos	174
Figuur 12-6	Biomassa Macrobenthos	175
Figuur 12-7	Clustering Macrobenthos 1995 t/m 1999	187
Figuur 12-8	Aantal soorten Macrobenthos 1995 t/m 1999	188
Figuur 12-9	Aantal soorten Megabenthos 1996 t/m 1999	192
Figuur 12-10	Aantal soorten vissen 1996 t/m 1999	193
Figuur 20-1	Monitoringslocaties in het onderzoeksgebied	256
Figuur 20-2	De MEDUSA achter de MITRA	265

Figuur 20-3	De natuurlijke γ -straling van het sediment	267
Figuur 20-4	Werkstappen radiometrische kartering	268
Figuur 20-5	Monitoringslocaties in de vaargeul, vakken E, F en G	272
Figuur 20-6	Slib/zandverhouding op alle monsterlocaties in de vakken E, F en G	274
Figuur 20-7	Slib/zandverhouding in de vakken E, F en G	275
Figuur 20-8	Organisatiestructuur 'Baggerdriehoek'	299

Exemplaren van dit rapport kunnen besteld worden bij:

RIKZ

T.a.v. Bibliotheek

Postbus 20907

2500 EX Den Haag

Informatie over de inhoud kan worden ingewonnen bij Sandeh Stutterheim:



070 3114 342

fax

070 3114 300

.@.

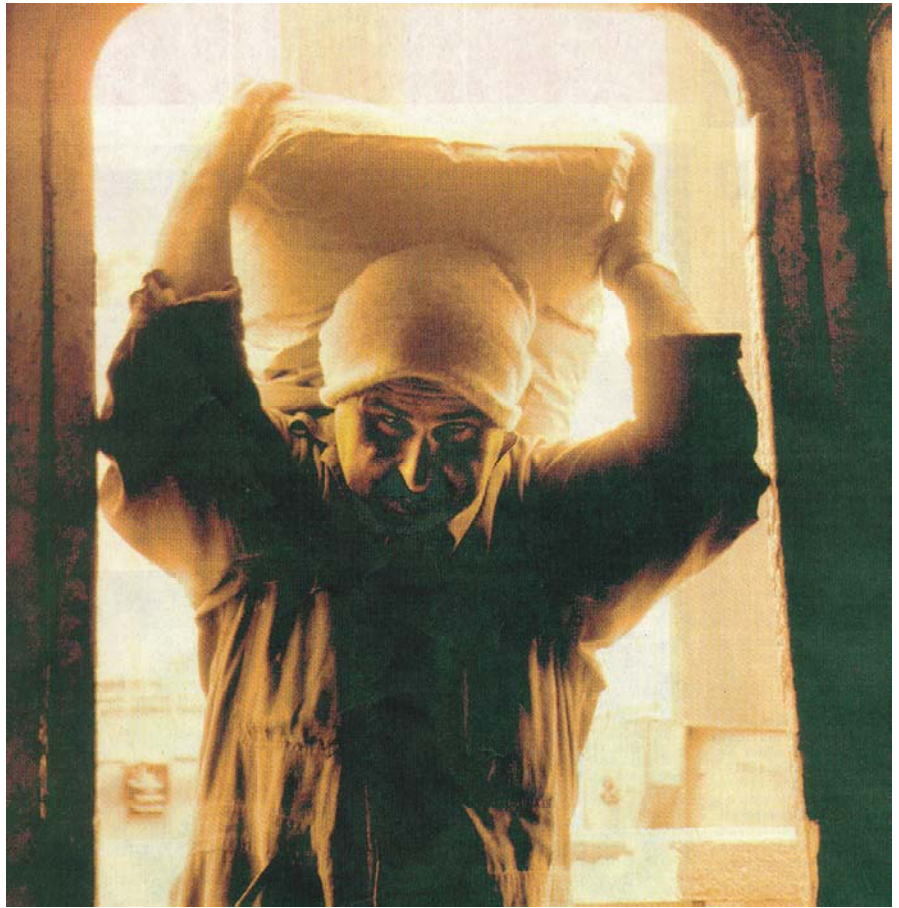
sandeh@rikz.rws.minvenw.nl

Verder kunnen ook de volgende rapporten werkdocumenten besteld worden:

- ❖ De werkwijze voor de berekening van het wegstroompercentage van baggerspecie en de standaardfout ervan voor Loswal Noordwest en de Verdiepte Loswal (Stutterheim, 2002-a).
- ❖ Retourpercentage van Loswal Noordwest (Stutterheim, 2002-b).
- ❖ Het storten van baggerspecie in de Verdiepte Loswal (Stutterheim, 2002-c)
- ❖ Opleg-notitie (Stutterheim 2002-d)

Dit rapport is in digitale vorm te vinden op de site:

<http://www.waterland.net/zeeslib> (publicaties)



sd02063.cdr