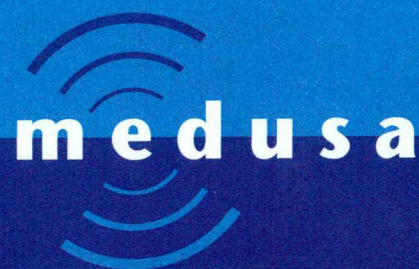


DI 85372

Monitoring Verdiepte Loswal t₁

Sedimentbalans



**HANDCOLLECTIE
WD**

Rijkswaterstaat
Instituut voor Kust en Zee/RIKZ
Bibliotheek (Den Haag)

4469 715

Medusa Explorations BV is a
University of Groningen company

RUG

Monitoring Verdiepte Loswal t₁

Sedimentbalans

Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ
Bibliotheek (Den Haag)

C-4469 715

september 02

Opdrachtgever: S. Stutterheim, RWS/RIKZ

MEDUSA Explorations BV project: 2001-P-019

Rapport: 2001-P-019-R3

Auteur: R.L. Koomans, E. Oosterhoff

MEDUSA Explorations BV

Postbus 623

9700 AP Groningen, the Netherlands

www.MEDUSA-online.com

Inhoud

INHOUD	2
SAMENVATTING	3
1 INLEIDING	4
1.1 Kader	4
1.2 Gebied	4
1.3 Kwaliteitsborging	5
1.4 Dit rapport	5
2 METINGEN ROND DE VERDIEPTE LOSWAL	6
2.1 Lodingen	6
2.2 Slibverdeling	7
3 SLIBTRANSPORT	9
3.1 Verspreiding van slib (kwalitatief)	9
3.2 Verspreiding van slib (kwantitatief)	10
4 CONCLUSIES	13
5 REFERENTIES	14
A. HET SLIBGEHALTE UIT MEDUSA METINGEN	15
A.1 Bepaling van de slibmassa	15
A.2 Onzekerheden	15
A.2.1 Meetonzekerheden	15
A.2.2 Effecten van meting in de bovenlaag	16
Laagmodel dunne laag slib op kwarts	17
Laagmodel bij afdekking door zand	18
B. FIGUREN	20

Samenvatting

De Rotterdamse haven wordt continu op diepte gehouden door baggerwerkzaamheden. De baggerspecie uit de haven wordt in een diepe kuil (de zogenaamde Verdiepte Loswal) gestort. Om de effectiviteit van deze stortlocatie te bepalen is door RIKZ een groot monitoringsproject (Monitoring Alternatieve Loswallen) gestart, waarbij de verplaatsing van het gestorte slib en de milieueffecten van de stortlocatie op de omgeving onderwerp zijn van studie. In december 1999 en februari 2000 is een meting uitgevoerd om de t_0 situatie van het gebied in kaart te brengen. Eind januari 2002 is een t_1 kartering uitgevoerd.

De opeenvolgende lodingen (multibeam) en radiometrische metingen (MEDUSA), laten zien dat de kuil van de Verdiepte Loswal succesvol met slib is opgevuld. De combinatie van lodingen en de MEDUSA metingen laat duidelijk zien dat een kleine hoeveelheid sediment langs de randen uit het stortvak migreert.

De studie naar de verplaatsing van het slib rondom de Verdiepte Loswal had tot doel om de effectiviteit van de stortlocatie in kaart te brengen. Hiervoor kunnen drie vragen worden gesteld:

- Is er sediment uit de kuil gemigreerd?

In de t_1 meting is duidelijk te zien dat de kuil niet alleen is opgevuld, maar dat deze opvulling met slib is geweest. Een kleine hoeveelheid sediment migreert langs de randen uit het stortvak. Deze verspreiding heeft geen preferente transportrichting.

- Waar ligt dit sediment in het karteringsgebied?

Een deel van het gestorte sediment ligt in een smalle rand rondom de Verdiepte Loswal. Deze verspreiding is niet groter dan 500 m. Het lijkt erop dat een deel van het sediment na storten over de rand van de kuil wordt getransporteerd en daar direct accumuleert.

In het gebied rondom de verdiepte Loswal zijn de variaties in het slibgehalte groot als gevolg van de verspreiding van slib van Loswal Noord en Loswal Noordwest. Deze 'natuurlijke' variaties duiden op een grote dynamiek van het sediment. Door deze grote dynamiek valt een eventuele toename in slibgehalte door het storten op de Verdiepte Loswal weg. Hierdoor kan geen uitspraak worden gedaan over de grootschalige transportrichting van het slib van de Verdiepte Loswal.

- Hoeveel sediment is verspreid in het karteringsgebied.?

De slibmassa in de kuil en in een rand om de kuil van de Verdiepte Loswal neemt toe tussen de t_0 en de t_1 meting. In de kuil is 1022000 (\pm 112000) kg slib terecht gekomen; in de rand van 500 m rondom de stort is 46000 (\pm 6000) kg slib terecht gekomen. In de overige gebieden is de toename in slib niet significant.



1 Inleiding

1.1 Kader

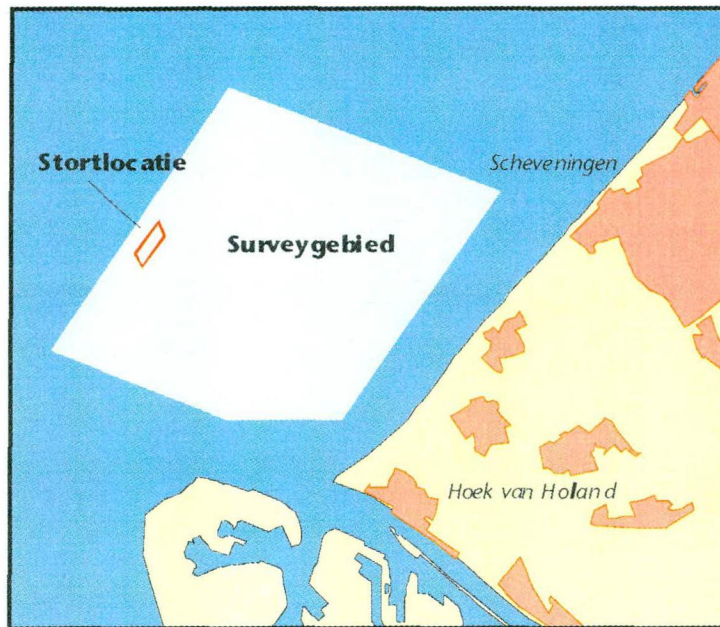
Havenautoriteiten kampen met grote uitgaven door het continue dichtslibben van havens door rivieren en zeeën. Dit betekent dat er regelmatig slib en zand uit de haven gebaggerd moet worden. Aangezien de recent afgezette sedimenten in Nederland de laatste jaren steeds schoner worden is het tegenwoordig toegestaan om de baggerspecie, mits deze niet of slechts licht vervuild is, naar open waterdepots te verplaatsen. Hoe dichter deze locaties bij de baggerlocatie liggen, hoe goedkoper het transport. Het is dus zaak om een optimum te vinden in de afstand tussen haven en depot zodanig dat zowel de afstand als de retourstroom van de bagger worden geminimaliseerd.

Ook de Rotterdamse haven wordt continu op diepte gehouden door baggerwerkzaamheden. Een deel van de baggerspecie uit de haven wordt in een aantal diepe kuilen (de zogenaamde Verdiepte Loswallen) gestort. Om de effectiviteit van deze stortlocaties te bepalen is door RIKZ een groot monitoringsproject (Monitoring Alternatieve Loswallen) gestart, waarbij de verplaatsing van het gestorte slib en de milieueffecten van de stortlocatie op de omgeving onderwerp zijn van studie. In december 1999 en januari 2000 is er reeds een verkennende t_0 meting verricht in het gebied rond de Verdiepte Loswal (Venema *et al.*, 2000). Deze eerste proef had tot doel om de bodemsamenstelling in kaart te brengen voordat er gestort zou gaan worden. Op deze wijze zouden toekomstige metingen in het gebied gebruikt kunnen worden om verschillen ontstaan door sedimenttransport vanuit de putten in kaart te brengen.

Begin februari 2002 is een tweede meting, de zogenaamde t_1 kartering, uitgevoerd. Ten tijde van de meting was de eerste kuil van de Verdiepte Loswal gedeeltelijk gevuld, en zou er dus al sprake kunnen zijn van enige verspreiding van sediment. Deze t_1 meting geeft inzicht in de verspreiding van de baggerspecie uit de kuil van de Verdiepte Loswal.

1.2 Gebied

De stortlocatie is op een afstand van 5 km ten Noorden van de Maasvlakte gesitueerd (figuur 1) op een waterdiepte van ongeveer 20 m. De survey brengt de bodem rondom het stortvak en tussen het stortvak en de kust in kaart en het bevaren gebied heeft ongeveer een omvang van 10 bij 9 km.



figuur 1: Overzicht van de stortlocatie en het surveygebied.

1.3 Kwaliteitsborging

Aan de totstandkoming van de meting, tussenrapportages en eindrapportage van de MEDUSA meting is door verschillende medewerkers van MEDUSA Explorations BV bijgedragen. J.F. Nicolaas en B.A. de Meijer hebben tijdens en na de meting zorg gedragen voor data-inwinning en data-verwerking. Ing. E. Oosterhoff heeft de datasynthese uitgevoerd en heeft bijgedragen aan de datarapportage van de meetcampagne. Het syntheserapport en bijbehorende analyse is geschreven door en onder redactie van dr. R.L. Koomans. Dr. J. Limburg heeft gezorgd voor een interne kwaliteitscontrole van dit eindrapport

1.4 Dit rapport

Dit rapport tracht antwoord te geven op de volgende vragen:

- Is er sediment uit de kuil gemigreerd?
- Waar ligt dit sediment in het karteringsgebied?
- Hoeveel sediment is verspreid in het karteringsgebied?

Om deze vragen te beantwoorden zijn lodingen (met multibeam) en metingen van het slibgehalte (radiometrische meting met MEDUSA) uit 2000 (t_0 meting) en 2002 (t_1 meting) op en rond de Verdiepte Loswal met elkaar vergeleken (hoofdstuk 2). Door in detail de verschilkaarten van beide karteringen te analyseren kan een kwalitatief beeld worden verkregen van de verspreiding van het slib in en uit de kuil (hoofdstuk 3). De verschillen zijn in hoofdstuk 3 ook gekwantificeerd om tot een inschatting te komen van de hoeveelheid verspreid slib op en rond de Verdiepte Loswal.

In appendix A wordt de analysemethode beschreven en worden de onzekerheden in de bepaling van het slibgehalte in kaart gebracht. Appendix B presenteert kaarten met de gegevens van de twee karteringen.

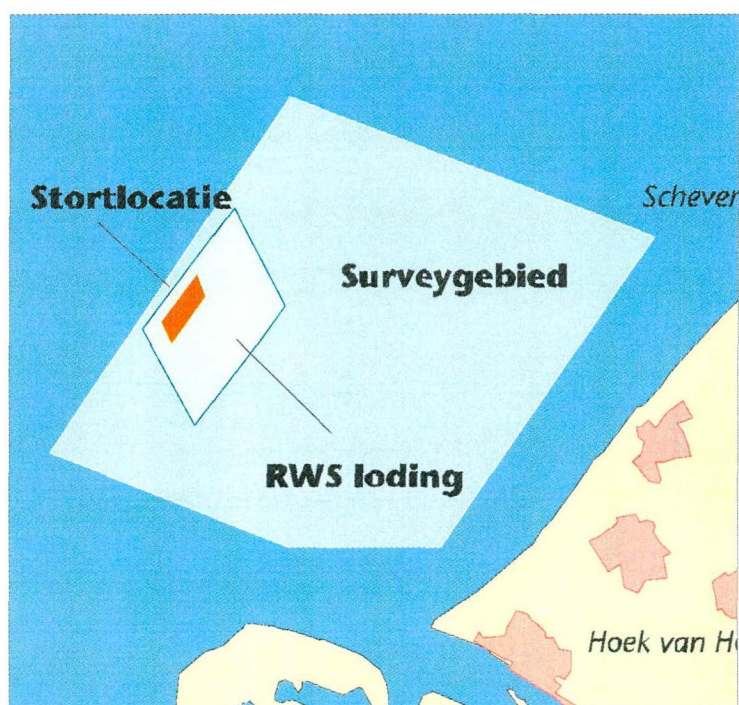
2 Metingen rond de Verdiepte Loswal

Om een goede schatting te maken van de hoeveelheid gestorte en weggespoelde baggerspecie zijn door Rijkswaterstaat lodingen uitgevoerd van het gebied op en rond de Verdiepte Loswal. Deze lodingen zijn niet gelijktijdig met de MEDUSA metingen uitgevoerd, maar hebben in de maanden na de MEDUSA meting plaatsgevonden (tabel 1).

tabel 1: Opnameperioden van de MEDUSA metingen en metingen met multibeam

Opname	MEDUSA radiometrische kartering	Loding Rijkswaterstaat
t_0	februari 2000	februari 2000
t_1	februari 2002	mei 2002

De lodingen beslaan niet het complete gebied dat met MEDUSA in kaart is gebracht, maar zijn gecentreerd in een kleiner gebied rondom de stortlocatie (het lichtgroene vlak, figuur 2).



figuur 2: Overzicht van het meetgebied van de MEDUSA kartering en de Rijkswaterstaat loding.

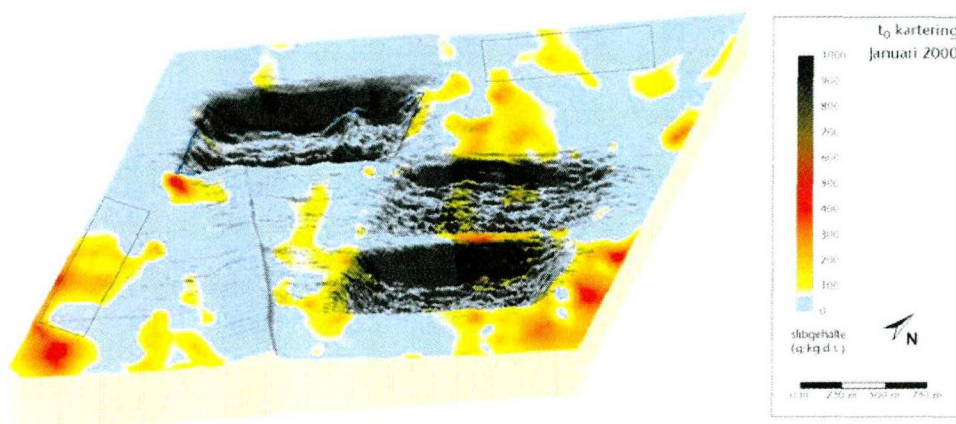
2.1 Lodingen

De resultaten van de lodingen zijn in appendix A gepresenteerd. De lodingen (figuur 11 en figuur 12) laten zien dat in de eerste kuil van de Verdiepte Loswal tijdens de t_1 meting opgevuld is. Naast deze kuil is tussen de t_0 meting en de t_1 meting, links onder een tweede kuil gegraven (No.5).

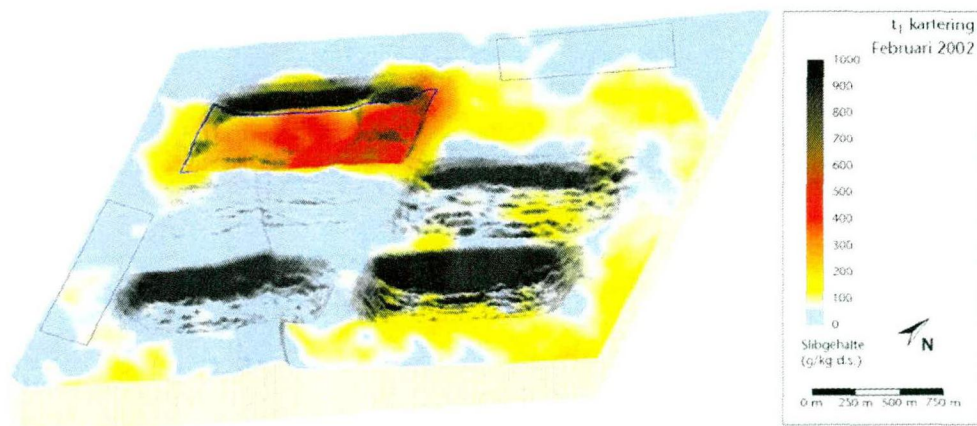
2.2 Slibverdeling

Rondom de kuil

In de voorgaande rapportage over slibverdeling rondom de Verdiepte Loswal in de t_0 kartering (Koomans en Oosterhoff, 2002) is op basis van nieuwe inzichten een verbeterde fingerprint van het slibgehalte afgeleid en is een procedure beschreven om voor variaties in dichtheid van het sediment te corrigeren. Voor de huidige studie zijn de meetgegevens van de t_0 kartering (Venema *et al.*, 2000) opnieuw geïnterpreteerd zodat beide datasets vergelijkbaar zijn.



figuur 3: Verdeling van het slibgehalte in het gebied rondom de Verdiepte Loswal tijdens de t_0 kartering. Het slibgehalte (kleurenkaart) is geprojecteerd op een 3-dimensionele weergave van de bathymetrie.



figuur 4: Verdeling van het slibgehalte in het gebied rondom de Verdiepte Loswal tijdens de t_1 kartering. Het slibgehalte (kleurenkaart) is geprojecteerd op een 3-dimensionele weergave van de bathymetrie.

Het slibgehalte rondom de Verdiepte Loswal is, samen met de bathymetrie, in figuur 3 en figuur 4 gepresenteerd. Deze gegevens laten zien dat tijdens de t_0

kartering in de kuilen praktisch geen slib voorkomt. In en rond de kuil rechtsonder in figuur 3 is het slibgehalte enigszins verhoogd. Het slib dat tijdens de t_0 kartering in het gebied voorkomt is afkomstig van de stortlocatie Loswal Noord, die vlak ten noorden van de kuilen is gesitueerd.

In de t_1 meting is duidelijk te zien dat de kuil (linksboven in figuur 4 en in figuur 15) niet alleen opgevuld is, maar dat deze opvulling met slib is geweest. Het slib lijkt zich niet ver van de kuil verspreid te hebben. In een smalle zone rondom de kuil is het slibgehalte in het sediment verhoogd. Als gevolg van de stortactiviteiten op Loswal Noord en Loswal Noordwest komt in het gehele gebied slib voor. De verplaatsing van dit slib zorgt voor de variaties in het slibgehalte in de rest van het gebied (figuur 3).

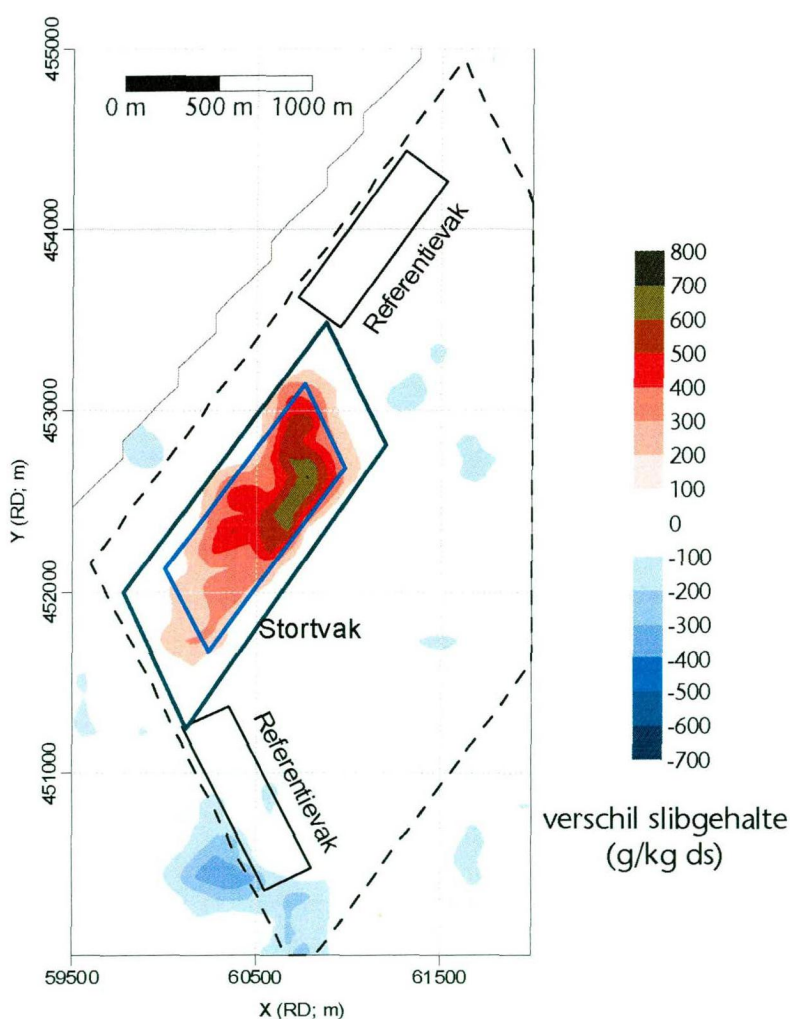
In het hele surveygebied

Figuur 14 en figuur 15 geven een overzicht van de slibverdeling in het hele surveygebied in de t_0 en de t_1 kartering. In beide kaarten zijn de verhoogde slibgehalten rondom de Loswal Noord zichtbaar. De t_1 kaart laat een verhoogd slibgehalte op de Verdiepte Loswal zien. Deze toename is het grootst aan de noordzijde en noordoostzijde van de Verdiepte Loswal. De kleinste toename is te vinden aan de zuidzijde.

3 Slibtransport

3.1 Verspreiding van slib (kwalitatief)

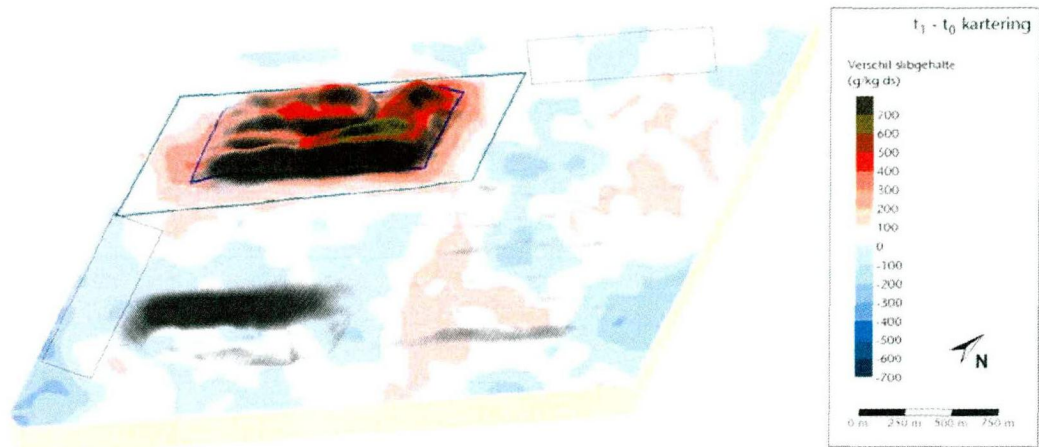
Het verschil tussen de slibkaart van de t_0 kartering en de slibkaart van de t_1 kartering (figuur 5) laat zien dat het slibgehalte toeneemt in kuil 1 van de Verdiepte Loswal (blauwe vak). De verspreiding van het slib beperkt zich tot een gebied van 500m rondom de kuil (binnen het groene vak). Deze verspreiding is in alle richtingen en wijst niet op een duidelijke transportrichting van het slib. In de rest van het gebied vinden (kleine) toegenomen en afnames in het slibgehalte plaats. Deze veranderingen laten echter geen duidelijk patroon zien.



figuur 5: Verandering in het slibgehalte $t_1 - t_0$ op en rond het stortvak.

Om een inzichtelijk beeld te krijgen van de sedimentverplaatsing rondom de Verdiepte Loswal is de verandering in het slibgehalte ($t_1 - t_0$) over de verandering in bodemhoogte ($t_1 - t_0$) geprojecteerd (figuur 6). Deze gegevens laten zien dat de bodemhoogte en het slibgehalte in de kuil toeneemt (de kuil is gevuld met slib). Rondom de kuil (binnen de begrenzing van het groene vak) vindt ook verspreiding van slib plaats. Deze verspreiding valt samen met

een kleine toename in bodemhoogte (~ 0.12 m). In het overige deel van het gebied zijn veranderingen in bodemhoogte zichtbaar (waaronder een verdieping van een kuil ten zuidoosten van de gevulde kuil), maar deze morfologische veranderingen vallen niet samen met significante veranderingen in het slibgehalte.



figuur 6: Verandering in het slibgehalte ($t_1 - t_0$, kleurenschaal) geprojecteerd over de verandering in bodemhoogte ($t_1 - t_0$, 3D kaart). De blauwe rechthoek geeft de omvang van de kuil aan, de groene rechthoek duidt op vak b (sectie 3.2). De grijze vakken representeren de referentievakken.

De metingen laten zien dat slib in de kuil is gestort. Ook in het gebied rond de kuil is het slibgehalte toegenomen. Deze toename beperkt zich tot een gebied van maximaal 500 m rondom de stortlocatie en duidt niet op een preferente richting van slibtransport. In de overige delen van het gebied vinden toe- en afnames plaats die niet direct zijn toe te wijzen aan het gestorte sediment.

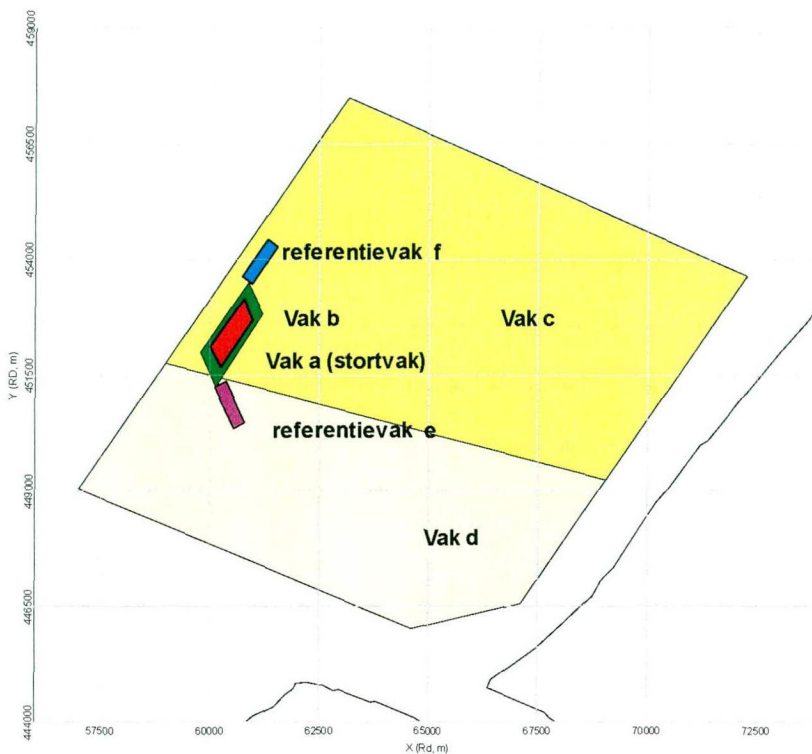
3.2 Verspreiding van slib (kwantitatief)

Om de verspreiding van het slib rondom de Verdiepte Loswal te kwantificeren, is het gebied in een aantal vakken¹ opgedeeld (figuur 7). In deze vakken is het verschil in de massa slib tussen de t_0 en de t_1 kartering bepaald. De slibmassa in vak a is bepaald met behulp van lodingen, de dichtheid van het sediment en het slibgehalte (aangeleverd door de opdrachtgever). Omdat de onzekerheid in de lodingen te groot is in de gebieden rondom vak a zijn de slibmassa's in deze gebieden bepaald met behulp van de radiometrische metingen van MEDUSA. Hierbij is de procedure zoals beschreven in Appendix A gevolgd.

De vakken zijn gekozen om de verspreiding van het slib in kaart te brengen. Vak b is een rand om de kuil van de Verdiepte Loswal en geeft aan in hoeverre het slib direct naast de kuil accumuleert. Vak c en vak d zijn

¹ De omvang en locatie van de vakken is door de opdrachtgever bepaald.

gekozen om te analyseren of het slib in richting de Waddenzee (vak c) of retour richting haven (vak d) wegstroomt.



figuur 7: Opdeling van het surveygebied in 6 vakken.

Slibgehalte

De metingen van het slibgehalte van de toplaag laten zien dat alleen in vak a en de rand b een significante toename van het slibgehalte plaatsvindt. In het stortvak (vak a) is het slibfractie met 409 g/kg DS toegenomen. Deze waarde is vergelijkbaar met het gemiddelde slibgehalte in de sedimentmonsters die voorafgaand en tijdens de t_1 kartering uit de beunen en van de toplaag van de verdiepte loswal zijn genomen 520 (\pm 330).

Als gevolg van de verplaatsing van slib uit het stortvak, zien we in de ring rondom het stortvak (rand b) een gemiddelde slibtoename van 160 g/kg DS.

In de overige gebieden verandert het slibgehalte niet significant of neemt het slibgehalte zelfs af (vak e).

tabel 2: Verandering van het slibgehalte van de toplaag op basis van MEDUSA gegevens. De onzekerheden (tussen haakjes) in het slibgehalte zijn bepaald uit de systematische meetfouten.

	Verandering in slibgehalte (g/kg DS)
Kuil (vak a)	409 (25)
Rand b	160 (21)
Richting Waddenzee (vak c)	-8 (21)
Retour (vak d)	-10 (21)
Referentievak e	-42 (21)
Referentievak f	24 (21)

Slibmassa

De toegenomen hoeveelheid slib in de verschillende vakken kan worden gebruikt om, in combinatie met de totale massa gestort slib, de retourstroompercentages te berekenen.

In het stortvak is de bodemhoogte met meer dan 30 cm toegenomen. In dit vak is de toegenomen slibmassa door de opdrachtgever bepaald met behulp van de lodingen, het (gemeten) gemiddelde slibgehalte in het vak en de (gemeten) gemiddelde dichtheid in het vak. In de overige vakken is de toegenomen massa slib bepaald met behulp van de MEDUSA metingen (zoals beschreven in Appendix A).

De getallen in tabel 3 laten zien dat in vak a en de rand b een significante toename van het slib plaatsvindt. In vak c en vak d zijn de variaties in het slib dat al in het gebied aanwezig was -als gevolg van storten op Loswal Noord en Loswal Noordwest- groot. Door deze natuurlijke variaties valt een eventuele toename in slib door het storten op de Verdiepte Loswal weg. Hierdoor kan geen uitspraak worden gedaan over de richting van het slibtransport.

tabel 3: Veranderingen in de totale massa slib in de verschillende vakken rondom de Verdiepte Loswal (de onzekerheden staan tussen haakjes). De slibmassa in de kuil is bepaald met behulp van lodingen; de slibmassa in de overige vakken is bepaald met behulp van de MEDUSA metingen.

	Verandering in Slib *1000 (kg DS)	
Kuil (vak a)	1022	(112)
Rand b	46	(6)
Richting Waddenzee (vak c)	-204	(560)
Retour (vak d)	-1550	(3200)
Referentievak e	-6	(3)
Referentievak f	3	(3)

De slibmassa in de kuil en in een rand om de kuil van de Verdiepte Loswal neemt toe tussen de t_0 en de t_1 meting. In de kuil is 1022000 kg (droge stof) slib terecht gekomen; in de rand rondom de stort is 46000 kg (droge stof) slib terecht gekomen.

In de grote gebieden ten noorden en ten zuiden van de Verdiepte Loswal zijn de variaties in het van 'nature' voorkomende slib zo groot dat een eventuele toename als gevolg van storten in de deze variaties wegvalt.

4 Conclusies



Om de verspreiding van het slib rondom de Verdiepte Loswal in kaart te brengen, is de Verdiepte Loswal gemonitord met behulp van lodingen (multibeam) en radiometrische metingen (MEDUSA). Deze opeenvolgende lodingen en de metingen met het MEDUSA systeem, laten zien dat de kuil van de Verdiepte Loswal succesvol met slib is opgevuld.

Is er sediment uit de kuil gemigreerd?

In de t_1 meting is duidelijk te zien dat de kuil niet alleen is opgevuld, maar dat deze opvulling met slib is geweest. Een kleine hoeveelheid sediment migreert langs de randen uit het stortvak. Deze verspreiding duidt niet op een preferente transportrichting.

Waar ligt dit sediment in het karteringsgebied?

Een deel van het gestorte sediment ligt in een smalle rand rondom de Verdiepte Loswal. Deze verspreiding is niet groter dan 500 m. Het lijkt erop dat een deel van het sediment na storten over de rand van de kuil wordt getransporteerd en daar direct accumuleert.

In het grote gebied rondom de verdiepte Loswal zijn de variaties in het slibgehalte -als gevolg van de verspreiding van slib van Loswal Noord en Loswal Noordwest- groot. Deze 'natuurlijke' variaties duiden op een grote dynamiek van het sediment. Door deze grote dynamiek valt een eventuele toename in slib door het storten op de Verdiepte Loswal weg. Hierdoor kan geen uitspraak worden gedaan over de grootschalige transportrichting van het slib van de Verdiepte Loswal.

Hoeveel sediment is verspreid in het karteringsgebied?

De slibmassa in de kuil en in een rand om de kuil van de Verdiepte Loswal neemt toe tussen de t_0 en de t_1 meting. In de kuil is 1022000 (± 112000) kg slib terecht gekomen; in de rand van 500 m rondom de stort is 46000 (± 6000) kg slib terecht gekomen. In de overige gebieden is de toename in slib niet significant.

5 Referenties

de Meijer, R. J., Lesscher, H. M. E., Schuiling, R. D. and Elburg, R. D. (1990) *Estimate of the Heavy Mineral Content in Sand and its Provenance by Radiometric Methods*. Nuclear Geophysics, **4**(4), pp. 455-460

Koomans, R. L. (2000) *Sand in motion: effects of density and grain size*. Phd thesis, RUG, Groningen, ISBN 90-367-1338-2.

Koomans, R. L. en Oosterhoff, E. (2002) *Monitoring Alternatieve Loswal t1; sediment karakterisatie*. Medusa Explorations BV, Groningen; Report : 2001-P-019-R2.

Venema, L. B., de Meijer, R. J., Limburg, J., Gieske, J. M. J., van Os, B. J. H. and van der Spek, A. J. F. (2000) *Assessment of the 'Verdiepte-Loswal' to-survey for radiometry*. NGD/ KVI, Groningen; Report : Z108.

A. Het slibgehalte uit MEDUSA metingen

A.1 Bepaling van de slibmassa

De slibmassa's in de gebieden rondom de loswal zijn berekend met behulp van de slibgehalten gemeten met MEDUSA.

De MEDUSA metingen bepalen het slibgehalte in de toplaag van het sediment (30 cm). In de analyse van het slibgehalte is gecorrigeerd voor de dichtheid van het sediment (Koomans en Oosterhoff, 2002). Deze dichtheid is gebruikt om uit het slibgehalte, de dikte van de toplaag en het oppervlak de slibmassa te berekenen:

$$\text{Slibmassa} = \text{Slibgehalte} \times \rho \times 0.3 \times \text{oppervlak}_{\text{vak}} \quad (1)$$

A.2 Onzekerheden

A.2.1 Meetonzekerheden

Om de fractie van slib in het sediment te berekenen met behulp van de radiometrische gegevens, moet de "fingerprint" (de concentratie van de nucliden in het zand) van het slib en van het zand bekend zijn. In tabel 4 zijn de fingerprints van slib en zand weergegeven (Koomans en Oosterhoff, 2002).

tabel 4: Gemiddelde activiteitsconcentraties ('fingerprints') van kalium, uranium en thorium van het slib en het zand rond de stort. De getallen tussen haakjes geven één standaardafwijking.

	K (Bq kg ⁻¹)	U (Bq kg ⁻¹)	Th (Bq kg ⁻¹)
Zand (>63 µm)	293 (9)	7.8 (0.7)	8.3 (0.4)
Slib (<63 µm)	546 (22)	31.0 (2)	35.8 (1.1)

Met behulp van de fingerprint van slib (A_{slib}), de fingerprint van zand (A_{zand}) en de gemeten concentratie (A), kan het slibgehalte worden berekend met (de Meijer *et al.*, 1990):

$$f_{\text{slib}} = \frac{A - A_{\text{zand}}}{A_{\text{slib}} - A_{\text{zand}}}, \quad (2)$$

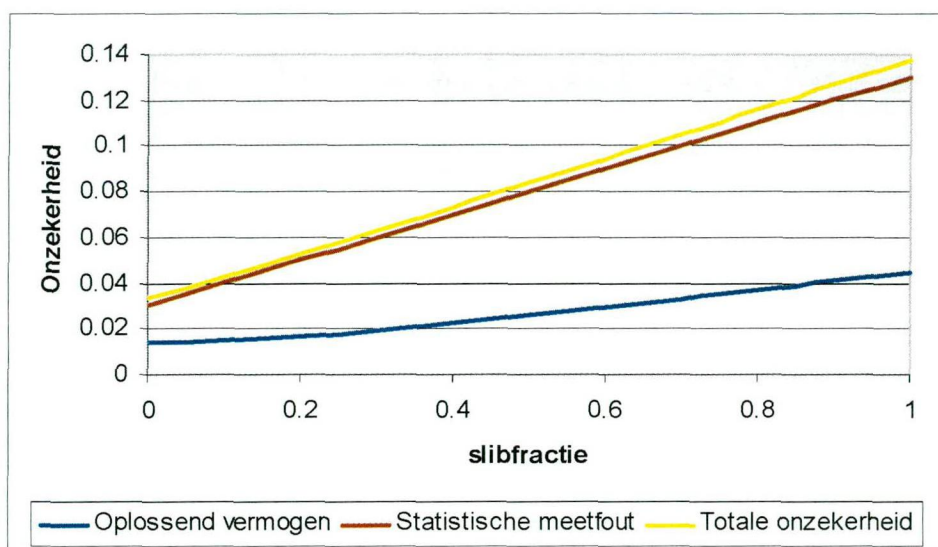
waarbij de onzekerheid in het slibgehalte zand bepaald wordt door:

$$\left(\frac{\sigma f_{\text{slib}}}{f_{\text{slib}}} \right)^2 = \frac{\sigma A^2 + \sigma A_{\text{zand}}^2}{(A - A_{\text{zand}})^2} + \frac{\sigma A_{\text{slib}}^2 + \sigma A_{\text{zand}}^2}{(A_{\text{slib}} - A_{\text{zand}})^2}. \quad (3)$$

of

$$(\sigma f_{slib})^2 = \left[\frac{\sigma A^2}{(A_{slib} - A_{zand})^2} \right] + \left[\frac{\sigma A_{zand}^2}{(A_{slib} - A_{zand})^2} + \frac{(\sigma A_{slib}^2 + \sigma A_{zand}^2)(A - A_{zand})^2}{(A_{slib} - A_{zand})^4} \right] \quad (4)$$

In vergelijking (4) wijst de eerste term tussen [] op de precisie als gevolg van statistische onzekerheid in de MEDUSA meting; de tweede term [] is de oplossend vermogen als gevolg van onzekerheden in de fingerprint (bijvoorbeeld als gevolg van heterogeniteit in sedimentsamenstelling, meetonzekerheden in de Malvern meting (om de slibfractie te bepalen) en het verschil tussen de fingerprint van het slib en van het zand). In figuur 8 is de onzekerheid in het slibgehalte uitgezet tegen de fractie slib in het sediment. De totale onzekerheid komt overeen met de onzekerheid in het slibgehalte na interpolatie (zie figuur 16).



figuur 8: Onzekerheden in het slibgehalte (absolute fout) als functie van het slibgehalte.

A.2.2 Effecten van meting in de bovenlaag

In de berekeningen van het slibgehalte in het sediment is ervan uitgegaan dat de samenstelling van het sediment in de bovenste 30 cm constant is. Als gevolg van verschijnselen van *sedimentsortering* is dit niet *a priori* waar.

Het sediment op de zeebodem kan soms gelaagd zijn, maar zal gemiddeld redelijk gemengd zijn. De afschatting van de effecten van de bovenlaag geeft daarom de meest extreme effecten. De netto effecten zullen in werkelijkheid veel kleiner zijn.

Het slibgehalte is berekend met behulp van de concentraties thorium in het sediment. Deze concentraties zijn gemeten door de gamma straling, afkomstig van het nuclide ^{232}Th te meten. Deze gammastraling wordt door de zand en slibdeeltjes in het sediment uitgezonden (zie figuur hiernaast). Een deel van de uitgezonden gammastraling wordt, als gevolg van “botsing” met zandkorrels, geabsorbeerd en zal de MEDUSA detector nooit bereiken (straling 1, 2 en 4). Als gevolg van deze botsingen kan de MEDUSA detector slechts kijken tot een beperkte diepte (ongeveer 30 cm): de gammastraling afkomstig



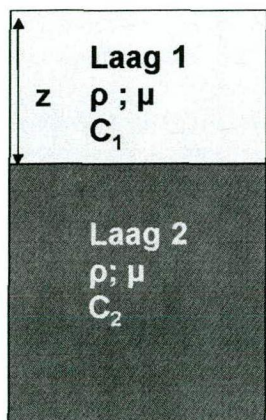
van diepere korrels hebben een zéér grote kans op absorptie door bovenliggende zandkorrels.

Als door sorteringsverschijnselen al het slib in de bovenste 5 cm van het sediment wordt geconcentreerd, zal MEDUSA meer straling meten dan wanneer dezelfde hoeveelheid korrels door 30 cm sediment worden gemengd (de kans om met een 'gewone' zandkorrel te botsen is immers groter over een lengte van 30 cm dan over een lengte van 5 cm).

In dit hoofdstuk worden de effecten van de verticale verdeling van het slib zand bepaald.

Laagmodel dunne laag slib op kwarts

We nemen aan dat het sediment in twee lagen is opgedeeld: laag 1 met een hoge concentratie slib en laag 2 (met een oneindige dikte) waarin slib afwezig is (zie figuur op blz 17).



Laag 1 heeft een dikte z (in cm), dichtheid ρ (2.1 g cm^{-3}), een verzwakkingscoëfficiënt μ ($0.07 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ (Koomans, 2000))² en een activiteitsconcentratie C_1 (in Bq kg^{-1}). Laag 2 heeft een dichtheid en een verzwakkingscoëfficiënt gelijk aan laag 1, met een activiteitsconcentratie C_2 .

Als gevolg van de botsing van de gammastraling met de zandkorrels in beide lagen wordt een deel van de straling (gamma's 1 en 4 in de figuur) geabsorbeerd in de eigen laag. De straling uit laag 1 die wél door de eigen laag heen komt (gammadeeltje 5, C'_1), kan worden berekend met³:

$$C'_1 = C_1(1 - e^{-\mu\rho z}).$$

Een groot deel van de straling uit laag 2 zal de detector nooit bereiken en botst in laag 1 (deeltje 2 in de figuur). De hoeveelheid straling uit laag twee die echter wel door laag 1 heen komt kan worden beschreven met:

$$C'_2 = C_2 e^{-\mu\rho z}$$

De totaal gemeten straling aan het oppervlak van beide lagen (C') (gammadeeltjes 3 en 5) kan dus worden beschreven met:

$$C' = C_1(1 - e^{-\mu\rho z}) + C_2 e^{-\mu\rho z}$$

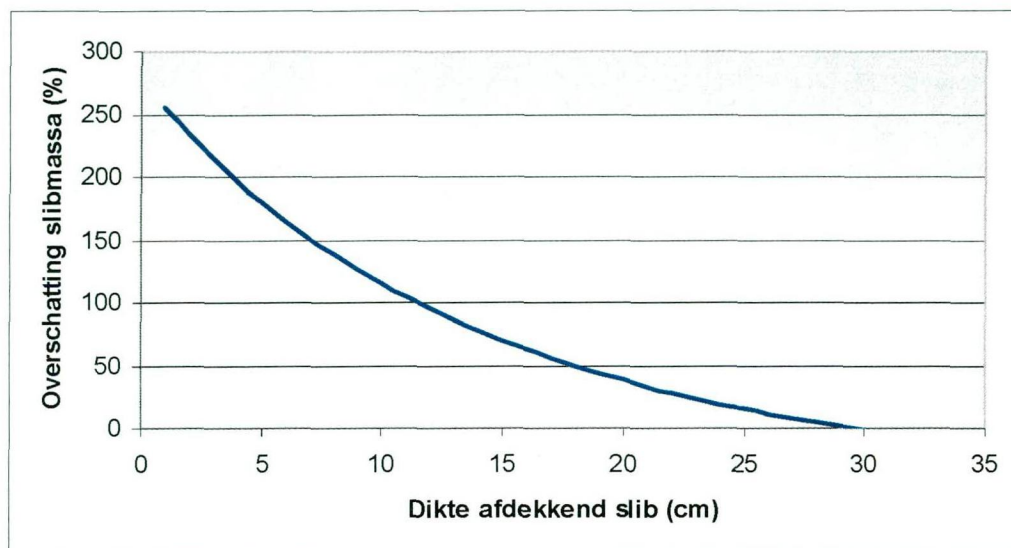
Als laag 1 >30 cm dik is, is de gemeten activiteit C' bij benadering gelijk aan C_1 (bij waarde $z=30$ is $e^{-\mu\rho z}$ ongeveer gelijk aan 1). Voor elke andere dikte van laag 1, kan de gemeten activiteit C' worden omgerekend naar de activiteit van C_1 . Met behulp van deze waarde en de fingerprint van slib kan het slibgehalte in het sediment worden bepaald.

In figuur 9 is het effect van de dikte van laag 1 gekwantificeerd. Deze resultaten laten zien dat het volume slib wordt overschat als puur slib op een

² De verzwakkingscoëfficiënt is een maat voor de kans dat gammastraling "botst" in het sediment. Deze coëfficiënt is afhankelijk van de chemische samenstelling van het sediment en is ongeveer gelijk voor kwarts en slib.

³ Een volledige afleiding van de formulering kan worden gevonden in (Koomans, 2000)

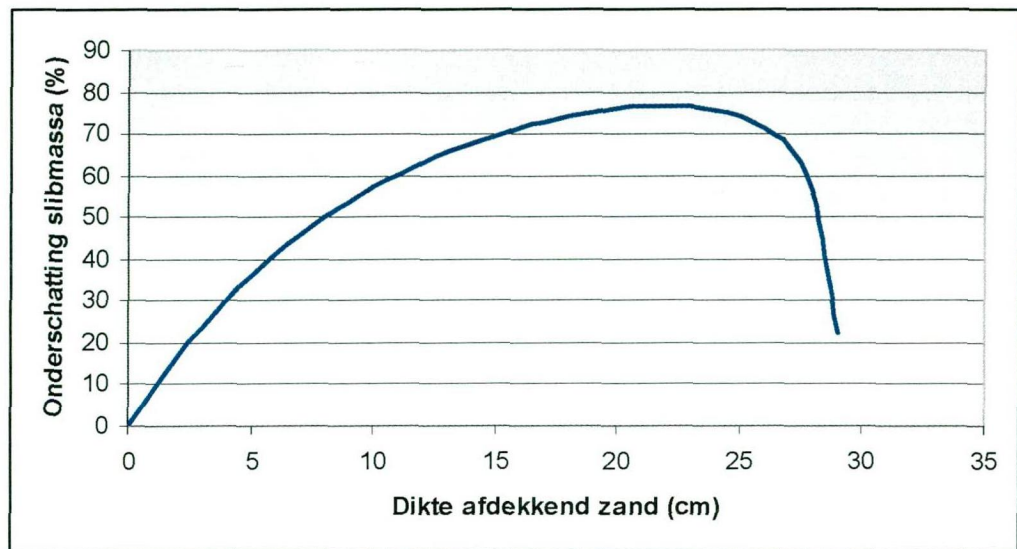
laag zand ligt en een homogene laag wordt aangenomen. Als het slib alleen in de bovenste 10 cm van het sediment voorkomt, is de slibmassa 114% overschat.



figuur 9: Overschatting van het slibgehalte met een aanname van een 30 cm homogene laag, bij een situatie waar puur slib op zandpakket ligt.

Laagmodel bij afdekking door zand

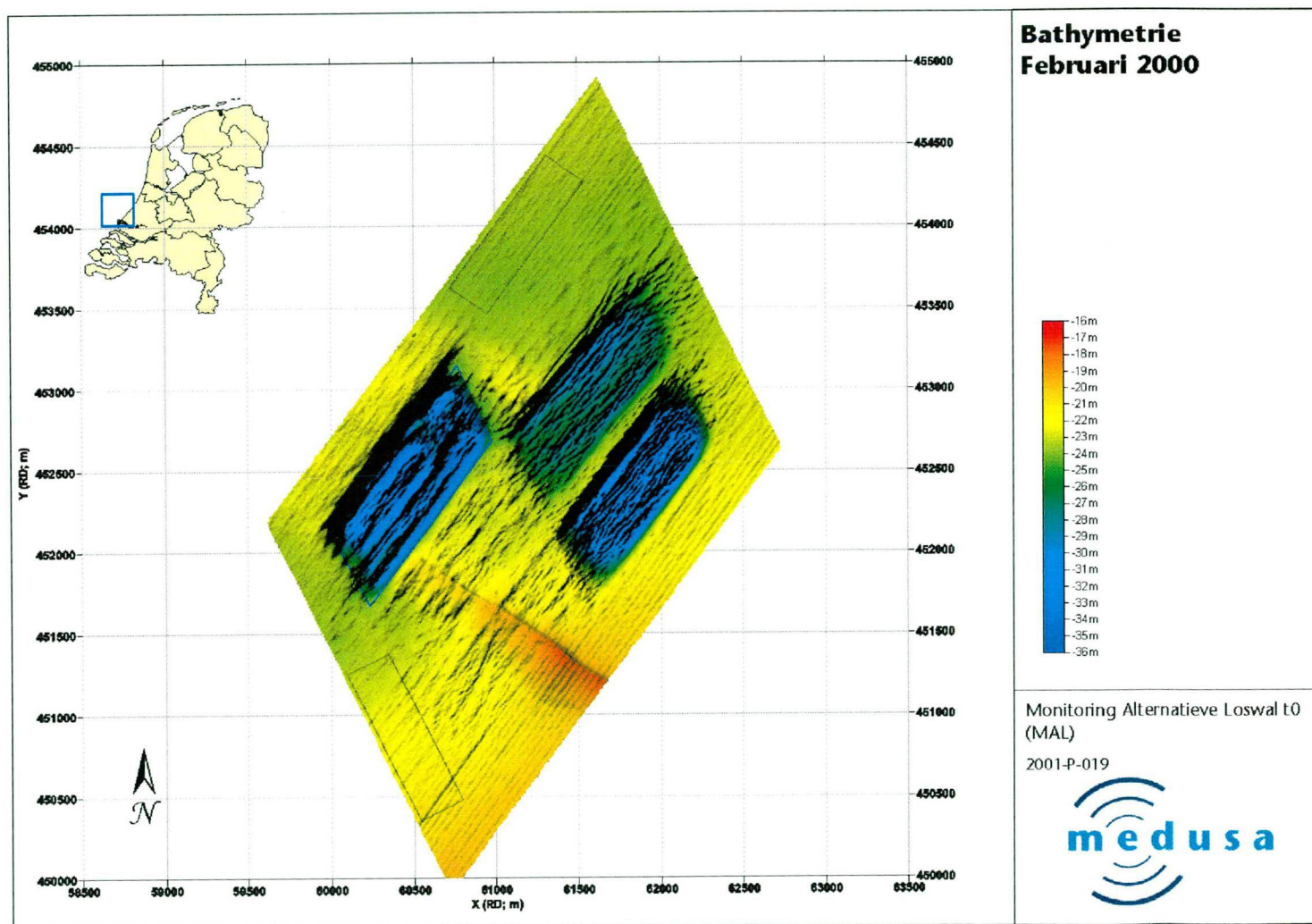
In het geval dat het slib afgedekt wordt door een laag autochtoon sediment, klopt de aanname van een homogene laag van 30 cm niet meer. Ook in dit geval kan het gemiddelde slibgehalte worden beschreven met een lagenmodel (beschreven in de figuren in sectie A.1). In dit model bestaat laag 2 uit slib; laag 1 bestaat uit zand. In figuur 10 is de situatie gesimuleerd dat een laag (met variabele dikte) van autochtoon sediment op een laag met slib ligt. Deze resultaten laten zien dat de MEDUSA meting de slibmassa met 57% onderschat als 10 cm zand op een slibpakket ligt.



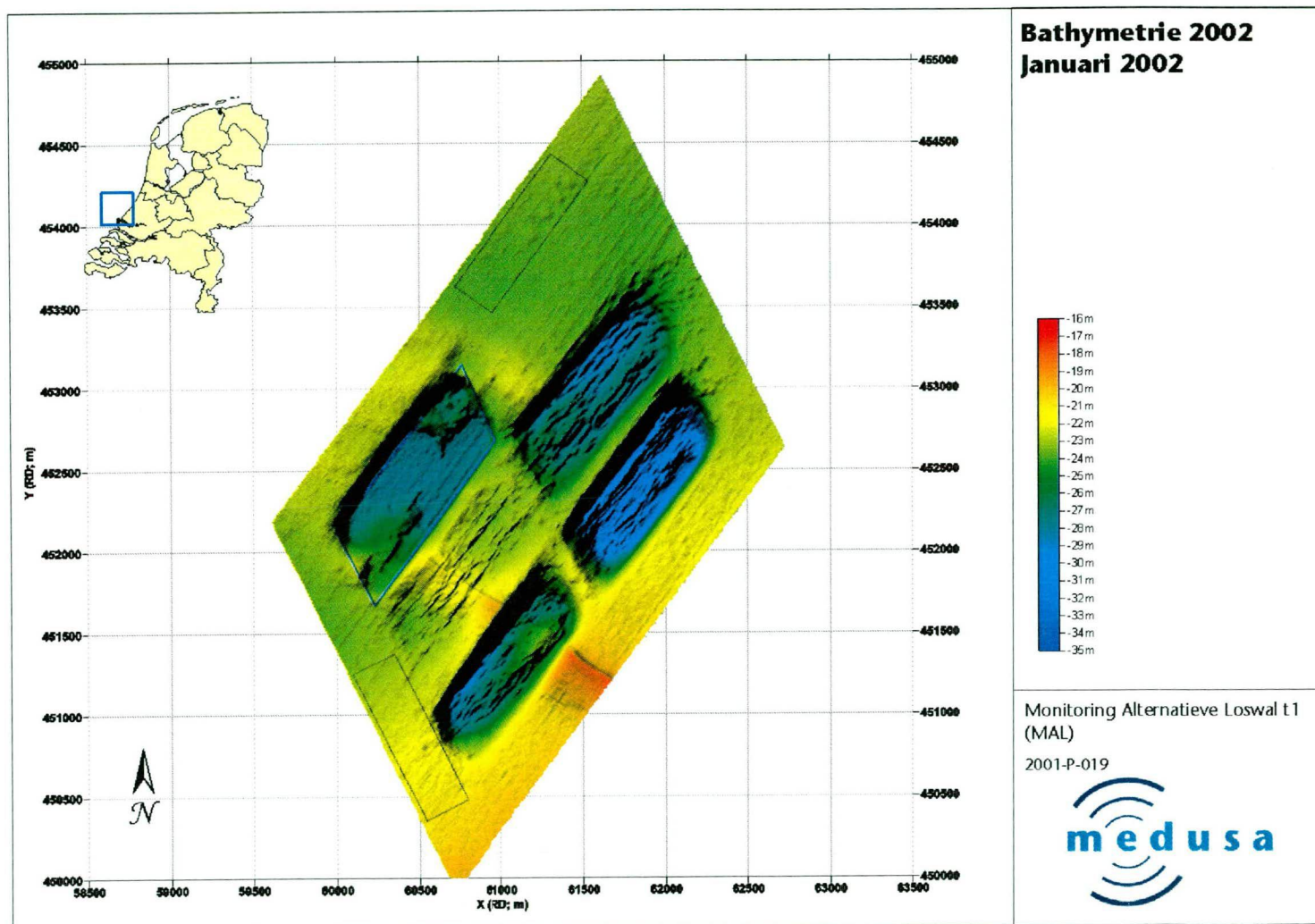
figuur 10: Onderschatting van het slibgehalte met een aanname van een 30 cm homogene laag, bij een situatie waar zand op een slibpakket ligt.

B. Figuren

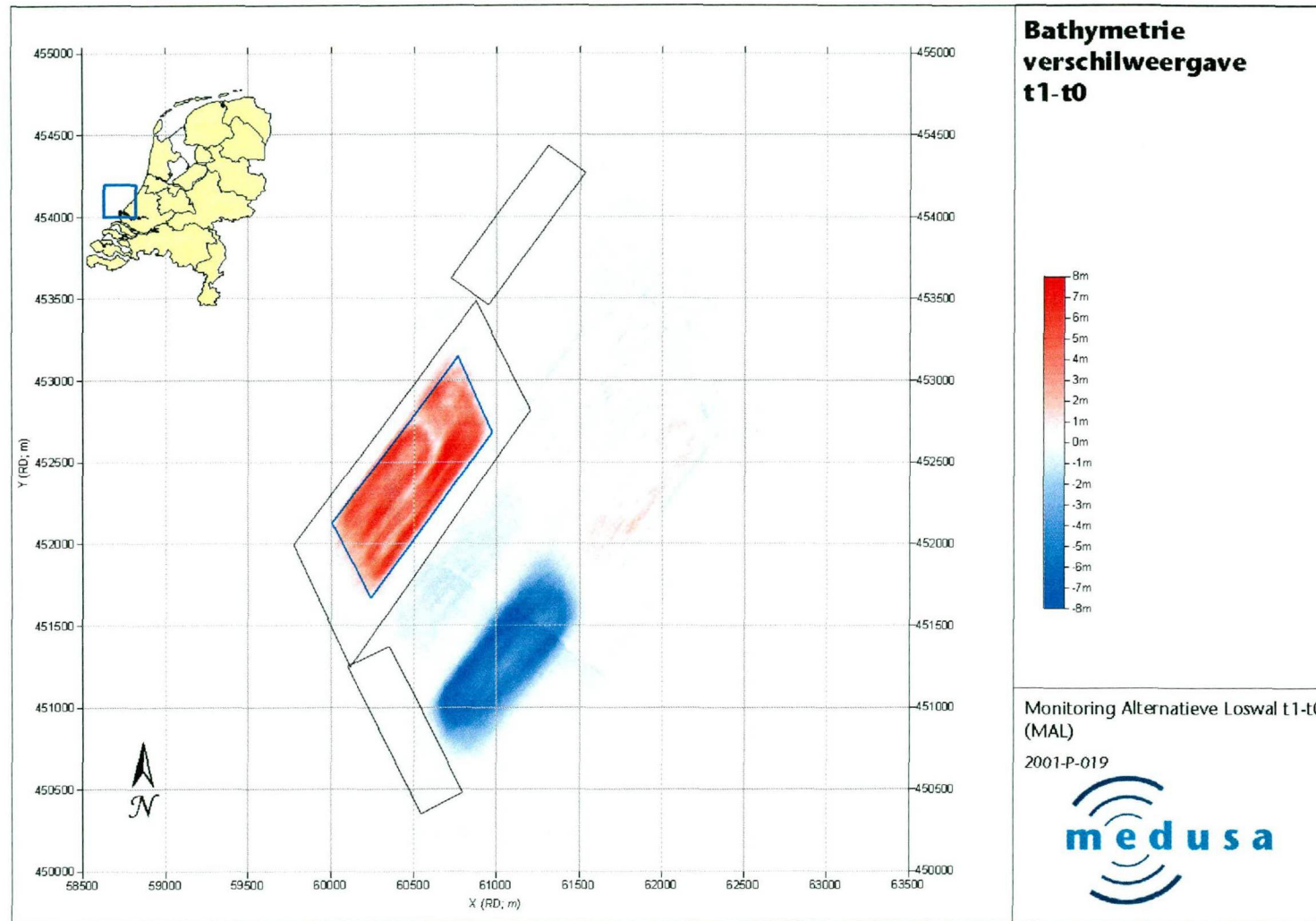
figuur 11: Opname van de bathymetrie in februari 2002.	
figuur 12: Opname van de bathymetrie in januari 2000.....	
figuur 13: Verandering in bodemhoogte tussen de t_1 en de t_0 meting.	
figuur 14: Kaart met verdeling van het slibgehalte in het sediment tijdens de t_0 meting. ...	
figuur 15: Kaart met verdeling van het slibgehalte in het sediment tijdens de t_1 meting. ...	
figuur 16: Kaart met verdeling van de fout in het slibgehalte in het sediment.	
figuur 17: Verandering in het slibgehalte tussen de t_1 en de t_0 meting.	



figuur 11: Opname van de bathymetrie in februari 2002.



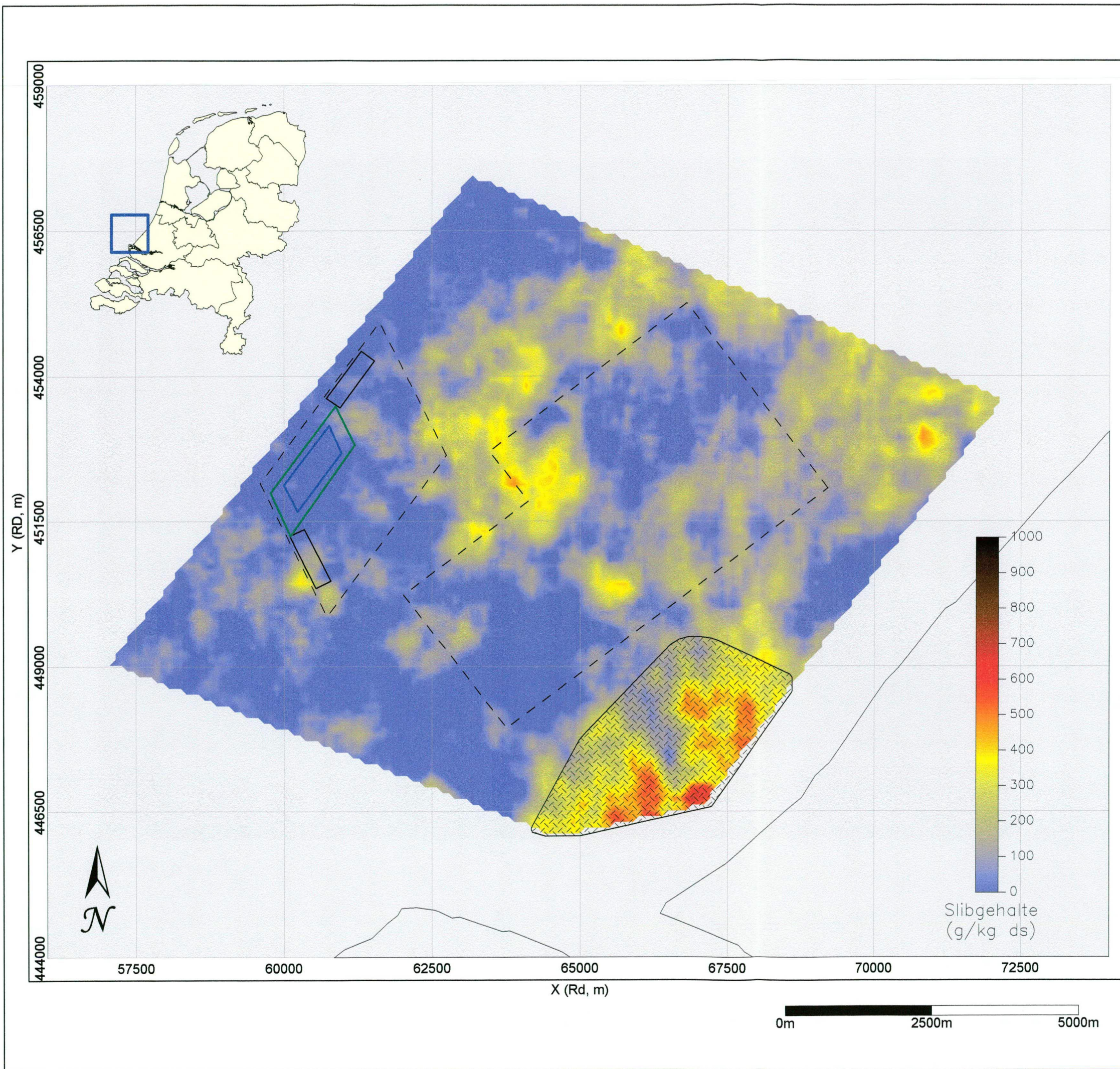
figuur 12: Opname van de bathymetrie in januari 2000



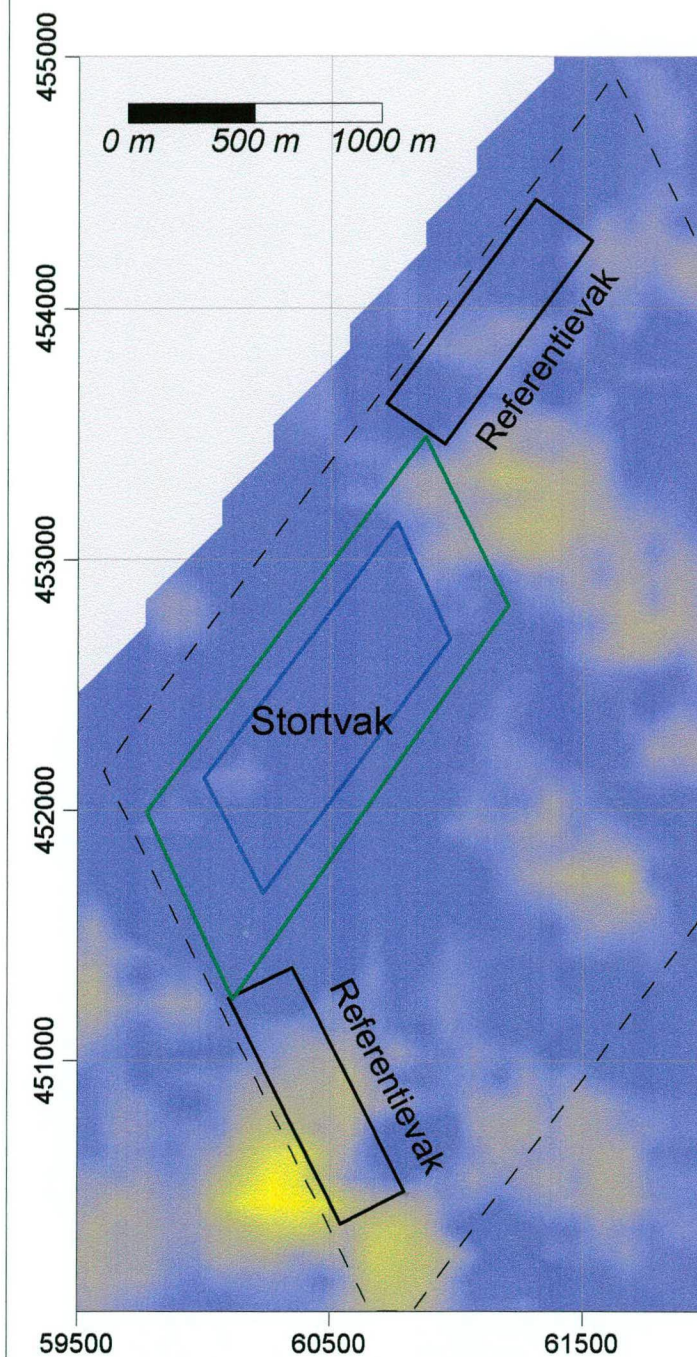
figuur 13: Verandering in bodemhoogte tussen de t_1 en de t_0 meting.

figuur 14: Kaart met verdeling van het slibgehalte in het sediment tijdens de t_0 meting.

figuur 15: Kaart met verdeling van het slibgehalte in het sediment tijdens de t_1 meting.

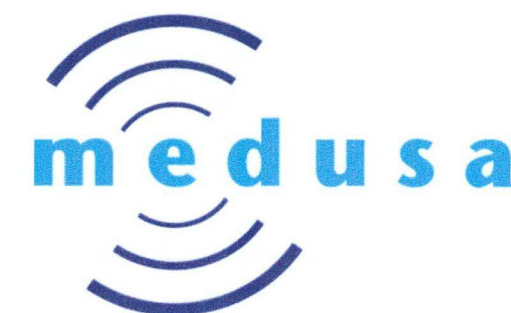


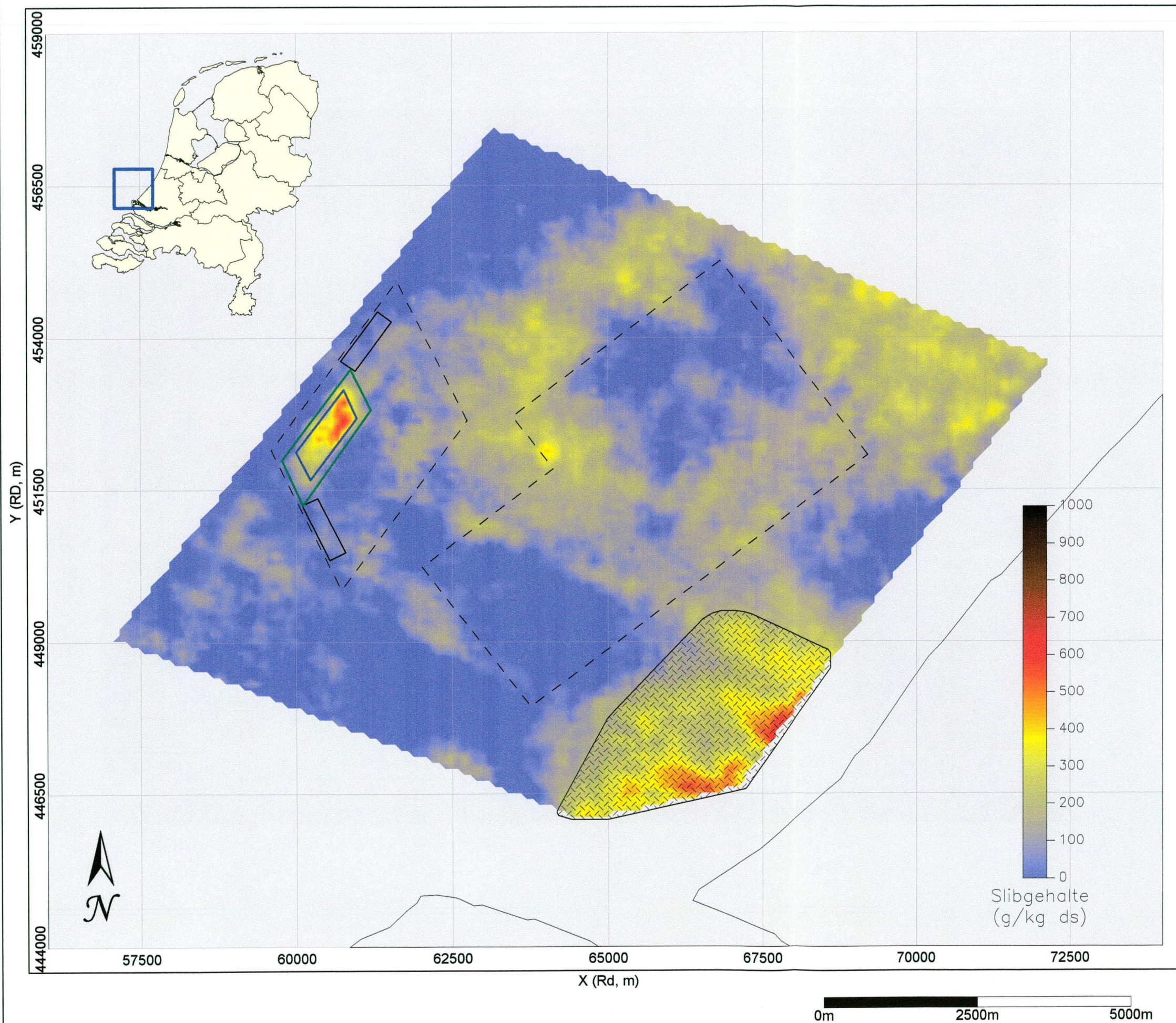
Slibkaart Januari 2000



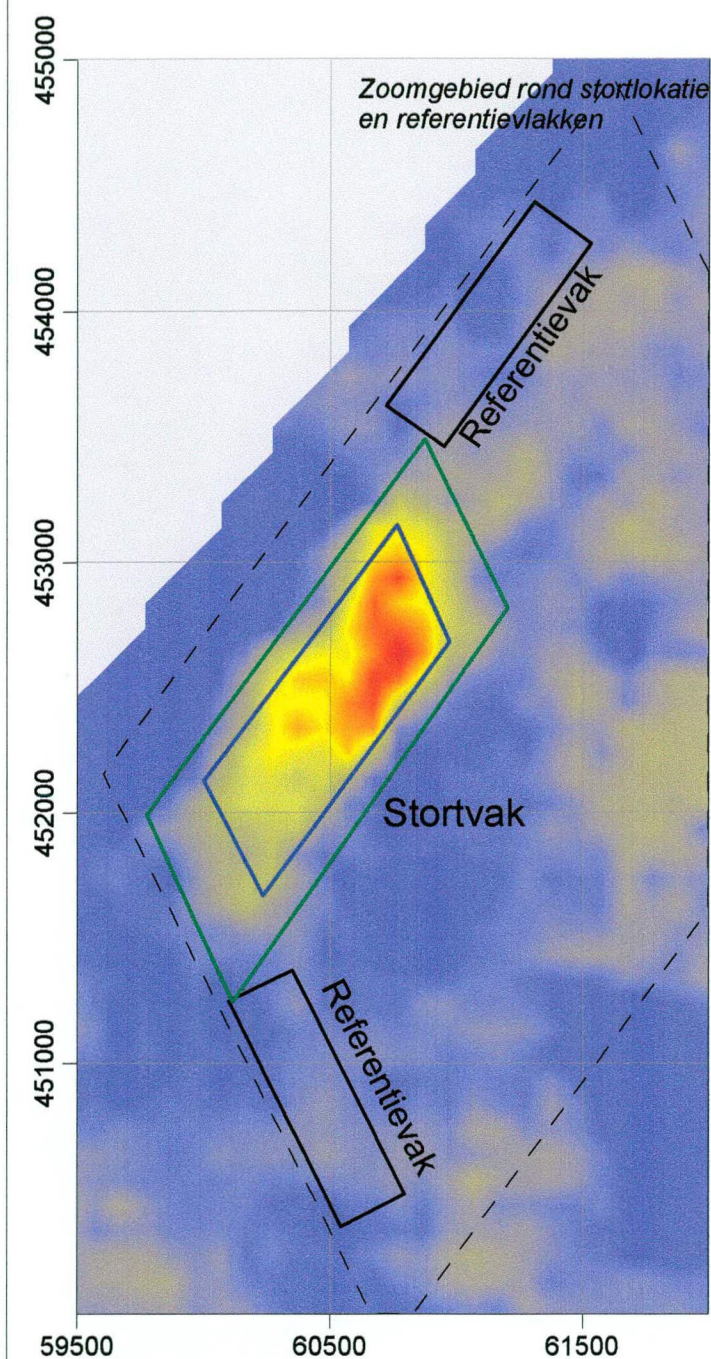
Monitoring Alternatieve Loswal to
(MAL)

2001-P-019



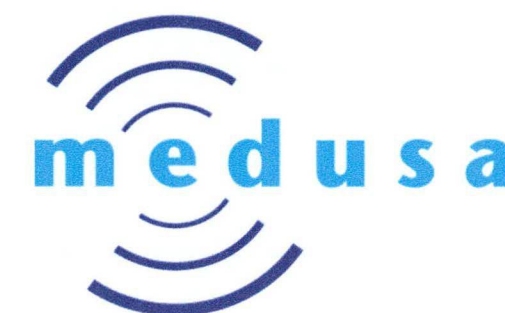


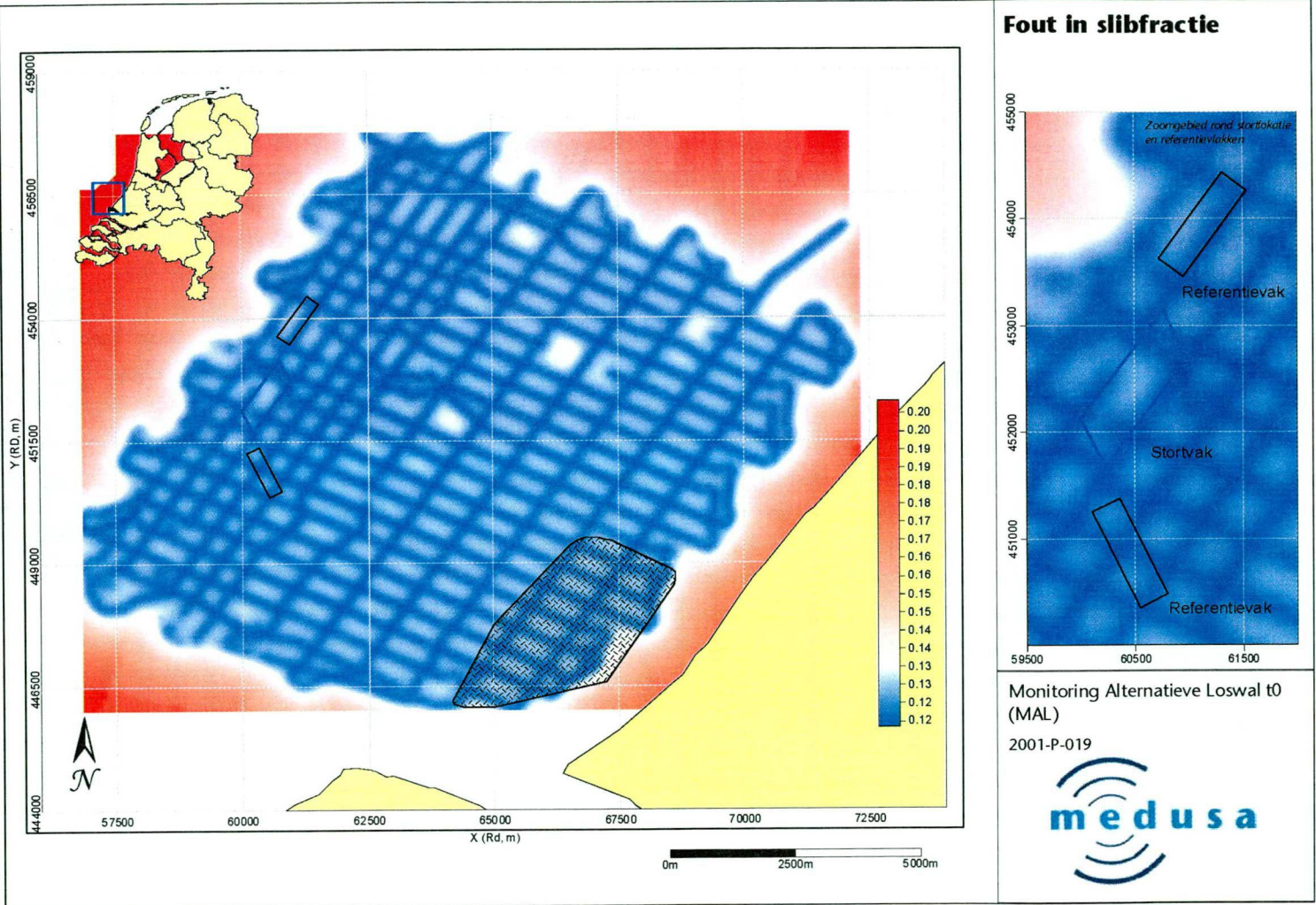
Slibkaart Februari 2002



Monitoring Alternatieve Loswal t₁
(MAL)

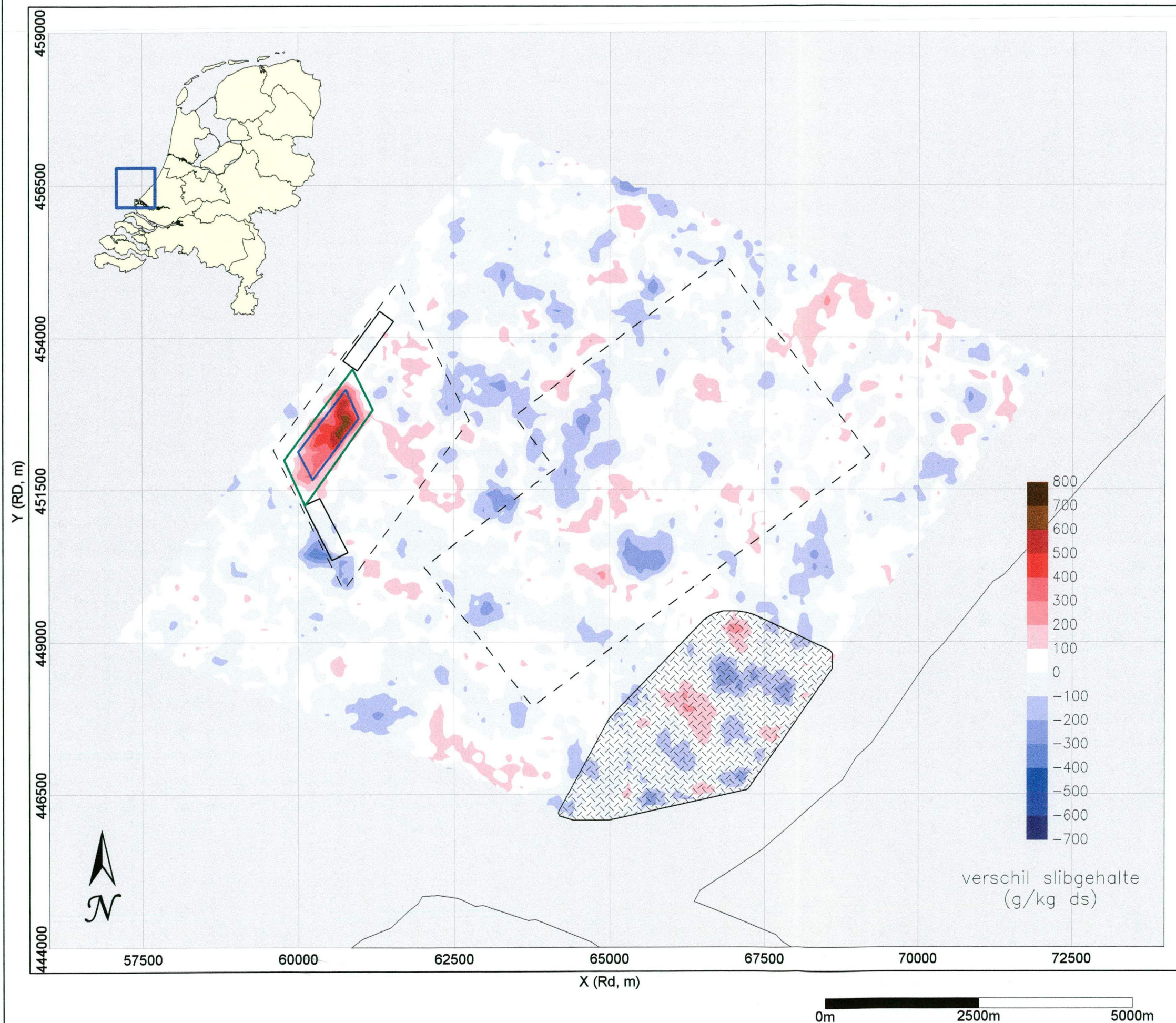
2001-P-019





figuur 16: Kaart met verdeling van de fout in het slibgehalte in het sediment.

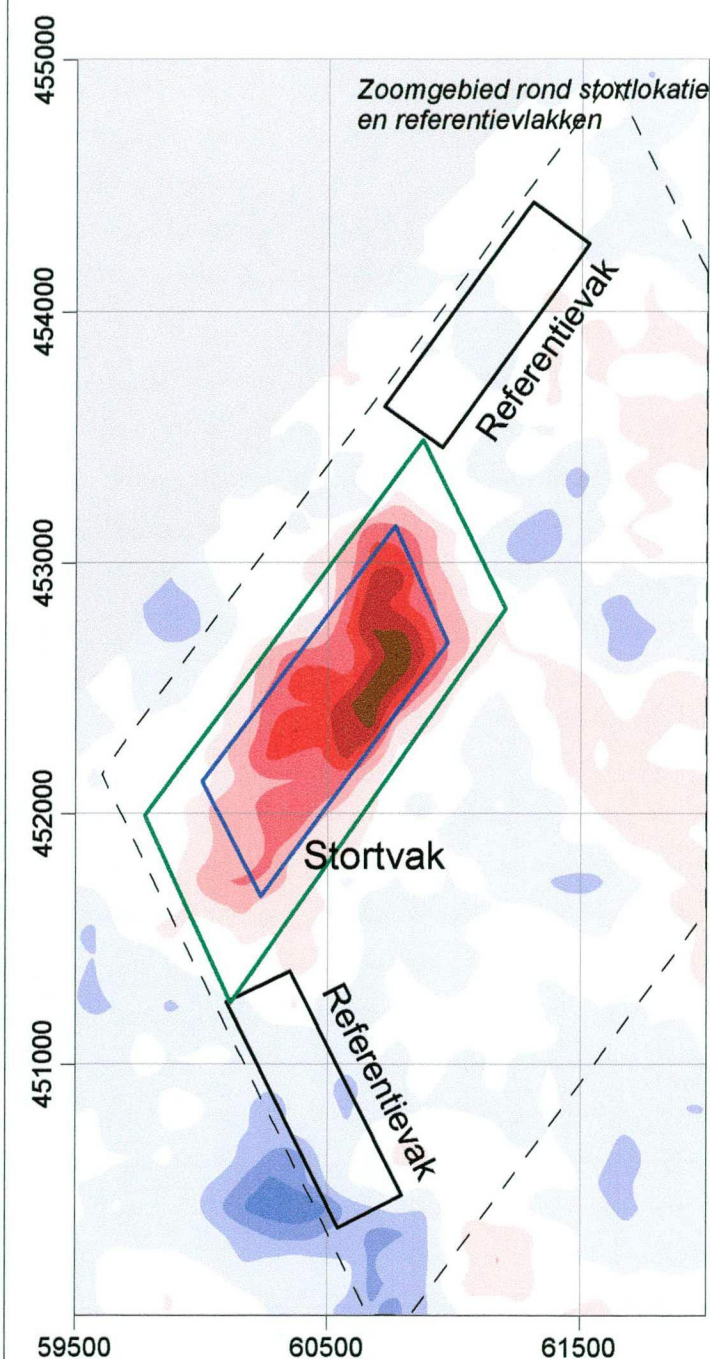
figuur 17: Verandering in het slibgehalte tussen de t_1 en de t_0 meting.



Slib verschilkaart

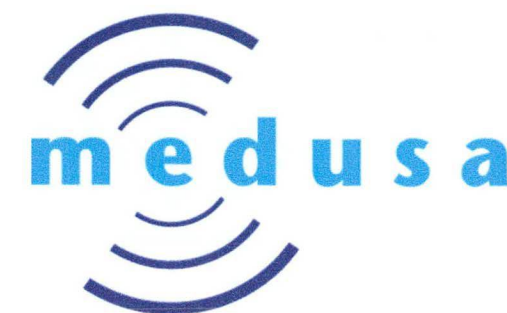
$t_1 - t_0$

Rood = toename / Blauw = afname



Monitoring Alternatieve Loswal $t_1 - t_0$
(MAL)

2001-P-019



Medusa Explorations BV

Zernikelaan 25

9747 AA Groningen

The Netherlands

t +31(0)50-363 35 41

f +31(0)50-123 45 67

w www.medusa-online.com

Medusa Explorations BV is a

University of Groningen company

RuG