
MEDUSA metingen in het Oostgat

De effectiviteit van een geulwand-suppletie

juni 02

Opdrachtgever: G. Nederbragt, RWS/RIKZ

MEDUSA Explorations BV project: 2001-P-015

Rapport: 2001-P-015-R4

Auteurs: 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	5
1.1 Kader	5
1.2 Probleemstelling	6
1.3 Dit rapport	6
1.4 Kwaliteitsborging	6
2 MONITORING VAN DE GEULWANDSUPPLETIE	8
2.1 Meetgebied	8
2.2 Uitvoering van de suppletie en monitoring	10
2.3 Golfhoogtes na de stort	11
3 GEDRAG VAN DE GEULWANDSUPPLETIE	12
3.1 Gedrag op basis van bathymetrische gegevens	12
3.1.1 Bathymetrische gegevens	12
3.1.2 Morfologisch gedrag geulwandsuppletie	15
3.2 Gedrag op basis van de fractie glauconiethoudend zand	17
3.2.1 Glauconietverdeling	17
3.2.2 Transport van glauconiethoudend zand	19
4 SEDIMENTBALANS	22
4.1 Totale volumebalans	22
4.2 Volumebalans van de fractie glauconiethoudend zand	25
5 CONCLUSIES	29
5.1 Beheersvragen	29
5.2 Onderzoeksvragen	29
6 AANBEVELINGEN	31
6.1 Beheersvragen	31
6.2 Onderzoeksvragen	31
7 REFERENTIES	33
APPENDIX A: BEPALING VAN HET GLAUCONIETGEHALTE	34
A.1 Sedimentanalyse	34
A.1.1 Korrelgrootte analyse	34
A.1.2 Analyse radiometrie	34
A.2 Fingerprint glauconiethoudend zand	35
A.3 Effecten van laagdikte	37
A.3.1 Laagmodel dunne laag glauconiethoudend zand op kwarts	37
A.3.2 Laagmodel bij afdekking door zand	39

Samenvatting

Aan de zuidwestkust van Walcheren worden maatregelen getroffen om de kustlijn te beschermen tegen erosie door de getijdegeul het 'Oostgat'. In dit gebied wordt het strand gefixeerd door zandsuppleties en harde bescherming (palenrijen). Het diepe gedeelte van de geulwand van het Oostgat erodeert echter continu en beweegt steeds verder richting de walcherse kust. Als gevolg van deze erosie en de fixatie van het strand wordt de vooroever van zuidwest Walcheren steeds steiler (Israël, 2001). Deze versteiling kan op termijn leiden tot problemen in het beheer van de kustlijn. De versteiling van de kust kan mogelijk worden tegengegaan door het grootschalig aanbrengen van zandsuppleties op de geulwand voor de kust. Het aanbrengen van een suppletie op een steile geulwand is echter nieuw en zal zijn effectiviteit moeten bewijzen.

In het kader van het project K2005*WSmond is een experiment uitgevoerd. In dit experiment is een geulwandsuppletie bestaande uit glauconiethoudend zand in het Oostgat aangebracht. Het glauconiethoudend zand fungeert als een tracer voor de verplaatsing van de geulwandsuppletie. Met behulp van de MEDUSA meettechniek kan deze verplaatsing in kaart worden gebracht. Samen met multibeam metingen zijn de MEDUSA metingen gebruikt om de effectiviteit en de verplaatsing van deze geulwandsuppletie in kaart te brengen.

Het onderzoek geeft antwoord op twee beheersvragen waarin de mogelijkheid van kustbescherming met een geulwandsuppletie centraal staan. Daarnaast zijn de gegevens vanuit een onderzoeksoogpunt geanalyseerd.

Beheersvragen

- Kan een suppletie worden aangebracht op een geulwand?

Van het gesuppleerde materiaal dat na het storten in het meetgebied teruggevonden is, is 80% in het stortvak terecht gekomen. Ongeveer 13% van het suppletiezand is direct na het storten in de richting van de geul gezakt, terwijl de overige 7% in de vakken rondom het stortvak terecht is gekomen. De monitoring van de stort toont aan dat het mogelijk is om een suppletie uit te voeren op deze geulwand in het Oostgat met een helling van 1:10.

- Wat is de effectiviteit van de geulwandsuppletie?

De metingen hebben laten zien dat de suppletie, ondanks sterke getijdestroming, binnen 15 weken niet is verdwenen. Na 15,5 week is 15% van het glauconiethoudend zand uit het stortvak verdwenen. Of de suppletie ook over een langere periode effectief is kan op basis van de huidige gegevens niet worden gezegd. Om de effectiviteit van de geulwandsuppletie in kaart te brengen zal de suppletie over een langere periode in kaart moeten worden gebracht.

Onderzoeksvragen

- Wat zijn de sedimenttransportpaden in het Oostgat?

De transportrichtingen en -mechanismen van het sediment in het Oostgat zijn bepaald door de gegevens van de morfologie en de verspreiding van het glauconiethoudend zand te combineren. Deze analyse laat zien dat het netto transport van sediment in zuidoostelijke richting plaatsvindt. Op de stortlocatie herverdelen de sedimenten en vormen twee morfologische structuren in de vorm van megaribbels. Deze structuren zijn asymmetrisch met een steilere helling naar het zuiden en verplaatsen in zuidelijke richting. Ten zuidwesten van de stort vinden in de geul grote morfologische veranderingen plaats als gevolg van de migratie van megaribbels. De metingen van de

verspreiding van het glauconiethoudend zand laten zien dat het glauconiethoudend zand dat vanaf de stort in de geul terecht komt in de migratie van de megaribbels wordt opgenomen en zo naar het zuidwesten wordt getransporteerd.

- *Is het mogelijk om de geulwandsuppletie te monitoren?*

In dit monitoringsproject is voor het eerst gebruik gemaakt van de combinatie van zeer gedetailleerde metingen van bathymetrie met een multibeam systeem en van metingen van bodemsamenstelling met MEDUSA. De multibeam gegevens laten zien dat ribbelstructuren migreren en dat de twee bulten van de suppletie van vorm veranderen. Op basis van de MEDUSA metingen is de verspreiding van het glauconiethoudend zand op en rond de stort in kaart gebracht.

De metingen tonen aan dat het het glauconiethoudend zand goed is te monitoren. De combinatie van de multibeam en MEDUSA gegevens tonen aan dat niet alle morfologische veranderingen het gevolg zijn van de verplaatsing van glauconiethoudend zand. De continue migratie van ribbelstructuren in het gebied zorgen ervoor dat autochtoon en allochtoon sediment door het gebied migreert.



1 Inleiding

1.1 Kader

De zandige kustlijn in Zeeland is uit oogpunt van veiligheid en economie een belangrijk gebied. Op sommige locaties treedt sterke erosie op en wordt het strand kunstmatig op zijn plaats gehouden. In het verleden is dit gebeurd door “harde” structuren langs de kustlijn te plaatsen (bijvoorbeeld palenrijen) maar het blijkt dat deze ingrepen elders langs de kust erosie tot gevolg kunnen hebben. Daarom is men de laatste decennia tot het inzicht gekomen dat “zachte” oplossingen, zoals het opspuiten van zand op het strand of op de onderwateroever, veel effectiever en goedkoper zijn.

Ook langs de kust van Zuidwest Walcheren worden maatregelen getroffen om de kustlijn te beschermen. In dit gebied wordt het strand gefixeerd door zandsuppleties en harde bescherming (palenrijen). Het probleem is echter dat het diepe gedeelte van de geulwand van het Oostgat continu erodeert en zich steeds verder richting de kust beweegt (figuur 1). Als gevolg van deze erosie onder water en de fixatie van het strand wordt de vooroever van zuidwest Walcheren steeds steiler (Israël, 2001). Deze versteiling kan nadelige gevolgen hebben voor de stabiliteit van de kust.

De versteiling van de kust voor Walcheren kan mogelijk worden tegengegaan door het grootschalig aanbrengen van zandsuppleties op de geulwand voor de kust. Met het aanbrengen van een suppletie op een, relatief steile, geulwand is binnen Rijkswaterstaat geen ervaring. Het is niet bekend of het mogelijk is om een suppletie op een geulwand aan te brengen zonder dat het suppletiezand gelijk in de geul terechtkomt en de effectiviteit van de suppletie zal in kaart gebracht moeten worden.

In het kader van het project K2005*WSmond (WS staat voor Westerschelde) vindt door Rijkswaterstaat-RIKZ een onderzoek plaats naar de morfologische interactie tussen de Westerscheldemonde en aangrenzende gebieden. Het project K2005*WSmond maakt deel uit van KUST*2005. KUST*2005 is een landelijk onderzoeksprogramma van Rijkswaterstaat-RIKZ. Binnen dit programma wordt kennis ontwikkeld over processen in het kustgebied om het kustbeheer te optimaliseren. In dit programma wordt enerzijds kennis ontwikkeld ten aanzien van het morfologische kuststelsel, anderzijds wordt ervaring opgedaan met het gebruik van innovatieve meet- en modelleermethoden.

K2005*WSmond draagt bij aan de volgende generieke einddoelen (Israël, 2001):

- Begrip en voorspelling van morfologische ontwikkeling van zeegatsystemen in Delta en Wadden.
- Ontwikkelen van een methodiek om het jaargemiddelde zandtransport te bepalen.

Vanuit deze generieke einddoelen zullen oplossingsrichtingen gedestilleerd worden voor beheersproblemen van de Regionale Directies van Rijkswaterstaat.

1.2 Probleemstelling

Dit rapport tracht antwoord te geven op twee beheers- en onderzoeksvragen:

Beheersvragen

- Kan een suppletie op een geulwand worden aangebracht?
- Wat is de effectiviteit van een geulwandsuppletie?

Onderzoeksvragen

- Wat is de netto sedimenttransportrichting in het proefgebied in het Oostgat?
- Is het mogelijk om de geulwandsuppletie met behulp van multibeam en MEDUSA te monitoren?

Om inzicht te krijgen in de transportrichting van het sediment in een deel van de Westerscheldemonnd is voorzien in een tracerproef in het Oostgat (figuur 1). De tracer bestaat uit glauconiethoudend zand, afkomstig uit de Westerscheldetunnel, dat als een geulwandsuppletie op een locatie in het Oostgat wordt gestort. Doordat deze tracer andere radiometrische eigenschappen heeft dan de bodem in het Oostgat is het mogelijk deze te monitoren met de MEDUSA-meettechniek. Dit geeft inzicht in de netto sedimenttransportrichting en in de netto sedimenttransportsnelheid van de tracer. Hieruit kan de effectiviteit van de suppletie worden afgeleid.

1.3 Dit rapport

Dit rapport geeft de synthese van de monitoringsresultaten van de geulwandsuppletie. De resultaten van alle metingen zijn eerder gepresenteerd in drie afzonderlijke datarapporten (Koomans *et al.*, 2002a; Koomans *et al.*, 2002b; Oosterhoff *et al.*, 2002).

In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van het monitoringsprogramma. Hoofdstuk 3 beschrijft de metingen van bathymetrie en bodemsamenstelling; in hoofdstuk 4 worden deze gegevens gecombineerd om tot een model te komen van de morfologische verandering van de stort. Op basis van deze informatie wordt in hoofdstuk 5 antwoord gegeven op de hierboven gestelde vragen.

In appendix A wordt de analyse van elf sedimentmonsters besproken. Op basis van deze analyse wordt de “fingerprint” van glauconiethoudend zand afgeleid om de verdeling van glauconiethoudend zand in het meetgebied te kunnen berekenen. Daarnaast wordt ingegaan op de nauwkeurigheid van de bepaling van de hoeveelheid glauconiethoudend zand.

In grijze blokken in de tekst worden de belangrijkste resultaten van het onderzoek in de tekst samengevat.

1.4 Kwaliteitsborging

Aan de totstandkoming van de metingen, tussenrapportages en eindrapportage van de MEDUSA metingen in het project K2005*WSmond is door verschillende medewerkers van MEDUSA Explorations BV bijgedragen. J.F. Nicolaas en B.A. de Meijer hebben tijdens en na de metingen zorg gedragen voor data inwinning en dataverwerking. Ing. E. Oosterhoff heeft de

datasynthese uitgevoerd en heeft bijgedragen aan de datarapportages van de vijf meetcampagnes. Het synthesesrapport en bijbehorende analyse zijn geschreven door en onder redactie van dr. R.L. Koomans. Dr. J. Limburg heeft gezorgd voor een interne kwaliteitscontrole van dit eindrapport.

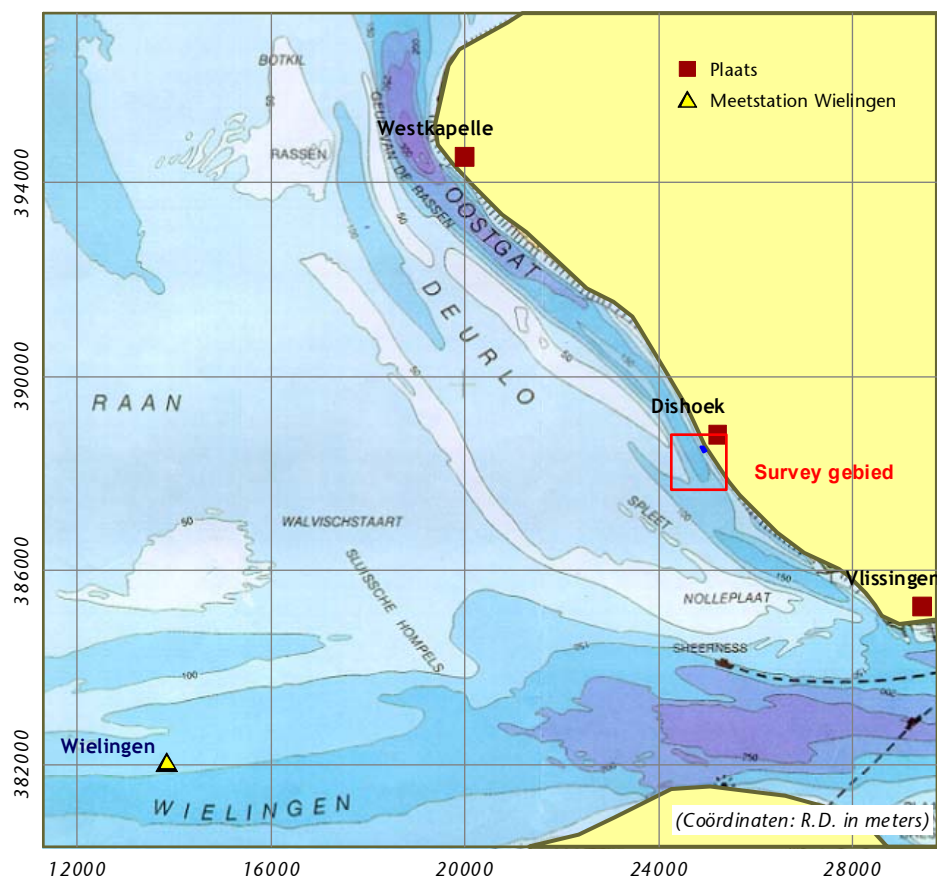


Palenrijen langs het strand nabij het onderzoeksgebied

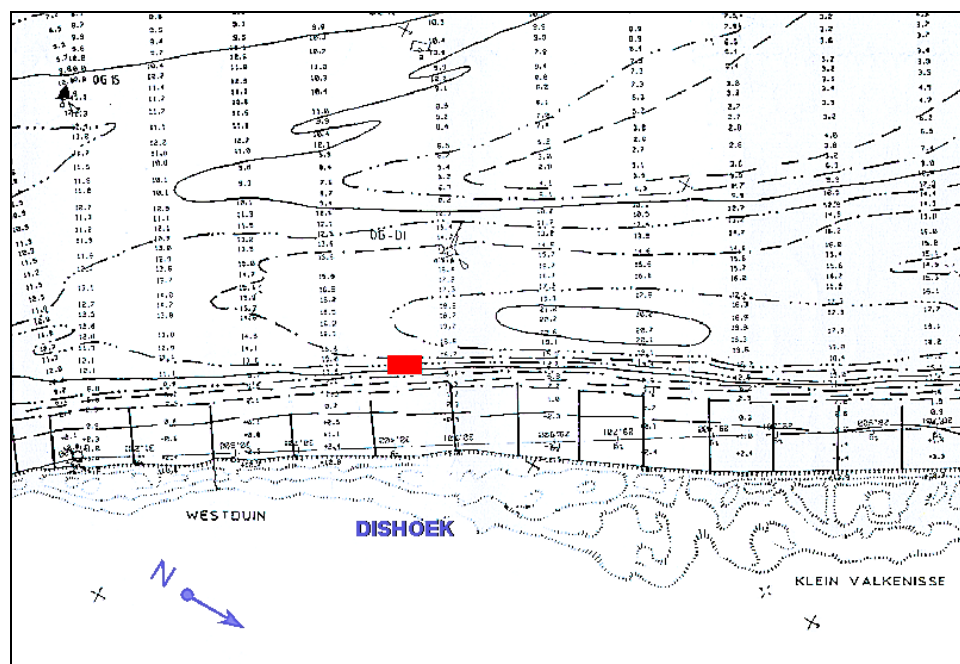
2 Monitoring van de geulwandsupletie

2.1 Meetgebied

Het meetgebied ligt ten Zuidwesten van Walcheren in de geul 'Oostgat' ter hoogte van Dishoek (figuur 1). Het stortvak ligt tussen NAP -7.5 m en -15 m en heeft een omvang van 100m bij 50 m. Op de locatie van het stortvak heeft de geul een helling van ongeveer 1:10.



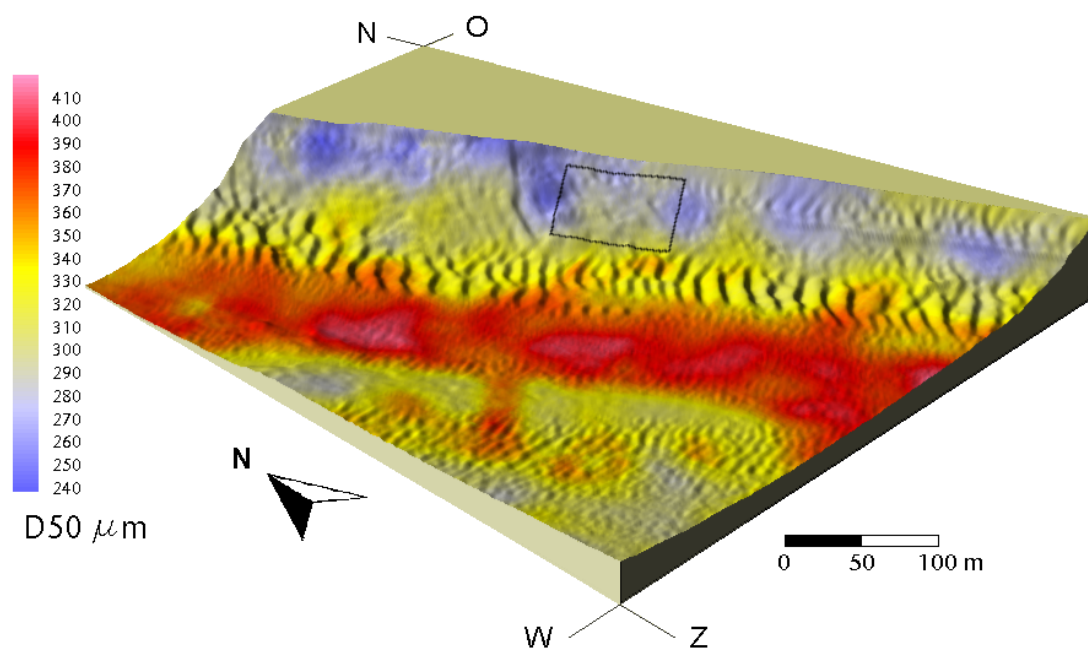
figuur 1: Locatie van het meetgebied (rode vierkant).



figuur 2: Detailopname van de bathymetrie rondom de stortlocatie (rode vierkant).

Figuur 3 geeft een beeld van de korrelgrootteverdeling van het sediment (bepaald met een MEDUSA meting (Koomans, 2001)) en de morfologie (gemeten met multibeam) in en rond het stortgebied tijdens de t_0 kartering. In figuur 3 is duidelijk te zien dat het stortvak op een helling ligt. Ten zuiden van het stortvak komen megaribbels (met een golflengte van ongeveer 20 m en een hoogte van ongeveer 0.5 m) voor die dwars op de kust (loodrecht op de getijdestroming) zijn gesitueerd. De hoogte van deze ribbels neemt hoger op het talud af. In de centrale as van de geul zijn de sedimenten het grofst en komen kleinere ribbelstructuren voor. Ten zuidwesten van de geulas ligt een gebied met fijne sedimenten waar ribbelvormen afwezig zijn. Verder zuidelijk worden de sedimenten weer grover en neemt de ribbelintensiteit toe.

Deze metingen laten zien dat het gebied een grote variatie vertoont in morfologische structuren en bodemsamenstelling. De kaart in figuur 3 laat duidelijk zien dat er een relatie bestaat tussen de verdeling van de korrelgrootte van de sedimenten, de positie in de geul en het voorkomen van morfologische structuren.



figuur 3: Korrelgrootteverdeling (D50) gedrapeerd over een 3D kaart van de bathymetrie van het surveygebied. Het zwarte kader geeft het stortvak aan. De pijl wijst naar het noorden.

Het Oostgat is een getijdegeul waar tijdens springtij bij eb en vloed op 1 m boven de bodem stroomsnelheden tot 0.8 ms^{-1} worden gemeten (Anoniem, 2000). Naar verwachting speelt golfwerking en belangrijke rol in het kustdwarse sedimenttransport.

Op de stortlocatie zijn ribbelstructuren afwezig en zijn de sedimenten fijn ($D50 \cong 280 \mu\text{m}$) vergeleken met de sedimenten dieper in de geul ($D50 \cong 400 \mu\text{m}$).

2.2 Uitvoering van de suppletie en monitoring

Vóór de uitvoering van de stort is een kartering uitgevoerd om de t_0 situatie van het gebied in kaart te brengen. Na deze kartering is de stort gestart. Hierbij is 10.000 m^3 glauconiethoudend zand in het stortvak aangebracht door 22 storten van ieder 450 m^3 . Het volume van het gestorte materiaal is op twee manieren bepaald. Bij het vullen van het baggerbeun is het aantal (afgestreken) shovels geteld. Na het vullen van het beun is het volume in het beun handmatig met behulp van een peilstok bepaald.

Om verspreiding van sediment als gevolg van de sterke getijdestroming te minimaliseren is alleen tijdens de kentering van hoog- en laagwater gestort. Het vak is in twee delen opgevuld: eerst is het sediment in het zuidoostelijke deel van het vak aangebracht; vervolgens is het sediment in het noordwestelijke deel van het stortvak gestort. Nadat het zuidoostelijke deel van het vak is gevuld is de $t_{0.5}$ kartering uitgevoerd.

Na het storten is de verplaatsing van de suppletie met drie karteringen: 1.5 week, 4.5 week en 15.5 week na het beëindigen van de stort in kaart gebracht (zie tabel 1).

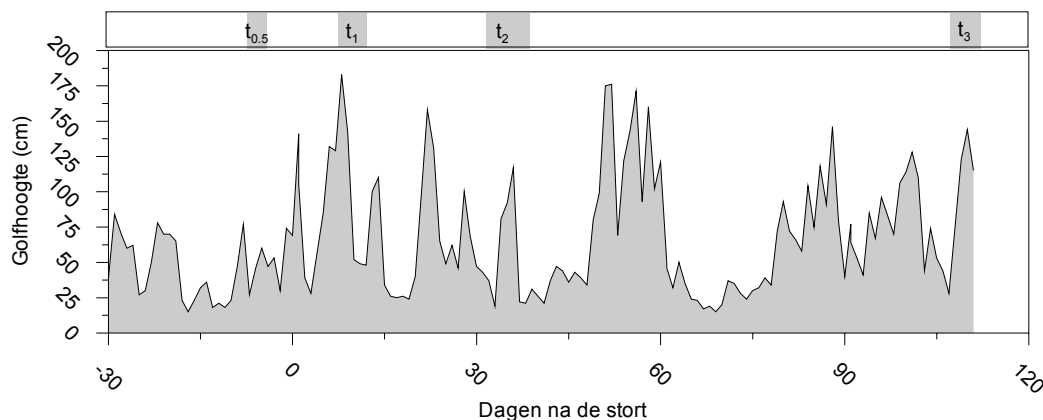
tabel 1: Tijdschema van de uitvoering van de stort en de karteringen.

Begin	Eind	Weken na eind stort	Activiteit
17/09/2001	20/09/2001	-5	t_0 kartering
15/10/2001	30/10/2001		storten
23/10/2001	25/10/2001		$t_{0.5}$ kartering
09/11/2001	11/11/2001	1.5	t_1 kartering
02/12/2001	08/12/2002	4.5	t_2 kartering
18/02/2002	22/02/2002	15.5	t_3 kartering

2.3 Golfhoogtes na de stort

Tijdens en na de stort van het glauconiethoudend zand is de significante golfhoogte bij Wielingen gemeten (figuur 4). Het meetpunt Wielingen ligt ten zuidwesten van de stortlocatie (figuur 1).

De metingen laten zien dat na de stort een aantal stormen over het gebied getrokken zijn. Vlak voor de t_1 kartering is een golfhoogte van 175 cm gemeten. Ook in de periode tussen de t_1 en de t_2 kartering heeft tenminste één storm gewoed. Tussen de t_2 en de t_3 kartering zijn drie perioden met verhoogde golfslag geweest.



figuur 4: Significante golfhoogtes op het meetpunt Wielingen, gemiddeld over één dag, voor, tijdens en na de stort. De grijze balkjes boven de grafiek geven de monitoringsmomenten aan.

In de monitoringsperiode zijn een aantal stormachtige periodes voorgekomen die voor stevige golfslag hebben gezorgd. Deze golfslag kan de morfologie van de stortlocatie hebben beïnvloed.

3 Gedrag van de geulwandsuppletie

3.1 Gedrag op basis van bathymetrische gegevens

In het t_3 datarapport is geconstateerd dat de bathymetrische gegevens onnauwkeurigheden vertonen. Een deel van deze onnauwkeurigheden is het gevolg van moeilijke surveyomstandigheden (in de t_1 kartering is door ongunstig getij een deel bovenin het stortvak niet meegenomen) en weerscondities (in de t_3 kartering was er hoge golfslag). Om onnauwkeurigheden als gevolg van de gridresolutie uit te sluiten, zijn de bodemgegevens door de meetdienst Zeeland opnieuw nabewerkt tot een grid met een resolutie van 2 x 2 m.

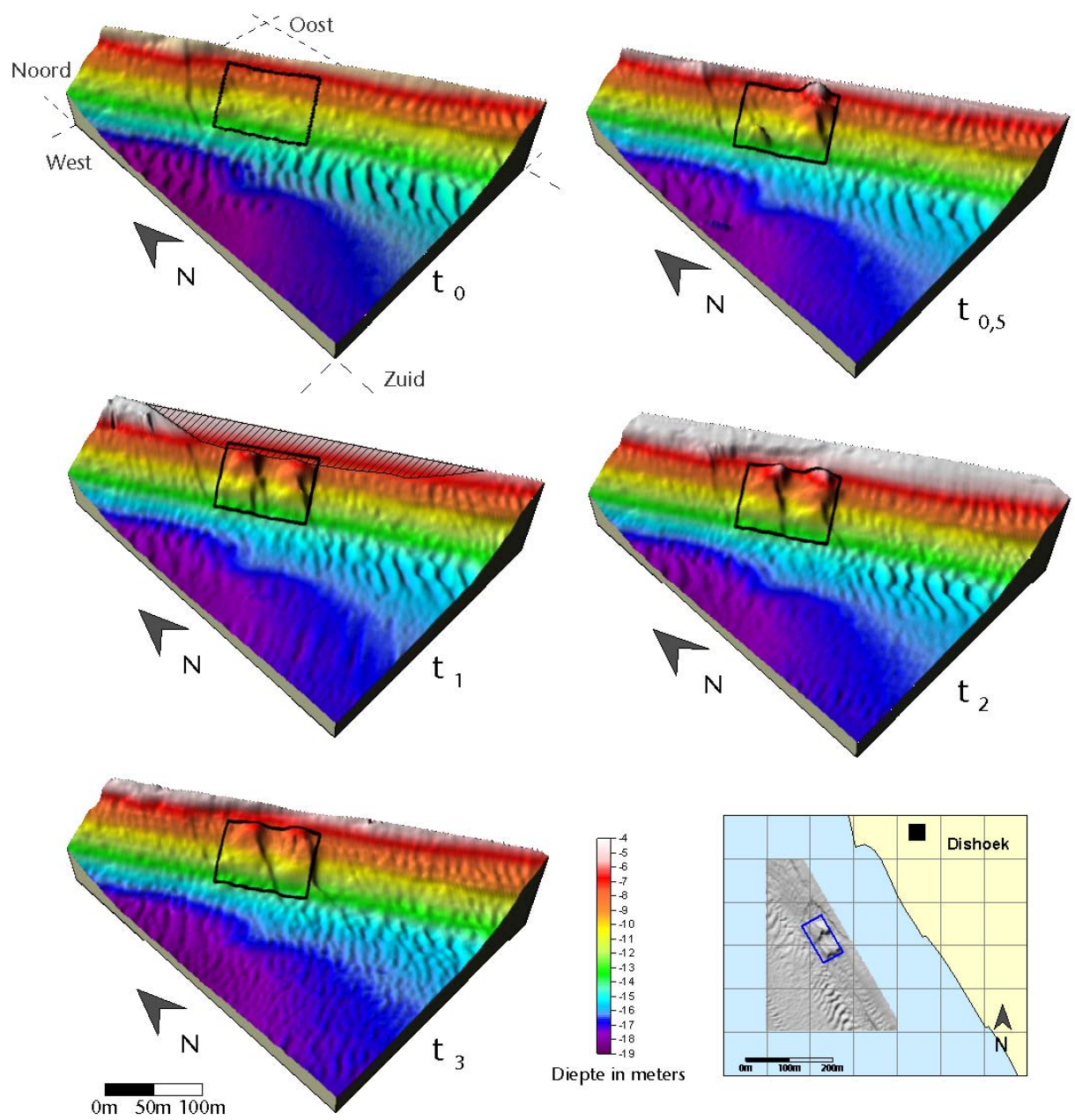
3.1.1 Bathymetrische gegevens

De hoge-resolutie bathymetrische gegevens (Figuur 5) laten zien dat aan de 'teen' van het talud grote ribbels voorkomen terwijl de ribbels op het talud zelf minder groot zijn. Ook op de geulbodem zijn relatief weinig ribbels te zien. In de $t_{0.5}$ kartering, halverwege de stort, is te zien dat er in de zuidelijke helft van het stortvak is gestort (waardoor een bult te zien is). In het noordelijke gedeelte van het stortvak is een kleine bult zichtbaar. Dit zou het gevolg kunnen zijn van de stort van suppletiezand in het noordelijk deel van het stortvak.

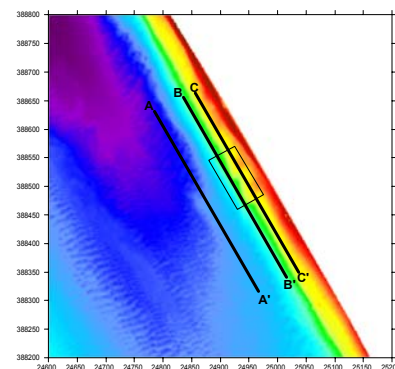
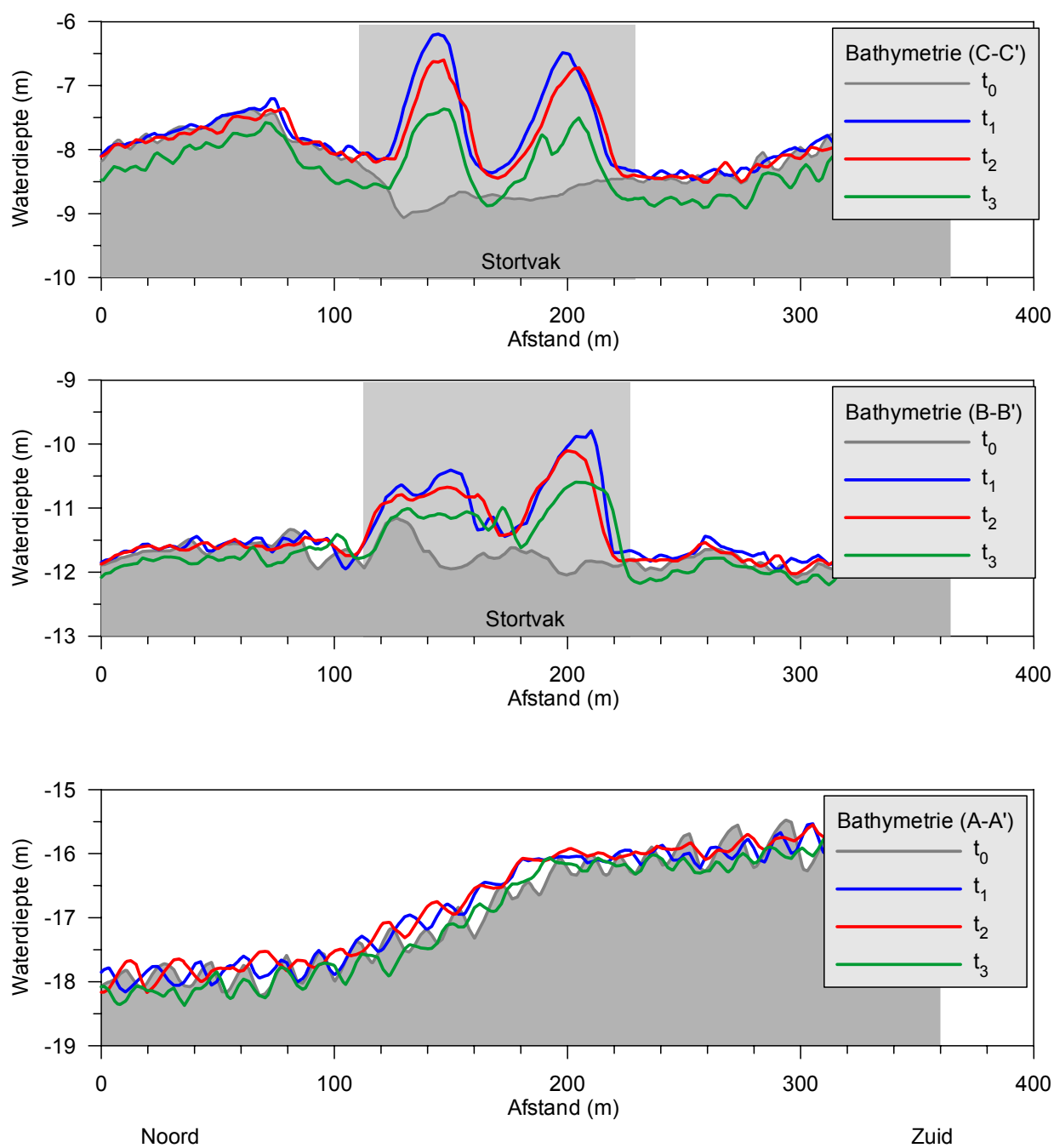
In de t_1 kaart is duidelijk te zien dat er twee bulten binnen het vak zijn gestort. Als gevolg van slechte weersomstandigheden en een ongunstig getij kon met de multibeam niet dicht bij het strand worden gemeten. Hierdoor is het ondiepste stuk van het stortvak niet ingemeten (het gearceerde stuk in figuur 5). De bathymetrie in dit stuk is bepaald door extrapolatie van de meetgegevens. De ontbrekende gegevens beslaan 23% van het stortoppervlak. Bij de kuberingsberekeningen moet hiermee rekening worden gehouden.

De opnames van de t_2 kartering laten zien dat de gestorte bulten van vorm veranderen. Aan de westkant lijken er ribbelvormige uitstulpingen te ontstaan. In de t_3 opname is de verdere uitbreiding van deze ribbelvormige uitstulpingen te zien. In de t_1 kartering lijkt er ten noorden van het stortvak een verhoging in de bathymetrie voor te komen die met een lichte hoek dwars op de kustlijn staat. Deze verhoging blijft in alle metingen zichtbaar. De kammen van de twee bulten in het stortvak liggen in de t_3 kartering parallel aan deze verhoging.

Bij de t_3 kartering is er gebruik gemaakt van een ander vaartuig met een ander multibeamstelsel (tijdens de t_0 - t_2 kartering is gebruik gemaakt van het Kongsberg-Simrad EM3000D systeem; tijdens de t_3 kartering is het EM3000S systeem gebruikt) en was er, als gevolg van slechte weersomstandigheden, hoge golfslag. Dit kan mogelijk verklaren waarom de ribbels op de 'teen' van het talud minder ontwikkeld zijn en waardoor het oppervlak van de geulbodem bobbeler is dan alle voorgaande karteringen.



figuur 5: Multibeam opnamen van bathymetrie. Het gearceerde gebied in de t_1 opname geeft de ontbrekende data aan.



figuur 6: Waterdieptes tijdens de vier karteringen langs drie kustparallelle transecten door en langs het stortvak.

In figuur 6 zijn drie doorsneden van de morfologie parallel aan de kust te zien. Deze metingen laten zien dat de hoogte van de twee bulten kustdwars in hoogte variëren (van 3 m langs transect C-C' tot 1.5 m langs transect B-B'). In alle profielen ligt het t_3 transect onder de overige metingen. Deze offset in de data van de t_3 meting lijkt over het hele profiel voor te komen. In sectie 4.1 wordt een correctie voor deze offset beschreven. In transect (A-A') zijn duidelijk de megaribbels aan de voet van het talud te herkennen.

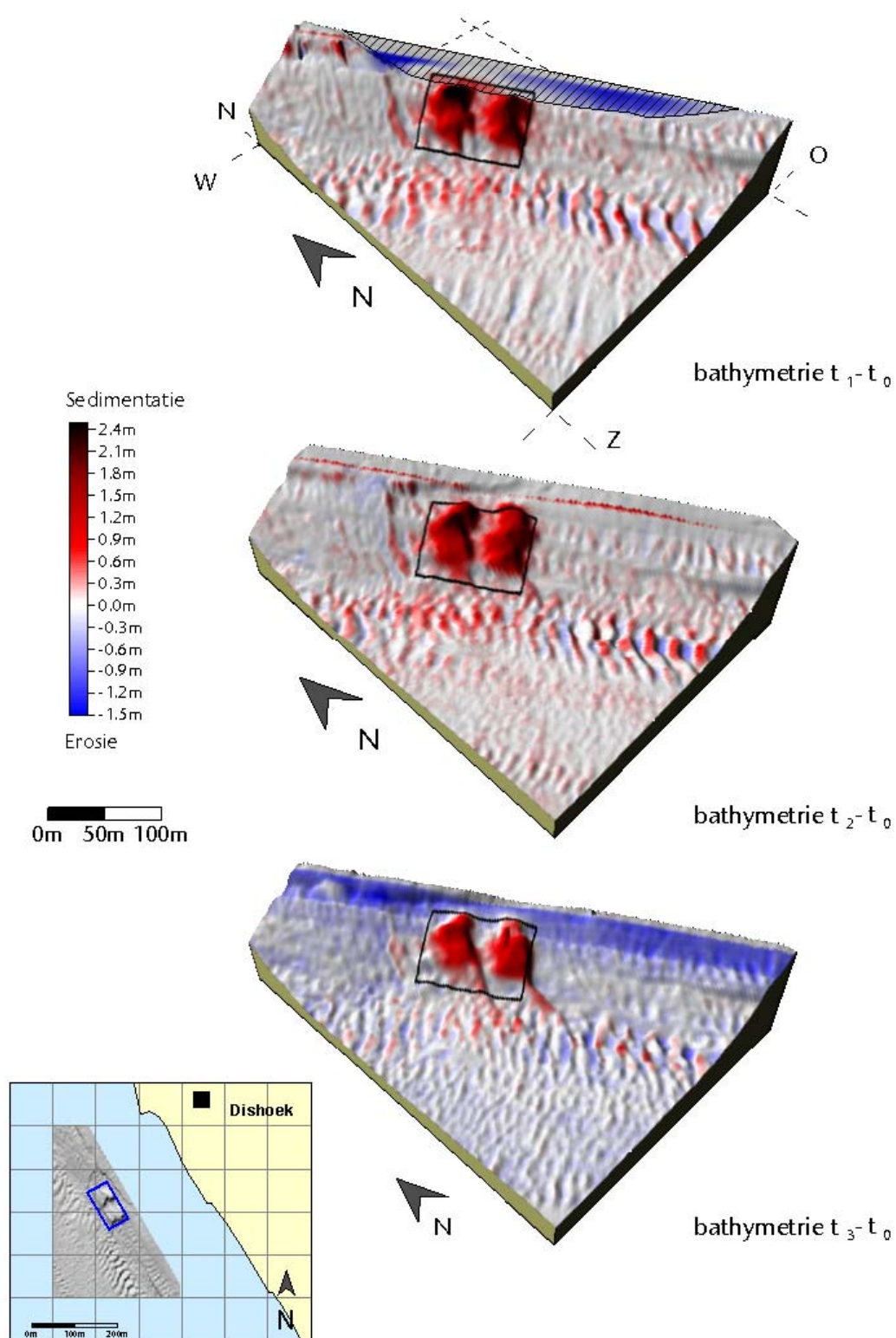
3.1.2 Morfologisch gedrag geulwandsuppletie

Om de ontwikkeling van de morfologie in de tijd te analyseren zijn verschilkaarten tussen de bathymetrische opnames gemaakt. In deze verschilweergaven (figuur 7) is te zien dat met de 2x2m resolutie bathymetrie trends zichtbaar worden die in vorige rapportages met 10x10m resolutie onzichtbaar bleven (Koomans *et al.*, 2002a; Koomans *et al.*, 2002b; Oosterhoff *et al.*, 2002). De grootste veranderingen treden op in het gebied waar de megaribbels zijn waargenomen. Kennelijk zijn deze ribbels erg mobiel. In de t_3 kartering is een blauwe band parallel aan de kustlijn zichtbaar. Deze blauwe band duidt op een systematische meetfout in de bathymetrische opname van de t_3 kartering. Na de analyse is gebleken dat deze meetfout het gevolg is van problemen met GPS signaal. Tijdens één raai in de meting heeft de hoogtemeting van de GPS niet goed gefunctioneerd waardoor ook de diepte niet goed bepaald is. In de volumebepaling in sectie 4.1 wordt voor deze offset gecorrigeerd.

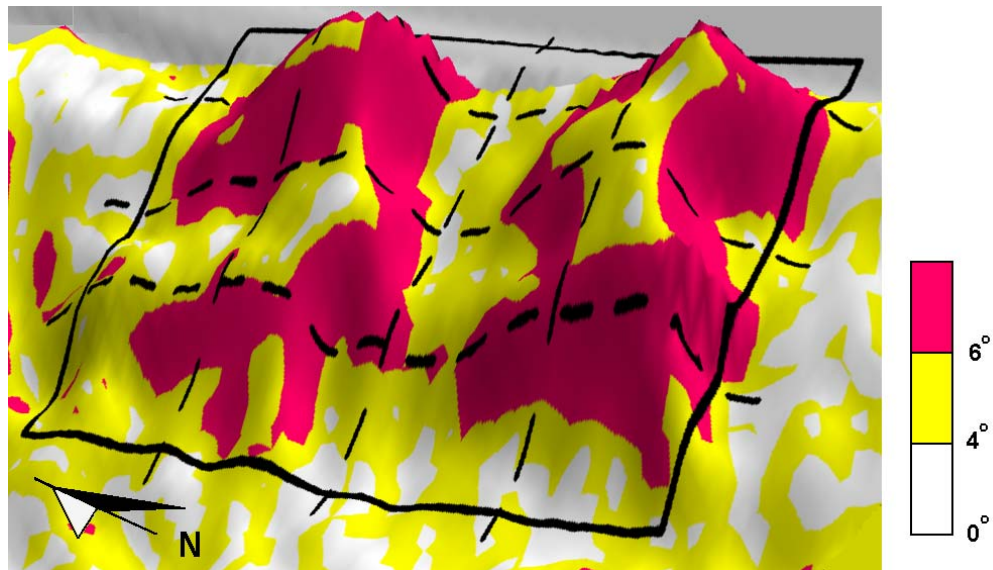
In de verschilweergaven is te zien hoe de morfologie van de suppletie ontwikkelt. Aan de onderkant van iedere bult ontstaat één grote ribbel die in de t_3 kartering 'aansluiting' lijkt te hebben gevonden met de ribbels in het diepere deel van het talud. De twee oorspronkelijk bolvormige bulten veranderen van vorm en worden asymmetrischer.

Om de vorm van de ribbels in kaart te brengen is de steilheid van de helling berekend met de bathymetrische gegevens. Hierbij is de helling van de geulwand geëlimineerd door de steilheid van de verschilkaart met t_0 opname te bepalen. In figuur 8 en figuur 9 is te zien dat in de t_1 opname de gestorte bulten aan beide zijden even steil zijn. In de t_3 opname is dit beeld veranderd. De steilste stukken van het profiel (rode kleur) bevinden zich overwegend aan de rechterzijde van de bulten. De asymmetrische vorm van de bulten duidt erop dat de bulten na de stort door getijdestroming tot megaribbels/duinen gevormd zijn (Oost en de Boer, 1994) die in zuidoostelijke richting langzaam door en uit het stortvak migreren.

De megaribbels in de geul zijn erg mobiel. De bulten glauconiethoudend zand ontwikkelen zich als megaribbels met een oriëntatie dwars op de kust en een in vloedrichting georiënteerde ribbelstructuur.



figuur 7: Verschilweergaven van de bathymetrie van de t_1 , t_2 , en t_3 meting ten opzichte van de t_0 kartering (gekleurde kaart) gedrapeerd over de morfologische kaart van de t_1 , t_2 en t_3 meting.



figuur 8: Helling steilheid op de stortlocatie in de t_1 opname.



figuur 9: Helling steilheid op de stortlocatie in de t_3 opname.

3.2 Gedrag op basis van de fractie glauconiethoudend zand

3.2.1 Glauconietverdeling

Met behulp van de fingerprint van het glauconiethoudend zand, is uit de concentratie kalium de fractie glauconiethoudend zand in het meetgebied berekend volgens formule (2). Deze verdeling van het glauconiethoudend zand in het meetgebied is in figuur 10 geprojecteerd op een 3D kaart van de bathymetrie. Gelijk aan de kaarten van glauconiethoudend zand geven ook deze kaarten de bathymetrie in de verschillende karteringen weer.

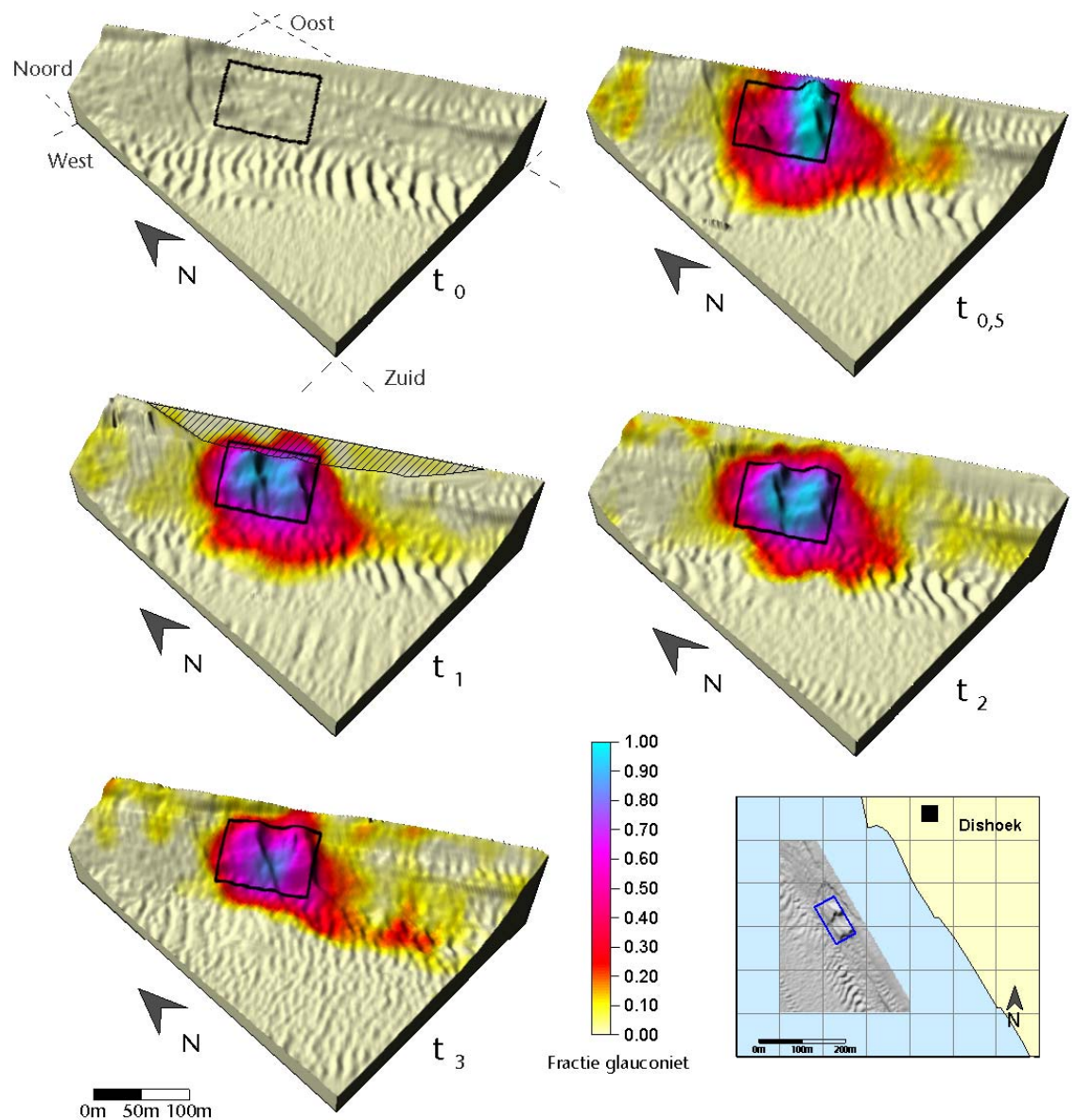
In de t_0 situatie is, zoals te verwachten is, geen glauconiet aanwezig in het gebied. In de $t_{0.5}$ meting is duidelijk te zien dat de eerste bult in het stortvak terecht is gekomen. Op deze bult komt een fractie glauconiethoudend zand van 1 voor. Niet al het glauconiethoudend zand is echter in het stortvak terecht gekomen. Bij het storten is een deel van het materiaal gesuspenderd

en in de omgeving van het stortvak (tot maximaal 50 m buiten het vak) terecht gekomen. Deze verspreiding is het sterkst in zuid en zuidoostelijke richting.

In de t_1 en de t_2 kartering is de verspreiding van het glauconiethoudend zand vergelijkbaar. In deze metingen is de tweede bult erbij gestort en is tevens weer een verspreiding buiten het stortvak zichtbaar. De fracties glauconiethoudend zand in het stortvak zijn tot 1, de verspreiding buiten het stortvak is het meest geprononceerd in zuidoostelijk en zuidelijke richting.

In de t_3 kartering is een duidelijke afname van de fractie glauconiethoudend zand in het stortvak te zien. De grootste fractie glauconiethoudend zand is in het midden van het stortvak te vinden, maar de fractie is kleiner dan 1. De verspreiding van het glauconiethoudend zand is minder breed en voornamelijk in zuidoostelijke richting georiënteerd.

Het glauconiethoudend zand is in het stortvak terecht gekomen en het zand verspreidt zich in zuidoostelijke (vloed) richting.



figuur 10: Verdeling van de fractie glauconiethoudend zand in de 5 karteringen. De 3D ondergrond geeft de bathymetrie van het gebied weer.

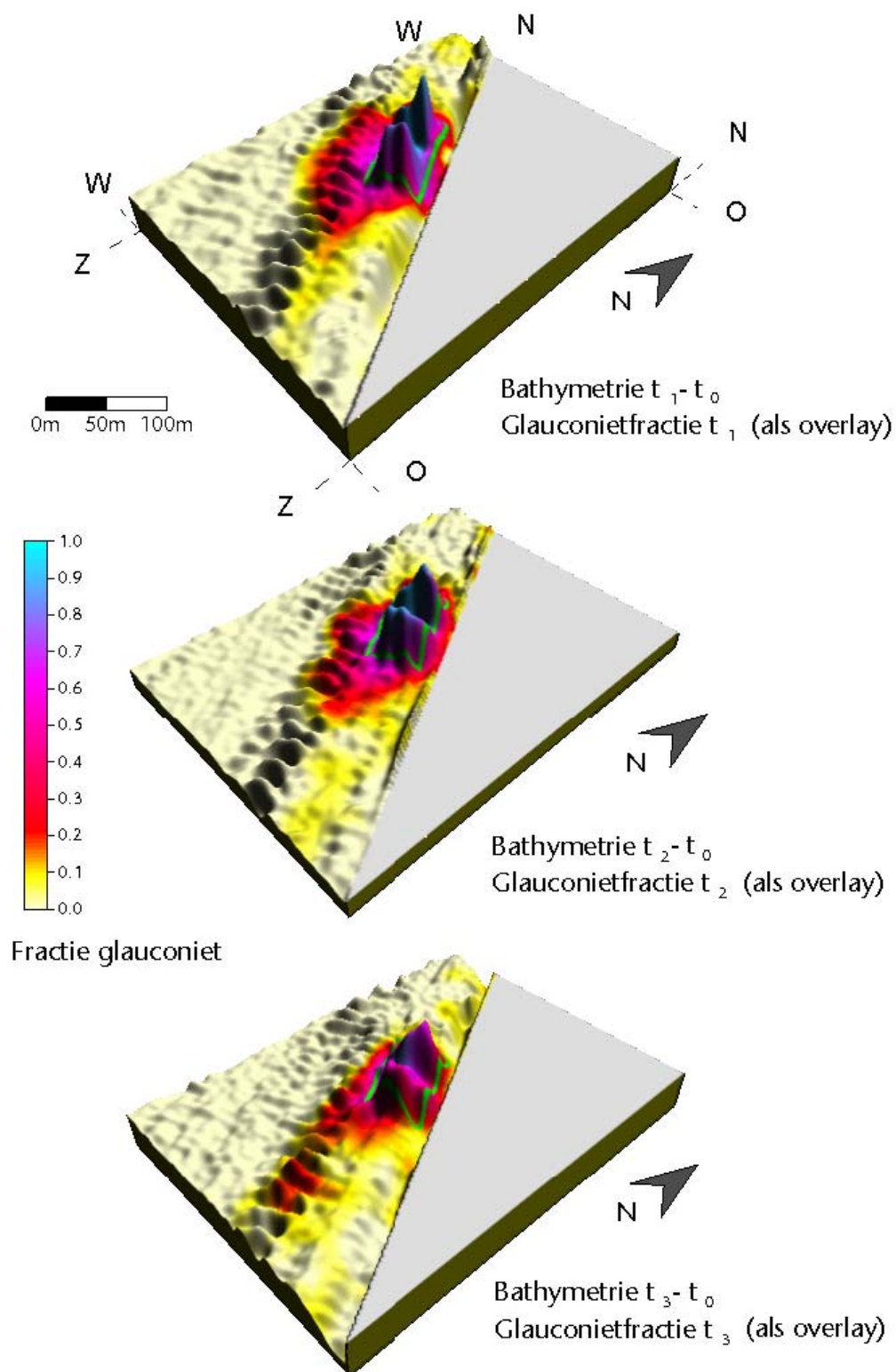
3.2.2 Transport van glauconiethoudend zand

In het gebied verandert de morfologie voortdurend. Om te zien of deze veranderingen ook werkelijk het gevolg zijn van de verplaatsing van glauconiethoudend sediment, is in figuur 11 de glauconietverspreiding geprojecteerd op de veranderingen in bathymetrie (ten opzichte van de t_0 situatie).

In alle karteringen is duidelijk te zien dat de toename in bodemhoogte in het stortvak gepaard gaat met verhoogde concentraties glauconiethoudend zand. Ten zuidwesten van het stortvak in een "band" parallel aan de kustlijn zijn ook grote veranderingen in bodemhoogte te zien. Deze veranderingen zijn het gevolg van de migratie van megaribbels op de rand tussen de geul en de geulwand. Het glauconiethoudend zand ligt in de drie karteringen ook in deze

zone. In de t_1 en t_2 kartering ligt het glauconiethoudend zand midden in deze zone; in de t_3 kartering is het glauconiethoudend zand vanaf de stortlocatie langs deze zone in zuidoostelijke richting verplaatst. De morfologische veranderingen van dit gebied lijken echter niet veroorzaakt te worden door de verplaatsing van het glauconiethoudend zand. Het lijkt erop dat de sedimenten in deze zone continu in de vorm van megaribbels in zuidoostelijke richting verplaatsen en hierbij het glauconiethoudend zand meenemen. Puur op basis van de morfologische veranderingen (gemeten met de multibeam) kan alleen maar een uitspraak over het transport van glauconiethoudend zand op de stortlocatie worden gedaan. De combinatie van de multibeam gegevens met de gegevens van MEDUSA laten zien dat de morfologische veranderingen in de zone ten westen van de stortlocatie, grotendeels het gevolg zijn van transport van het autochtone sediment. Door alleen de multibeamgegevens te gebruiken, worden de transporten in het gebied sterk overschat.

Puur op basis van de gegevens van de multibeam kan geen conclusie worden getrokken over de verplaatsing van het glauconiethoudend zand rondom de stortlocatie. Door de morfologische gegevens van de multibeam te combineren met informatie over bodemsamenstelling gemeten met MEDUSA ontstaat wél een realistisch beeld van de verplaatsing van het glauconiethoudend zand.

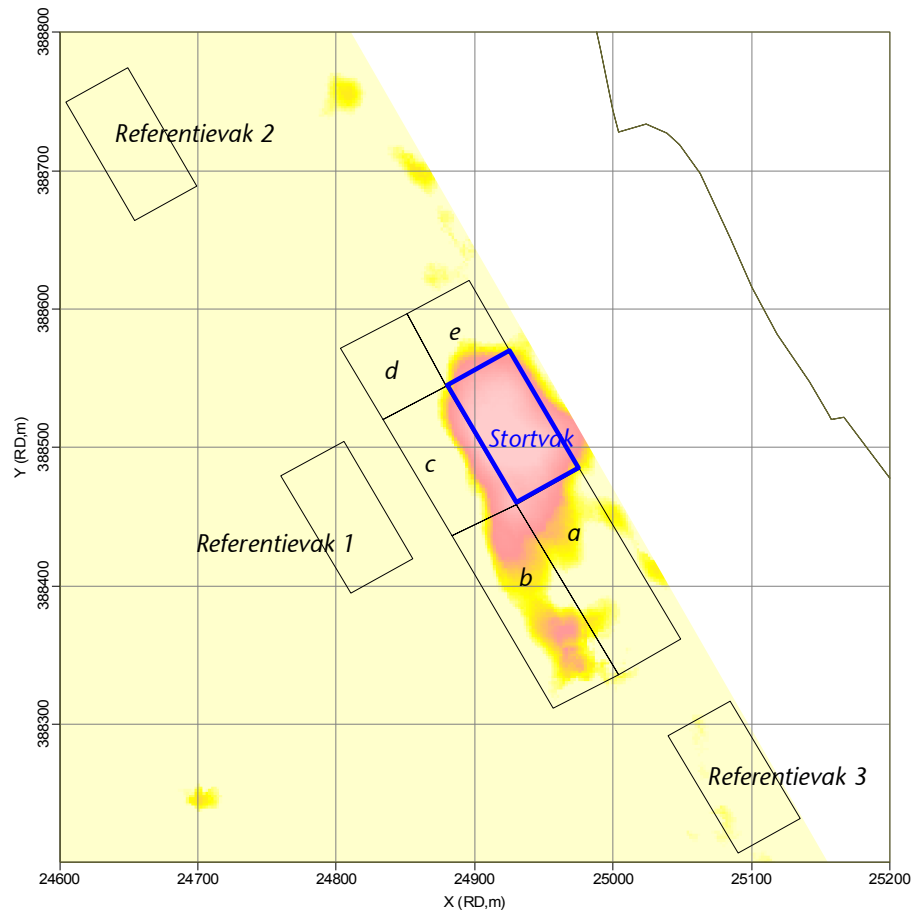


figuur 11: Fractie glauconiethoudend zand van de t_1 , t_2 en t_3 kartering (kleuren) gedrapeerd over de verandering in bodemhoogte ten opzichte van de t_0 situatie. Het stortvak is met een groene rechthoek aangegeven.

4 Sedimentbalans

4.1 Totale volumebalans

Om een massabalans van het glauconiethoudend zand op te stellen, is het gebied rondom de stort in 5 vakken opgedeeld (zie figuur 12). Deze vakken zijn zo gekozen dat het glauconiethoudend zand zich precies binnen deze vakken verspreid heeft. De volumeverandering in deze vakken ten opzichte van de t_0 kartering kunnen zo in alle richtingen gekwantificeerd worden.



figuur 12: Overzicht van de opdeling van de kuberingsvakken rondom de stortlocatie.

De onzekerheid van de morfologische veranderingen is gekwantificeerd door de volumeveranderingen in 3 referentievakken te bepalen (met een oppervlak identiek aan het stortvak en in een gebied waar weinig veranderingen zijn te verwachten).

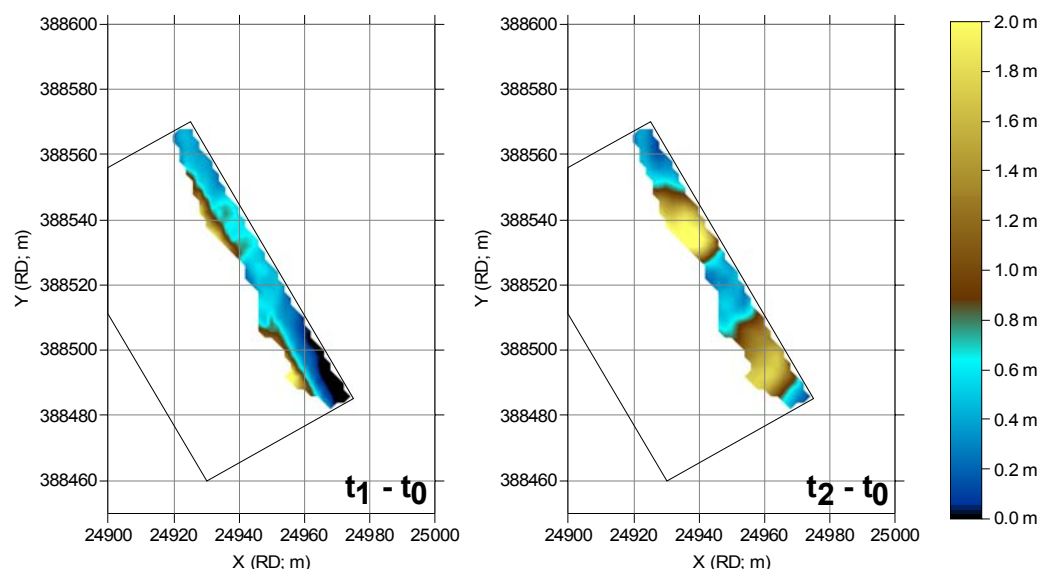
Correcties in de volumebalans

In de bespreking van de multibeam gegevens is opgemerkt dat:

- In de t_1 kartering 23% van het stortvak niet is gekarteerd.
- De metingen van de t_3 kartering over het geheel een offset vertonen.
- Een kustparallele band ter hoogte van het stortvak in de t_3 -meting een offset heeft.

Om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van de massabalans van het stortvak zal voor deze fouten gecorrigeerd moeten worden.

Als gevolg van de afwezigheid van meetgegevens in het noordelijk deel van het stortvak in de t_1 kartering, zal door extrapolatie van de meetgegevens de volumetoename in het stortvak niet goed worden beschreven. Om deze fout af te schatten is de volumetoename in dit gebied in de t_1 kartering vergeleken met de volumetoename in de t_2 kartering (figuur 13). Na de t_1 kartering is geen sediment in het stortgebied toegevoegd. Daarom zal de volumetoename in de t_1 kartering minstens even groot moeten zijn als in de t_2 kartering¹. Als gevolg van de extrapolatie van de meetgegevens zijn de bulten in het stortvak echter niet goed meegenomen, wat in figuur 13 duidelijk te zien is. Om de afschatting van de volumetoename in het stortvak in de monitoringsperiode zo realistisch mogelijk te maken, is aangenomen dat de bathymetrie van de t_2 situatie het ongemeten stuk in de t_1 kartering beschrijft. In de volumeberekeningen is daarom het volume in het stortvak in de t_1 situatie met 474 m³ verhoogd.



figuur 13: Toename in hoogte ten opzichte van de t_0 kartering voor de t_1 (gebaseerd op extrapolatie van de gegevens) en de t_2 meting in het gebied zonder meetgegevens in de t_1 kartering.

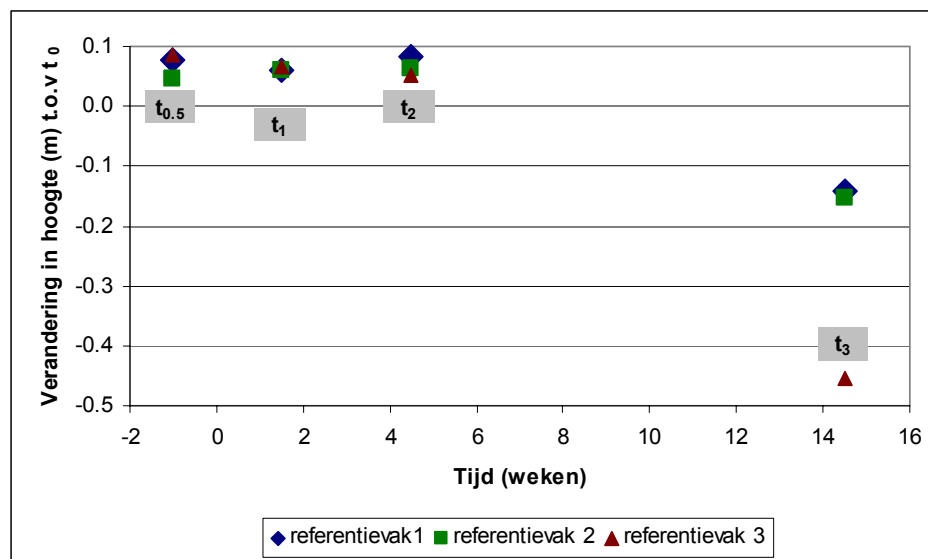
De t_3 kartering is tijdens ruw weer en met een ander multibeam systeem uitgevoerd. Dit heeft tot effect dat de t_3 metingen een offset vertonen. In figuur 7 wordt dit zichtbaar door de overwegend blauwe “gloed” in de t_3 - t_0 meting. Daarnaast is een “blauwe band” te zien aan de bovenrand van het stortvak (figuur 7).

Om een kwantitatieve afschatting te maken van deze algehele offset zijn de veranderingen in hoogte in drie referentievlakken (in gebieden waar weinig morfologische veranderingen verwacht worden) bepaald (figuur 14). Deze berekeningen laten zien dat de $t_{0.5}$, de t_1 en de t_2 kartering een offset laten zien ten opzichte van de t_0 meting van 7 cm voor de $t_{0.5}$ en de t_2 meting; de offset is 6 cm voor de t_1 meting. Om te voorkomen dat de verschillen tussen de t_0 meting en de overige metingen tot een systematische fout in de

¹ Met de aanname dat er als gevolg van natuurlijk sedimenttransport geen sediment in het stortvak bijkomt.

volumebepaling leiden, zijn alle multibeam metingen gecorrigeerd voor deze offsets in het referentievak (figuur 14).

De hoogtes in de referentievakken van de t_3 meting wijken af van de hoogtes in de overige metingen. Deze offset is niet consistent voor de drie referentievakken. Als gevolg van het verschillende multibeam systeem en het slechte weer, ligt de hele t_3 meting 15 cm lager dan de t_0 meting. Daarnaast is er een extra offset (de 'blauwe band'). Dit is het gevolg van uitval van het RTK plaatsbepalingssysteem tijdens één van de raaien ten Noordoosten van het stortvak. Deze fout is het grootst in het zuidoosten van het meetgebied (maximaal 80 cm) en neemt af tot maximaal 30 cm in het noordwesten van het gebied. Door de middeling van bathymetrische gegevens van het multibeam systeem is de gemiddelde offset echter kleiner. Om de metingen in het stortvak toch goed te kunnen corrigeren, zijn de hoogteverschillen in de vakken in het verlengde van het stortvak gebruikt. In vak a is de gemiddelde offset tijdens de t_0 - t_2 meting -1.7 cm; in vak e is deze offset -0.1 cm. Het is daarom aannemelijk dat de veranderingen tijdens de t_3 van vergelijkbare waarde zullen zijn. De verschillen ten opzichte van de t_0 kartering in vak a (-28 cm) en in vak e (-30 cm) duiden op een offset van 30 cm ter hoogte van de stortlocatie. Deze waarde komt overeen met een analyse van de meetfout door de Directie Zeeland (J. Roseboom, pers. communicatie). Voor het stortvak, vak a en e is daarom een offset van 30 cm genomen. Voor de overige vakken is in de t_3 een offset van 15 cm aangenomen.



figuur 14: Veranderingen in hoogte ten opzichte van de t_0 kartering in 3 referentievakken (figuur 12).

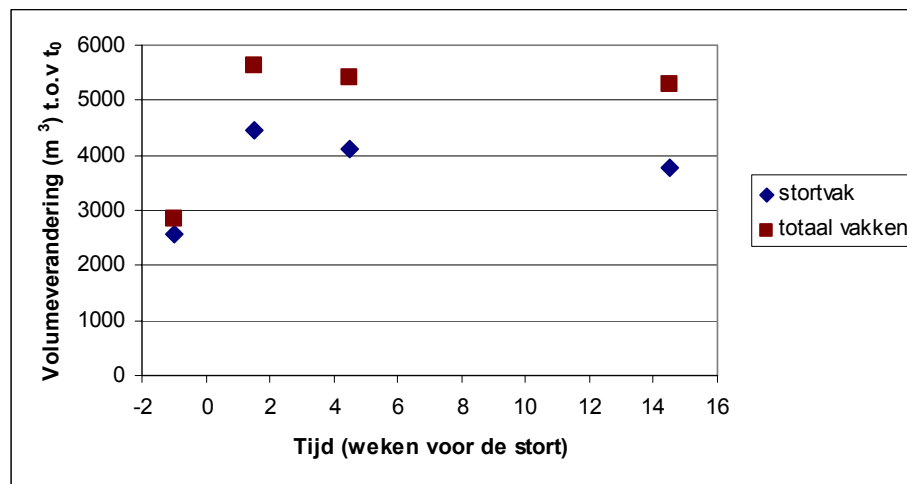
Volumeverandering

De volumeveranderingen na het uitvoeren van de stort, zijn bepaald in 6 vakken op en rondom de stortlocatie (zie figuur linksboven). Vak d en vak e zijn ten noordwesten van het stortvak gelocaliseerd (in ebrichting); vak b en vak a liggen ten zuidoosten van het stortvak (in vloedrichting); vak c ligt ten westen van het stortvak in de geul van het Oostgat.

In vak e en vak a zijn tijdens de t_1 kartering gedeeltelijk geen metingen uitgevoerd. Voor dit deel van de vakken zijn, gelijk aan de procedure in het stortvak, de gegevens van de t_2 meting gebruikt.

De resultaten van de berekening staan in tabel 2 en figuur 15 gepresenteerd. Bij de stort van het glauconiethoudend zand is een suppletie met 10.000 m³ sediment uitgevoerd. De metingen laten zien dat in de t₁ kartering in het totale gebied 5600 m³ sediment wordt teruggevonden². In eerdere onderwatersuppleties bij het RIKZ is gezien dat ongeveer 80-90% van het gestorte materiaal in de lodingen wordt teruggevonden.

Het tekort van 41% van het gestorte sediment kan het gevolg zijn van meetonzekerheden, compactie van het sediment na storten of het feit dat sediment bij het storten uit het gebied is verdwenen. Na het storten ligt ongeveer 80% van het teruggevonden materiaal in het stortvak. Ongeveer 13% van het teruggevonden materiaal is in vak c (in de richting van de geul) terechtgekomen.



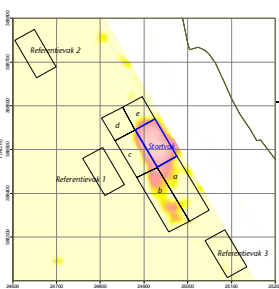
figuur 15: Volumetoename ten opzichte van de t₀ kartering in het stortvak en in het totale analysegebied.

tabel 2: Volumeveranderingen (in m³) ten opzichte van de t₀ situatie.

Meting	Tijd (weken na stort)	stortvak	Vak a	Vak b	Vak c	Vak d	Vak e	totaal
t0,5	-1	2573	-45	-56	393	35	-41	2859
t1	1.5	4445	175	1	780	105	112	5618
t2	4.5	4103	26	256	865	147	31	5428
t3	15.5	3787	118	424	894	61	3	5287

In het stortvak neemt het volume sediment af van de t₁ meting tot de t₃ meting. In totaal is in de t₃ meting 15% van het sediment uit het stortvak verdwenen. Het volume neemt alleen toe in de vakken b en c. In de overige vakken is geen duidelijke trend te ontdekken.

4.2 Volumebalans van de fractie glauconiethoudend zand



In de vergelijking tussen de morfologische veranderingen en de verdeling van het glauconiethoudend zand in en rondom het stortvak (figuur 11) is gezien

² De volumetoename in een ten Noordoosten van het stortvak is niet groter dan 300 m³, in een groot vak ten Zuidwesten van alle vakken is in de t₁ kartering niet groter dan 300m³.

dat de morfologie in het Oostgat zeer dynamisch is. In dit gebied wordt continu sediment verplaatst. Het sediment dat hierbij getransporteerd wordt hoeft niet uit glauconiethoudend zand te bestaan. Om een massabalans op te stellen van het glauconiethoudend zand, is het dus zaak alleen het verplaatste glauconiethoudend zand te kwantificeren.

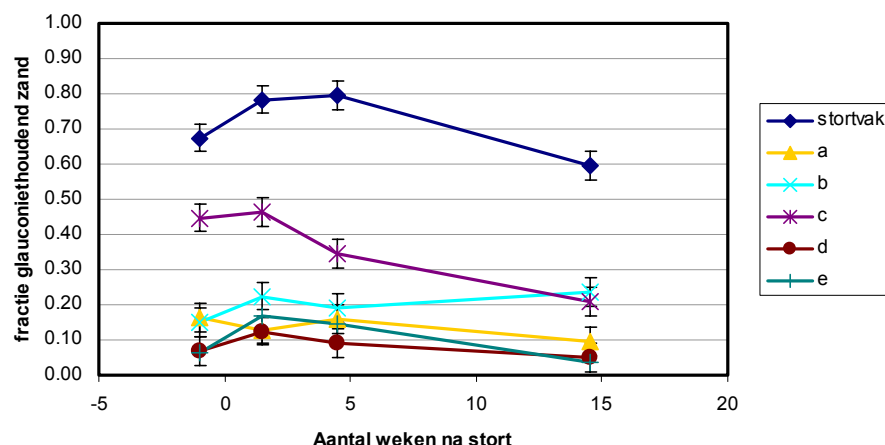
MEDUSA meet in de bovenste 30 cm van het sediment. In de analyses wordt er dus van uit gegaan dat het glauconiethoudend zand zich in de toplaag van het sediment verplaatst. Als het glauconiethoudend zand dieper dan 30 cm in het sediment accumuleert, zal de fractie glauconiethoudend zand worden onderschat (zie ook appendix A).

In tabel 3 en in figuur 16 is per vak de gemiddelde fractie glauconiethoudend zand in de bovenste 30 cm van het sediment bepaald. De fractie glauconiethoudend zand in het referentievak valt binnen de systematische onzekerheid van 4% (zie sectie A.2) en is dus niet significant.

In alle metingen neemt de fractie glauconiethoudend zand toe tussen de $t_{0,5}$ en de t_1 kartering. In het verloop van de monitoring blijft de fractie glauconiethoudend zand gelijk in vak a en vak b; in vak c, d en e neemt de fractie glauconiethoudend zand af. De afname van de fractie glauconiethoudend zand in de bovenste laag van het sediment in het stortvak is opmerkelijk omdat de multibeam gegevens aantonen dat er nog minstens één meter materiaal ligt. Het lijkt erop dat het sediment in het stortvak in de bovenste 30 cm wordt “verdund” met gebiedseigen materiaal (appendix A).

tabel 3: Gemiddelde fractie glauconiethoudend zand in de bovenste 30 cm van het sediment in 6 vakken op en rond de stortlocatie en in een referentievak.

Opnamenr	aantal weken	stortvak	Referentievak	1	a	b	c	d	E
$t_{0,5}$	-1	0.67	0.04		0.16	0.15	0.45	0.07	0.06
t_1	1.5	0.78	0.03		0.13	0.22	0.46	0.12	0.17
t_2	4.5	0.79	0.01		0.16	0.19	0.35	0.09	0.15
t_3	15.5	0.60	0.01		0.10	0.24	0.21	0.05	0.03



figuur 16: Gemiddelde fractie glauconiethoudend zand in de 6 vakken op en rond de stortlocatie tijdens de $t_{0,5}$, t_1 , t_2 en t_3 meting.

De fractie glauconiethoudend zand in het sediment is bepaald met behulp van de concentratie kalium. Deze concentratie is een gemiddelde waarde over 30 cm (zie appendix A). Door de gemiddelde fractie glauconiethoudend zand in de verschillende vakken te bepalen, en met de aanname dat het

glauconiethoudend zand wordt gemeten in de bovenste 30 cm van het sediment³, kan een volumebalans worden opgesteld met:

$$V_{\text{glauconiet}}(m) = f_{\text{gemiddeld_glauconiet}} \times 0.3 \times \text{oppervlak} \quad (1)$$

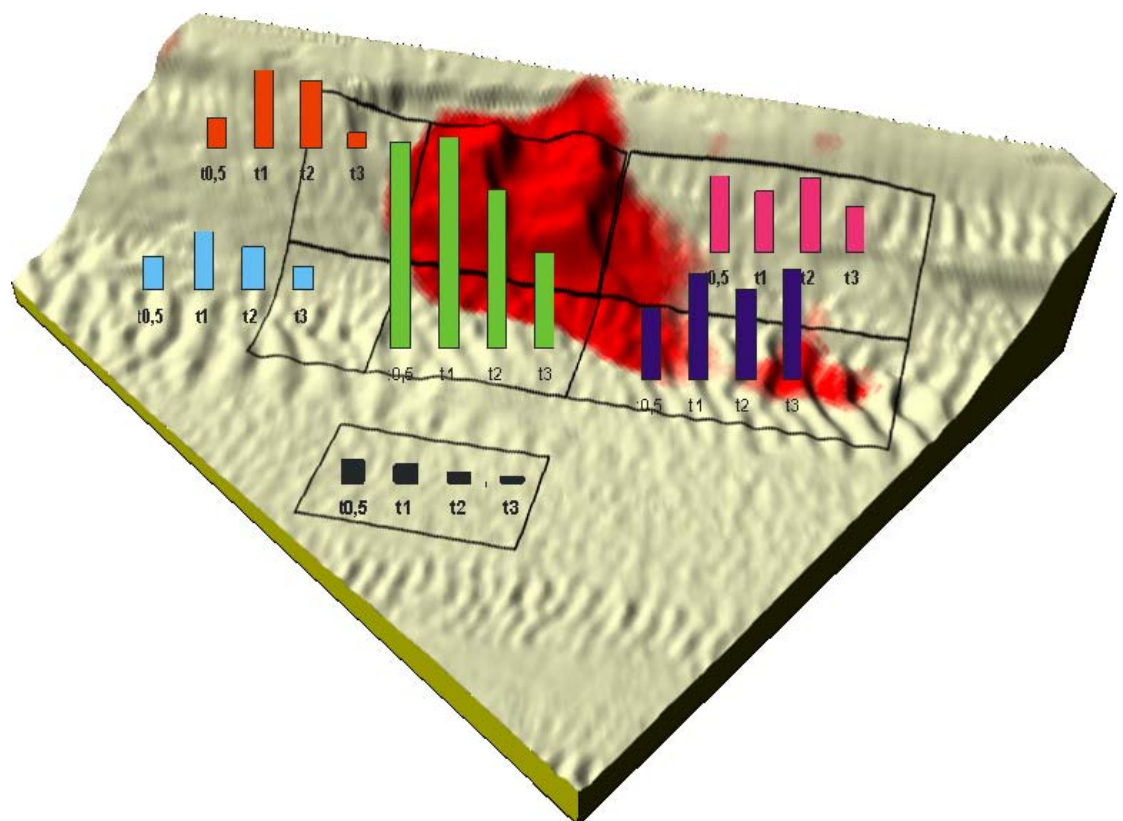
In appendix A wordt het effect van deze aanname beschreven. De berekening van het volume glauconiethoudend zand in de bovenste 30 cm is een maximum waarde. In het geval dat het glauconiethoudend zand alleen in de bovenste 10 cm van het sediment voorkomt, wordt het volume glauconiethoudend zand met formule (3) met een factor 2.3 overschat. In het geval dat het glauconiethoudend zand door 10 cm autochtoon sediment wordt afgedekt, wordt het volume glauconiethoudend zand met een factor 2.8 onderschat (zie appendix A).

De volumes glauconiethoudend zand in de 6 vakken (tabel 4 en figuur 17) laten zien dat het volume sterk afneemt in vak c, vak d en vak e. De afname in volumes glauconiethoudend zand wijzen erop dat het glauconiethoudend zand dat bij de stort over het gebied verspreid is, in deze vakken verdunt of verdwijnt. Alleen in vak b en vak a verandert het volume weinig tot niet in de tijd. Kennelijk blijft in deze vakken het volume glauconiethoudend zand (ongeveer 20% van het sediment dat in het stortvak ligt) op peil, doordat het sediment niet uit het vak verdwijnt of doordat er een nieuwe aanvoer van glauconiethoudend zand uit het stortvak plaatsvindt.

³ De laag glauconiethoudend zand in het stortvak is dikker dan 30 cm. Bij de volumeberekeningen zal hier moeten worden uitgegaan van de volumemetingen middels bathymetrie.

tabel 4: Volumeveranderingen ten opzichte van de t_0 situatie van de fractie glauconiethoudend zand (in m^3) in 6 vakken op en rond de stort.

opnamenr	aantal weken	A	b	c	D	E
$t_{0,5}$	-1	346	324	648	60	53
t_1	1.5	274	483	671	109	144
t_2	4.5	337	412	501	79	124
t_3	15.5	205	507	302	45	30



figuur 17: Veranderingen in het volume glauconiethoudend zand in 5 vakken rondom de stort en in een referentievak.

5 Conclusies

De geulwandsuppletie is uitgevoerd om inzicht te krijgen in de effectiviteit van grootschalige geulwandsuppleties. Deze suppleties kunnen wellicht worden gebruikt om de versteiling tegen te gaan van de kust van Walcheren en andere eilandkusten met een geul vlak onder de kust.

5.1 Beheersvragen

Kan een suppletie worden aangebracht op een geulwand?

Van het gesuppleerde materiaal dat na het storten in het meetgebied teruggevonden is, is 80% in het stortvak terecht gekomen. Ongeveer 13% van het suppletiezand is direct na het storten in de richting van de geul gezakt, terwijl de overige 7% in de vakken rondom het stortvak terecht is gekomen.

De monitoring van de stort toont aan dat het mogelijk is om een suppletie uit te voeren op deze geulwand in het Oostgat met een helling van 1:10.

Wat is de effectiviteit van de geulwandsuppletie?

Voor de suppletie is 10.000m³ glauconiethoudend zand uit de Westerscheldetunnel gebruikt. Dit zand is in een baggerschip naar de stortlocatie gebracht waar het in twee bulten in een vak van 100 bij 50 m is gestort. Na het storten is het volume in het stortvak met 4400m³ toegenomen; in totaal is het sedimentvolume in een gebied op en rond het stortvak (met een grootte van 300 × 100 m) met 5600m³ toegenomen.

Of de geulwandsuppletie op basis van de gegevens ook werkelijk effectief genoemd kan worden is op basis van deze korte monitoringperiode moeilijk te bepalen. De metingen hebben echter laten zien dat:

- De suppletie, ondanks sterke getijdestroming, binnen 14 weken niet is verdwenen.
- Na 15,5 week 15% van het glauconiethoudend zand uit het stortvak is verdwenen.

Of de suppletie ook over een langere periode effectief is zal op basis van een langere monitoringsperiode bepaald moeten worden.

5.2 Onderzoeksvragen

Wat zijn de sedimenttransportpaden in het Oostgat?

De transportrichtingen en sedimenttransportmechanismen van het sediment in het Oostgat zijn bepaald door de gegevens van de morfologie en de verspreiding van het glauconiethoudend zand te combineren. Deze analyse laat zien dat het netto transport van sediment in zuidoostelijke (vloed) richting plaatsvindt.

Op basis van de analyses in figuur 11 kan een verdeling in 3 gebieden gemaakt worden:

1. De stort

De sedimenten die als twee bulten in het stortvak terecht zijn gekomen herverdelen in het stortvak en vormen twee morfologische structuren in de vorm van megaribbels. Deze structuren zijn asymmetrisch met een

steilere helling naar het zuiden en zijn enigszins in zuidelijk-oostelijke richting verplaatst.

2. Op de geulwand

Tijdens de stort is op de geulwand glauconiethoudend zand terecht gekomen. Dit sediment verdwijnt of verdunt met autochtoon sediment in de opvolgende monitoringsperioden.

3. In de geul

In de geul vinden grote morfologische veranderingen plaats als gevolg van de migratie van megaribbels. De metingen van de verspreiding van het glauconiethoudend zand laten zien dat het glauconiethoudend zand dat in de geul ligt, of dat vanaf de stort in de geul terecht komt, in de migratie van de megaribbels wordt opgenomen en zo in vloedrichting wordt getransporteerd. De ribbels vormen als het ware een soort “lopende band” die het glauconiethoudend zand meeneemt. De hoeveelheid glauconiethoudend zand ten zuidwesten van de stort (ongeveer 20% van het materiaal in het stortvak) blijft gelijk.

Is het mogelijk om de geulwandsuppletie te monitoren?

In dit monitoringsproject is voor het eerst gebruik gemaakt van de combinatie van zeer gedetailleerde metingen van bathymetrie met een multibeam systeem en van metingen van bodemsamenstelling met MEDUSA.

De multibeam gegevens laten een zeer gedetailleerd beeld zien van de migratie van ribbelstructuren en van de vormverandering van de twee bulten van de suppletie. Op basis van de MEDUSA metingen is de verspreiding van het glauconiethoudend zand op en rond de stort in kaart gebracht.

De metingen tonen aan dat het glauconiethoudend zand goed is te monitoren. De combinatie van de multibeam en MEDUSA gegevens laten zien dat niet alle morfologische veranderingen het gevolg zijn van de verplaatsing van glauconiethoudend zand. De continue migratie van ribbelstructuren in het gebied zorgen ervoor dat allochtoon en autochtoon sediment door het gebied migreert.

6 Aanbevelingen

6.1 Beheersvragen

Wat is de effectiviteit van de geulwandsuppletie?

Op basis van de metingen die in dit rapport beschreven zijn is het niet mogelijk om de effectiviteit van de geulwandsuppletie te kwantificeren. De levensduur van de geulwandsuppletie zal ongeveer 3-4 jaar moeten bedragen. In deze metingen is over een periode van 4 maanden gemonitord. Deze periode is te kort om de ontwikkeling op een tijdschaal van meerdere jaren te meten of te voorspellen. Om een goed beeld te krijgen zullen van het gedrag van de suppletie op een langere termijn, zal de suppletie na een jaar opnieuw in kaart moeten worden gebracht.

Als gevolg van de correcties die moeten worden uitgevoerd om de multibeam metingen van de t_3 kartering goed te kunnen beschrijven, moet de volumebepalingen van de t_3 metingen met zorg worden geïnterpreteerd. Om de kwaliteit van de meetresultaten te verbeteren kunnen de multibeamgegevens heranalyseerd worden. Bij deze analyse kunnen, in plaats van het foutieve GPS signaal, getijdegegevens worden gebruikt om de waterdiepte te berekenen (J. Rosenboom, pers. comm.).

Om de levensduur van de geulwandsuppletie te kunnen voorspellen, zal het morfologisch gedrag van de suppletie ook na een langere periode in kaart moeten worden gebracht. Het strekt daarom tot aanbeveling om de morfologie van de suppletie met opvolgende surveys in kaart te blijven brengen.

6.2 Onderzoeksvragen

Wat zijn de sedimenttransportpaden in het Oostgat?

De combinatie van de bathymetrie en de gegevens over bodemsamenstelling laten zien dat niet alle bodemveranderingen het gevolg zijn van het transport van glauconiethoudend zand (afkomstig van de suppletie). Om de bodemveranderingen en de verplaatsing van de suppletie te kunnen onderscheiden van verplaatsingen van autochtoon materiaal, zal in opvolgende metingen ook de glauconietfractie bepaald moeten worden.

De veranderingen in de fractie glauconiethoudend zand, geven aan dat het glauconiethoudend zand op de stortlocatie afgedekt wordt óf wordt verdund door autochtoon materiaal. Een goed begrip van deze sedimenttransportprocessen kan informatie geven over het gedrag van de suppletie op een langere termijn. Om een goed beeld te krijgen van de verticale verdeling van het glauconiethoudend zand op de stortlocatie kunnen ondiepe kernen (~30 cm) worden gestoken.

Is het mogelijk om de geulwandsuppletie te monitoren?

De gedetailleerde metingen van bathymetrie en de metingen van bodemsamenstelling zijn naast de kartering van de verspreiding van de tracer ook gebruikt om een morfologisch-sedimentologische kaart te maken van het surveygebied. Deze kaart laat een relatie zien tussen de morfologie (bijv. ribbelstructuren) en bodemsamenstelling (D50). In de huidige studie is slechts een deel van de dataset gebruikt om variaties in de geulwandsuppletie in kaart te brengen. Het overige deel van de in dit rapport beschreven dataset (waar de geulwandsuppletie weinig tot geen invloed heeft gehad) biedt een unieke kans om de relatie tussen temporele veranderingen in morfologie en

veranderingen in bodemsamenstelling te analyseren. Deze analyses kunnen wellicht informatie verschaffen over sedimenttransportprocessen in een groter deel van het Oostgat.

7 Referenties

- Anoniem. (2000) *Debietmeting (ADCP) Mond Westerschelde Raai-12; deel 1*. Meetinformatiedienst Zeeland, Vlissingen; Report: ZLMD-oo.N.022.
- de Meijer, R. J., Lesscher, H. M. E., Schuiling, R. D. en 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
- Hendriks, P. H. G. M., Limburg, J., de Meijer, R.J. (2001) *Full-spectrum analysis of natural gamma-ray spectra*. Journal of Environmental Radioactivity, **53**, pp. 365-380
- Israël, C. G. (2001) *Kust 2005 - Definitiestudie Westerscheldemonnd*. RIKZ, den Haag; Report : 2001.102x.
- 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. (2001) *Sedimentverdeling in het Oostgat; data analyse*. Medusa Explorations BV, Groningen; Report : 2001-P-011.
- Koomans, R. L., Oosterhoff, E., de Meijer, B. A. en Nicolaas, J. F. (2002a) *Medusa survey in het Oostgat: data rapport t0, t0.5 en t1*. Medusa Explorations BV, Groningen; Report : 2001-P-015-R1.
- Koomans, R. L., Oosterhoff, E., de Meijer, B. A. en Nicolaas, J. F. (2002b) *Medusa survey in het Oostgat: data rapport t2*. Medusa Explorations BV, Groningen; Report : 2001-P-015-R2.
- Limburg, J., Feenstra, R., Hendriks, P. H. G. M. en de Meijer, R. J. (1999) *Westerschelde t0 survey data report*. NGD/KVI, Groningen; Report : Z96.
- Oost, A. P. en de Boer, P. L. (1994) *Sedimentology and development of barrier islands, ebbtidal deltas, inlets and backbarrier areas of the Dutch Wadden Sea*. Senckenbergiana Maritima, **24**, pp. 65-115
- Oosterhoff, E., Koomans, R. L., de Meijer, B. A. en Nicolaas, J. F. (2002) *Medusa survey in het Oostgat: data rapport t3*. Medusa Explorations BV, Groningen; Report : 2001-P-015-R3.
- Tönis, R. (2001) *T0 metingen Oostgat m.b.v. Medusa*. Medusa Explorations BV, Groningen; Report : 2000-P-008.

Appendix A: Bepaling van het glauconietgehalte

A.1 Sedimentanalyse

Om de meetgegevens van MEDUSA om te kunnen rekenen naar de concentratie glauconiethoudend zand, is het noodzakelijk om de radiometrische fingerprint van de gestorte sedimenten te kennen. Hiertoe zijn uit de 22 beunen die gestort zijn, 11 sedimentmonsters genomen. Deze 11 monsters geven zo een gemiddeld beeld van de gestorte sedimenten.

A.1.1 Korrelgrootte analyse

De monsters van het glauconiethoudend zand zijn door het laboratorium van RIKZ in Middelburg geanalyseerd op korrelgrootte via de Malvern analyse. Hiervoor zijn de sedimentmonsters eerst bewerkt met waterstofperoxide (om humus deeltjes te verwijderen) en vervolgens aangezuurd met zoutzuur (om schelpresten te verwijderen). Bij de aanzuring met zoutzuur gaat een deel van de massa van het sedimentmonster verloren. De resultaten van deze monsteranalyse zijn in tabel 5 gepresenteerd.

De korrelgroottemetingen laten zien dat een klein deel van het sediment kalk bevat (<5%) en dat de fractie klei in de boortunnelspecie laag is (<5%). De gemiddelde korrelgrootte van de specie is 245 μm , met een spreiding rond het gemiddelde van 22 μm .

tabel 5: Korrelgrootteparameters van de sedimentmonsters uit de beun met glauconiethoudend zand.

Labnummer	Medusa code	% HCL-oplosbaar (kalk)	% Minerale delen <16 μm	% Minerale delen 16-2000 μm	D10 (μm)	D50 (μm)	D90 (μm)
10019629	P015M6	3.3	4.1	92.6	118	191	307
10019630	P015M7	4.8	2.6	92.6	135	255	484
10019632	P015M8	5.5	2.6	91.9	145	253	481
10019634	P015M9	5.5	2.8	91.8	142	249	470
10019636	P015M10	9.8	2.9	87.2	143	255	486
10019638	P015M11	5.5	2.4	92.2	153	275	558
10020209	P015M2	5.2	2.8	91.9	148	258	497
10020211	P015M3	5.0	2.8	92.2	139	243	456
10020213	P015M4	4.2	2.9	92.9	146	249	484
10020215	P015M5	4.3	3.2	92.5	139	239	495
10020217	P015M13	3.9	3.5	92.5	132	224	457

A.1.2 Analyse radiometrie

De radiometrische metingen zijn uitgevoerd op de “NaI detector” van MEDUSA Explorations BV. Hiervoor zijn de monsters overgebracht naar een marinellibeker. De totale activiteiten van de drie nucliden kalium, uranium en thorium zijn bepaald met behulp van full spectrum deconvolutie (Hendriks, 2001) op het gemeten signaal. De activiteitsconcentraties zijn vervolgens bepaald door de gemeten activiteit te delen door de massa van het monster en het droge stof percentage.

De concentraties van de nucliden kalium, uranium en thorium zijn in tabel 6 gepresenteerd.

tabel 6: Concentraties van kalium, uranium en thorium in 11 monsters van glauconiethoudend zand en een referentiemonster, inclusief de meetonzekerheden.

Monsternummer	K (Bqkg ⁻¹) σ_K		U (Bqkg ⁻¹) σ_U		Th (Bqkg ⁻¹) σ_{Th}	
P015M1	634	8	25.9	0.4	10.0	0.9
P015M2	623	5	22.6	0.4	9.7	0.3
P015M3	629	13	26.7	0.9	11.5	0.7
P015M4	660	9	31.7	0.7	10.3	0.5
P015M5	665	13	34.4	1.0	11.6	0.7
P015M6	655	15	29.6	1.1	14.0	0.8
P015M7	607	10	27.7	0.7	10.3	0.5
P015M8	688	11	25.5	0.8	11.0	0.6
P015M9	636	10	23.2	0.7	9.9	0.5
P015M10	635	9	23.2	0.6	9.1	0.4
P015M11	659	11	22.4	0.7	9.2	0.5
P015M15/M16 (ref monster)	500	30	13.3	0.4	5.2	0.3

A.2 Fingerprint glauconiethoudend zand

Om de concentratie van glauconiethoudend zand in het sediment te berekenen met behulp van de radiometrische gegevens, moet de “fingerprint” (de concentratie van de nucliden in het zand) van het glauconiethoudend zand en van het omringende sediment bekend zijn.

tabel 7: Gemiddelde activiteitsconcentraties (‘fingerprints’) van kalium, uranium en thorium van het glauconiethoudend zand en het sediment rond de stort (gemeten met MEDUSA tijdens de t_0 kartering). De getallen tussen haakjes geven één standaardafwijking.

	K (Bqkg ⁻¹)	U (Bqkg ⁻¹)	Th (Bqkg ⁻¹)
Glauconiethoudend zand	644 (23)	27 (4)	10.6 (1.4)
Zand stortlocatie (MEDUSA meting t_0)	212 (13)	5.7 (1.2)	4.5 (0.6)
Zand surveygebied (MEDUSA meting t_0)	168 (40)	6 (2)	4.9 (1.2)

In tabel 7 zijn de gemiddelde waarden van de concentratie van kalium, uranium en thorium weergegeven. Het is opmerkelijk dat de gemiddelde concentratie van kalium in het glauconiethoudend zand lager is dan de concentratie zoals die in eerdere rapportages verondersteld is (Koomans, 2001; Tönis, 2001)⁴. De gemiddelde concentratie van uranium in het glauconiethoudend zand is 27 Bqkg⁻¹. De spikes in het uranium signaal van ~100 Bqkg⁻¹ (die in de eerdere rapportages opgemerkt zijn) in het noordoosten

⁴ In eerder rapportages is de concentratie kalium in het glauconiethoudend zand bepaald op basis van één monster uit de sedimentlaag onder de geul ‘Everingen’. Als gevolg van laterale variatie in de formatie van Breda (waar het glauconiethoudend zand vandaan komt) kan deze waarde verschillen.

van het surveygebied kunnen dus niet verklaard worden met de fingerprint van glauconiethoudend zand. Deze spikes zijn waarschijnlijk afkomstig van ijzerertsslakken die op verschillende locaties in de Westerschelde zijn gebruikt om kabels af te zinken (Limburg *et al.*, 1999).

De spreiding in de concentraties van de nucliden tussen de verschillende monsters is groter dan de meetfout in de concentraties. Dit verschil toont aan dat het gestorte glauconiethoudend zand niet homogeen is. De standaarddeviatie van de gemiddelde waarde (tabel 7) geeft aan dat het kalium een (kleine) spreiding vertoont van 3.5%; de spreiding in de uranium en thorium fingerprint is respectievelijk 15% en 13%.

De fingerprint van de autochtone sedimenten is bepaald door de gemiddelde concentratie nucliden in en rond het stortvak zoals die met MEDUSA tijdens de t_0 kartering gemeten zijn, te analyseren (tabel 7). Als gevolg van natuurlijke sorteringsprocessen, zal de bodemsamenstelling op en rond⁵ de stort variëren. Dit gegeven wordt bevestigd door de standaardafwijking in de gemiddelde K, U en Th waarden. De variaties in het gehalte kalium zijn relatief klein (~6%), de variaties in bodemsamenstelling van het uranium en thorium gehalte zijn groter (21% en 13% respectievelijk).

Met behulp van de fingerprint van glauconiethoudend zand ($A_{\text{glauconiet}}$), de fingerprint van zand (A_{zand}) en de gemeten concentratie (A), kan de fractie van glauconiethoudend zand worden berekend met (de Meijer *et al.*, 1990):

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

waarbij de onzekerheid in de fractie glauconiethoudend zand bepaald wordt door:

$$(\sigma f_{\text{glauconiet}})^2 = \frac{\sigma A^2 + \sigma A_{\text{zand}}^2}{(A_{\text{glauconiet}} - A_{\text{zand}})^2} + \frac{(\sigma A_{\text{glauconiet}}^2 + \sigma A_{\text{zand}}^2)(A - A_{\text{zand}})^2}{(A_{\text{glauconiet}} - A_{\text{zand}})^4}. \quad (3)$$

De meeton nauwkeurigheid van MEDUSA (de fout in A) na interpolatie is ongeveer 35 Bqkg⁻¹ voor kalium en 3.5 Bqkg⁻¹ voor uranium en thorium. Met deze informatie en de gegevens in tabel 7 kan de onzekerheid in de fractie glauconiethoudend zand bepaald worden. Voor een zeer lage concentratie glauconiethoudend zand bedraagt de absolute onnauwkeurigheid voor kalium 9%, voor uranium en thorium 17%. Vanwege dit verschil en het feit dat niet uit te sluiten valt dat verhogingen in het uranium signaal het gevolg zijn van het voorkomen van ijzerslakken zal in het vervolg van deze studie de concentratie kalium worden gebruikt voor de bepaling van de fractie glauconiethoudend zand.

De variaties in bodemsamenstelling in het stortgebied en de heterogeniteit van de monsters geven een meeton nauwkeurigheid in het gehalte glauconiethoudend zand. Wanneer de fingerprint van kalium wordt gebruikt is deze onnauwkeurigheid 9%, voor uranium en thorium is deze waarde ongeveer 17%.

⁵ Voor het gebied rond de stort zijn de gegevens uit het gebied in figuur 10 gebruikt.

In de analyse wordt concentratie van kalium gebruikt om de fractie glauconiethoudend zand te bepalen.

A.3 Effecten van laagdikte

In de berekeningen van de fractie glauconiethoudend zand in het sediment is ervan uitgegaan dat de samenstelling van het sediment in de bovenste 30 cm constant is. Als gevolg van verschijnselen van sedimentsoortering is dit niet *à priori* waar.

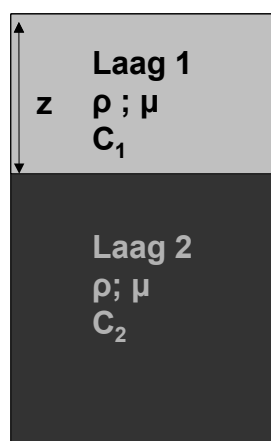


Het glauconietgehalte is berekend met behulp van de concentraties kalium in het sediment. Deze concentraties zijn gemeten door de gamma straling, afkomstig van het nuclide ^{40}K , te meten. Deze gammastraling wordt door de glauconietkorrels in het sediment uitgezonden (zie figuur hiernaast). Een deel van de uitgezonden gammastraling wordt, als gevolg van “botsing” met zandkorrels, afgeremd 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 botsing met bovenliggende zandkorrels.

Als door sorteringsverschijnselen al het glauconiethoudend sediment 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 glauconiethoudend zand bepaald.

A.3.1 Laagmodel dunne laag glauconiethoudend zand op kwarts



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

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))⁶ 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 met⁷:

⁶ 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 glauconiet.

⁷ Een volledige afleiding van de formulering kan worden gevonden in (Koomans, 2000)

$$C'_1 = C_1(1 - e^{-\mu\rho z}) \quad (4)$$

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:

$$C'_2 = C_2 e^{-\mu\rho z} \quad (5)$$

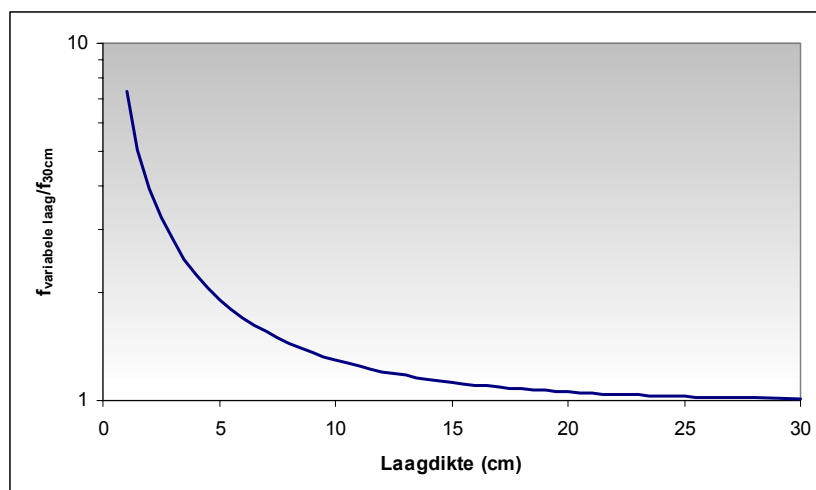
De totaal gemeten straling aan het oppervlak van beide lagen (C') (gammadeeltjes 3 en 5) kan dus worden beschreven met:

$$C' = C_1(1 - e^{-\mu\rho z}) + C_2 e^{-\mu\rho z} \quad (6)$$

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 0). 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 glauconiethoudend zand kan de fractie glauconiethoudend zand in het sediment worden bepaald.

Effect laagdikte op fractie glauconiethoudend zand

Het effect van de aanname van de laagdikte van 30 cm is gekwantificeerd in figuur 18. figuur 18 geeft de verhouding weer tussen de fractie glauconiethoudend zand zoals die berekend wordt met een laag van 30 cm en een variabele actieve laag. Deze resultaten laten zien dat de fractie glauconiethoudend zand wordt onderschat als het glauconiethoudend zand in een dunne laag is geconcentreerd en wordt berekend in een 30 cm dik bed. Als het glauconiethoudend zand alleen in de bovenste 5 cm voorkomt, zal de 'standaard' analyse (gebaseerd op een laagdikte van 30 cm) een fractie geven die ongeveer 2 keer te laag is.



figuur 18: Ratio tussen de fractie glauconiethoudend zand met een variabele laagdikte en de laagdikte van 30 cm.

Effect laagdikte op volume glauconiethoudend zand

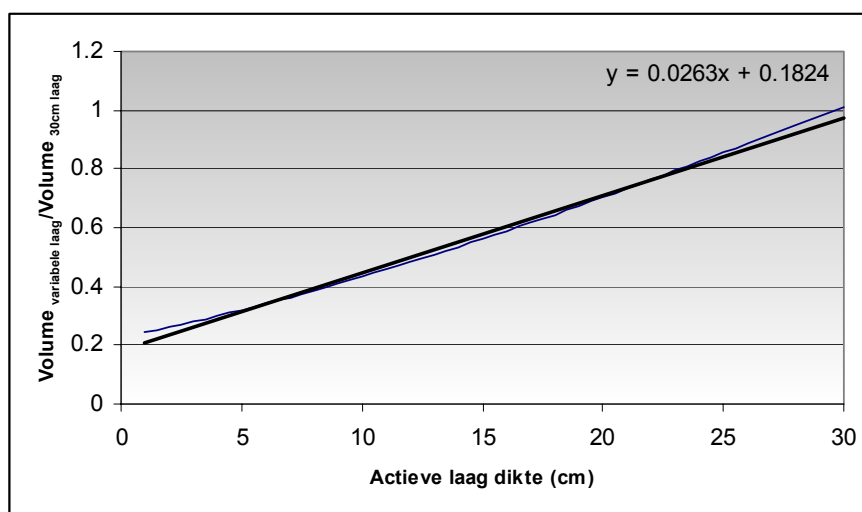
Het volume glauconiethoudend zand in het sediment wordt bepaald met behulp van de fractie glauconiethoudend zand in de bovenste laag van het sediment, de laagdikte en het oppervlak van de meting:

$$V_{\text{glauconiet}} = f_{\text{gemiddeld_glauconiet}} \times \text{laagdikte} \times \text{oppervlak} \quad (7)$$

Het bepaalde volume glauconiethoudend zand is afhankelijk van de aangenomen laagdikte waarin het glauconiethoudend zand voorkomt door:

- De afhankelijkheid van $f_{\text{gemiddeld_glauconiet}}$ van laagdikte (figuur 18)
- De laagdikte in vergelijking (7).

In figuur 19 is dit effect gekwantificeerd. Deze resultaten laten zien dat het volume glauconiethoudend zand wordt overschat als het glauconiethoudend zand in een dunnere laag dan 30 cm voorkomt. Dit effect kan min of meer met een lineaire functie worden beschreven. De volumeberekeningen op basis van een actieve laag van 30 cm geven een bovengrens aan. Als het glauconiethoudend zand alleen in de bovenste 10 cm van het sediment voorkomt, is het volume glauconiethoudend zand slechts 43% van het berekende volume.



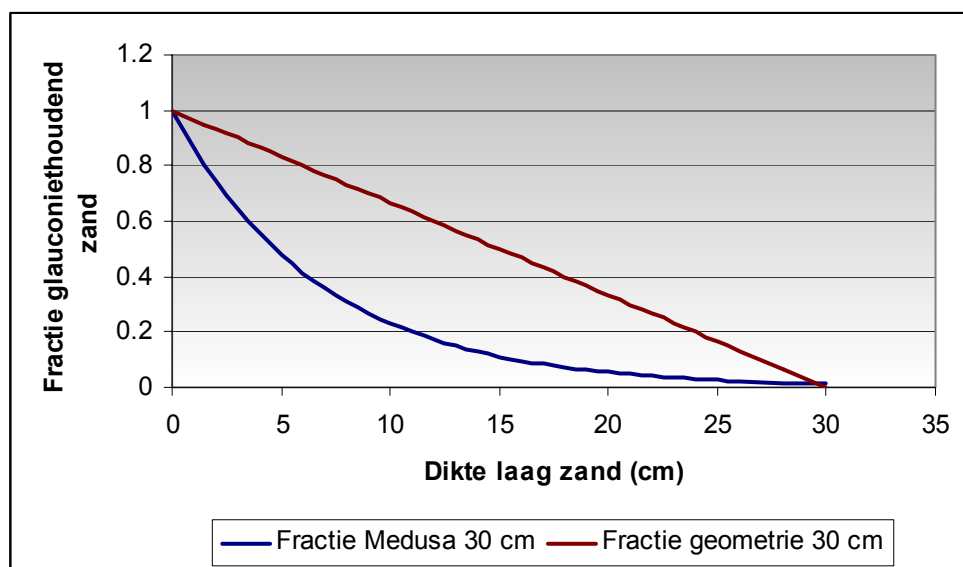
figuur 19: Effect van de dikte van de actieve laag op het berekende volume glauconiethoudend zand.

A.3.2 Laagmodel bij afdekking door zand

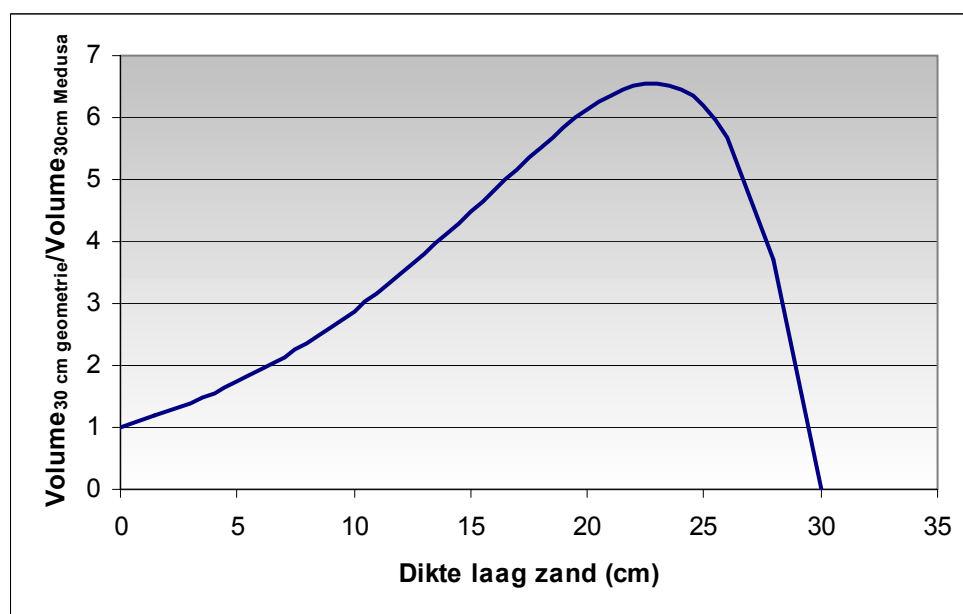
In het geval dat het glauconiethoudend zand afgedekt wordt door een laag autochtoon sediment, klopt de aanname van een homogene laag van 30 cm niet meer.

Ook in dit geval kan de gemiddelde fractie glauconiethoudend zand in de bovenste 30 cm worden gerelateerd aan de dikte van de laag autochtoon sediment met behulp van een lagenmodel (beschreven in de figuren in sectie A.1). In dit model bestaat laag 2 uit glauconiethoudend zand; laag 1 bestaat uit autochtoon sediment. In figuur 20 is de situatie gesimuleerd dat een laag (met variabele dikte) van autochtoon sediment op een laag met glauconiethoudend zand ligt. De blauwe lijn van de MEDUSA meting is bepaald met de formulering uit sectie A1, de rode lijn is bepaald door de gemiddelde fractie glauconiethoudend zand te berekenen uit de geometrische verhouding tussen de dikte van laag 1 en laag 2.

In figuur 21 is het effect op het berekende volume glauconiethoudend zand in de bovenste 30 cm berekend. Deze figuur laat zien dat in het geval dat puur zand over het glauconiethoudend zand heen migreert, de MEDUSA meting het volume glauconiethoudend zand onderschat (met een laagdikte van 10 cm is dit ongeveer een factor 2.8).



figuur 20: Relatie tussen de fractie glauconiethoudend zand en de laagdikte van een laag met autochtoon sediment op een laag glauconiethoudend zand. De blauwe lijn geeft de relatie weer zoals die met MEDUSA wordt gemeten (met de aanname dat de bovenste 30 cm homogeen gemengd is), de rode lijn geeft de (werkelijke) relatie zoals die geometrische berekend kan worden.



figuur 21: Effect van de dikte van de afdeklaag met "normaal" zand op het berekende volume glauconiethoudend zand in de bovenste 30 cm.