

Slibmonitoring

Noordzee

Eindevaluatie

Verantwoording

Algemene informatie

Titel	Monitoring van het slibgehalte in de toplaag van de zeebodem
Medusa Project	2009-P-260
opdrachtgever	Deltares/ Stichting La Mer Dhr. J. de Kok
Medusa Rapport/versie	2009-P-260-Eindevaluatie
Datum rapportage	07/07/2010
Opdracht	Monitoring van slibgehalte en bodemligging voor de kust van Petten/Egmond
Medusa Projectleider	S. de Vries
Rapportage	S. de Vries, R. L. Koomans
Operators Medusa	W. Rooke, S. de Vries
Datum uitvoering	September 2009 – maart 2010

Locatie informatie

Locatie	Noordzeekust Noord-Holland
Bodemgesteldheid	n.v.t.
Bodemtype	Zand
Weersomstandigheden veldwerk	n.v.t.
Verstoren elementen tijdens veldwerk	n.v.t.

Techniek

Gebruikte sensoren	Medusa sensor
Instellingen sensoren	Standaard
Lijn/raai interval	2 lijnen loodrecht op kustlijn, 1 kustparalelle
Positionering	DGPS
Positienauwkeurigheid	meter

Medusa Explorations BV

Postbus 623
9700 AP Groningen
Telefoon: 050- 5770280
Email: info@medusa-online.com
www.medusa-online.com

Inhoud

Inhoud.....	3
1 Introductie	5
1.1 Kader.....	5
1.2 Locatie en metingen	5
1.3 Onderzoeksvragen	6
2 Meettechnieken.....	7
2.1 Het Medusa systeem	7
2.1.1. Natuurlijke radioactiviteit.....	7
2.1.2. Ruwheid van de bodem.....	7
2.1.3. Waterdiepte	8
2.2 Korrelgrootte analyses.....	8
2.2.1. Malvern particle sizer	8
2.2.2. Zeven en sedigraaf	8
3 Wat wordt door Medusa gemeten?	10
3.1 Waaruit bestaat sediment?	10
3.2 Slibgehalte	12
3.3 Korrelgrootte	15
3.4 Bodemruwheid	15
4 Beschrijving meetresultaten	19
4.1 Medusa-metingen.....	19
4.1.1. Track A.....	19
4.1.2. Track B	21
4.1.3. Track C.....	22
4.1.4. Track D.....	24
4.2 Monster analyses.....	24
5 Discussie.....	28
5.1 Meetvariatie in korrelgrootte analyses.....	28
5.1.1. Verschillen tussen meetmethoden	28
5.1.2. Verschillen binnen meetmethoden.....	28
5.1.3. Tijdverloop korrelgrootte analyses	30
5.2 Medusa metingen	31
5.2.1. Veranderingen langs het profiel.....	31
5.2.2. Tijdverloop Medusa metingen	31
6 Conclusies en aanbevelingen	33
6.1 Conclusies	33
6.1.1. Sedimentanalyse en interpretatie van de veldmetingen	33

6.2	Aanbevelingen	33
7	Referenties.....	34
	Bijlagen: profielen	36

1 Introductie

1.1 Kader

In het kader van grootschalige zandwinning op de Noordzee voert Deltares (in opdracht van Rijkswaterstaat Noord-Holland en Stichting La Mer) onderzoek uit naar de mogelijke gevolgen van het opwerpen van fijn slib tijdens baggerwerkzaamheden op de Noordzee.

Eén van de onzekerheden bij dit onderzoek is het vermogen van de waterbodem om als buffer voor fijn slib te fungeren. Om inzicht te krijgen in dit bufferend vermogen, is een monitoringscampagne opgestart waarmee de variatie in het slibgehalte over een jaar wordt gemeten. Hierbij worden zowel metingen gedaan van het slibgehalte in de waterkolom (zwevend slib) als metingen aan de waterbodem.

Met het Medusa systeem kan het slibgehalte in de waterbodem in kaart worden gebracht. Hiermee is het mogelijk om in één dag het gehalte slib over een geheel profiel continu in kaart te brengen. Met meerdere metingen kan de variatie in het slibgehalte worden gemeten.

Voor dit monitoringsproject waren er in eerste instantie 3 metingen voorzien. De eerste in september 2009, tweede in november en derde in december. Vanwege de weersomstandigheden kon de meting die gepland stond voor november niet worden uitgevoerd. De eerstvolgende meting is op 9 december uitgevoerd. De derde meting is vervolgens een week later op 17 december uitgevoerd. Na de derde meting is besloten het project uit te breiden met nog eens 2 monitoringsmetingen. Deze metingen zijn in februari en maart 2010 uitgevoerd.

Van elke meting is een expeditieverslag gemaakt die een beschrijving geeft van het veldwerk. Daarnaast is van elke meting een meetverslag gemaakt die de resultaten van de metingen en monsteranalyses weergeeft. Deze verslagen bevatten ook alle onderliggende informatie.

Onderhavig verslag is een evaluatie van alle metingen, waarbij met name wordt ingegaan op de kalibratie van de meting, vertaling naar slibgehalte en naar de verschillen en trends in de metingen. Daarnaast worden aanbevelingen gedaan voor nadere analyses van de monsters, ten behoeve van een betere ijking van de meting en de wijze waarop de metingen kunnen worden gebruikt voor de belangrijkste vraag van het onderzoek: hoe kunnen we de bodem-water uitwisseling van slib kwantificeren en beschrijven en wat voor effecten hebben de uitwisseling op de vertroebeling.

1.2 Locatie en metingen

Het onderzoek is uitgevoerd op een locatie voor de kust van Egmond en Petten (zie figuur 1). Er zijn op deze locatie 2 kustdwarse lijnen en 2 kustparallele lijnen uitgezet. De parallele lijnen verbinden de kustdwarse lijnen. De B-track ligt ca. 10 km uit de kust. Tijdens de meetcampagne in september zijn de trajecten AA1-B1 (A-track), B1-B5N (B-track) en CCN1-B5N (C-track) gemeten. Tijdens de metingen van 8 en 9 december is de B-track niet gemeten, in plaats daarvan is een nieuw traject AA4-D2-D3-D4-CC4 (de D-track) gemeten. Daarnaast zijn de A-track en de C-track gemeten. Op 15 december is vanwege de beperkte tijd alleen de D-track gemeten. Tijdens de metingen van 16 en 17 februari zijn dezelfde tracks als in de septembermeting gemeten. Het gaat dus om de A-track, B-track en C-track. Ook in de metingen van 2 en 3 maart zijn dezelfde tracks in dezelfde volgorde gemeten.

Tabel 1: uitgevoerde metingen.

Meting	Gemeten Track	Bemonsterde locaties
14-16 september 2009	A-track (2x), B-track (2x) en C-track (2x)	CC1N, CC2N, CC3N, CC4N, CC5N, B5N, AA1, AA3, B4, B3, B2, B1, AA5, AA4, AA2
08-09 december 2009	A-track, C-track en D-track + verlengde	CC3N, CC4N, D4, D3, D2, AA4
15 december 2009	D-track + verlengde	CC3N, CC4N, D4, D3, D2, AA4
16-17 februari 2010	A-track (2x), B-track (2x) en C-track (2x)	CC2N, CC4N, B5N, AA4, AA2, AA1
02-03 maart 2010	A-track (2x), B-track (2x) en C-track (2x)	CC2N, CC4N, B5N, B1, AA4, AA2, AA1



Figuur 1: overzicht van de onderzoekslijnen. De metingen zijn uitgevoerd vanuit IJmuiden. In blauw is de D-track aangegeven.

1.3 Onderzoeksvragen

Tijdens de monitoring is onderzoek uitgevoerd naar:

- Variatie en absolute waarden langs een lijn in het slibgehalte (korrelgrootte fractie <math><63 \mu\text{m}</math>).
- Variatie langs een lijn van bodemruwheid (indicator voor het voorkomen van schelpen).
- Variatie en absolute waarden langs een lijn in bodemligging.
- Puntmeting van korrelgrootte.
- Puntmeting van de dichtheid en voorkomen van schelpdieren (met name *Ensis americanus*).

2 Meettechnieken

2.1 Het Medusa systeem

Het Medusa systeem is een meetsysteem ontwikkeld voor de bepaling van textuur, korrelgrootte en chemische samenstelling van de top laag (bovenste 50 cm) van de bodem. Het Medusa veldsysteem bestaat uit een sonde waarin een aantal sensoren zijn gecombineerd. De Medusa sensor meet de natuurlijke radioactiviteit waarmee de samenstelling van de bodem bepaald worden, daarnaast wordt de waterdiepte gemeten met een druksensor en de ruwheid van de bodem met een trillingssensor die geluidsignalen registreert.

2.1.1. Natuurlijke radioactiviteit

De Medusa sensor meet de (van nature voorkomende) radioactieve straling uit de grond. Deze straling is afkomstig van langlevende isotopen van kalium (^{40}K), uranium (^{238}U) en thorium (^{232}Th). Daarnaast zijn er zeer lage concentraties cesium (^{137}Cs) in de grond aanwezig uit de fall-out ten gevolge van het ongeluk met de nucleaire reactor in Chernobyl (1986) en de bovengrondse kernproeven in de vroege jaren '60 van de vorige eeuw.

De door Medusa gebruikte methode wordt ook wel *spectraal gamma* genoemd en wordt veel gebruikt in boorgatmetingen en geologische exploratie vanuit de lucht.

Uit eerder onderzoek (zie bijvoorbeeld: de Meijer, de Meijer et al., 1988) is gebleken dat verschillende mineralen en bodemtypen kunnen worden onderscheiden doordat ze verschillen in concentraties ^{40}K , ^{238}U en ^{232}Th . Dit verschijnsel noemt men de 'radiometrische vingerafdruk'¹ van een mineraal. De mate waarin de mineralen verschillen, is afhankelijk van het soort mineraal (kleimineralen zijn anders dan zinkerts), van de afkomst (graniet uit de Alpen is anders dan Schots graniet) en van de ouderdom (erosie van mineralen leidt onder meer tot het uitwassen van radioactieve isotopen).

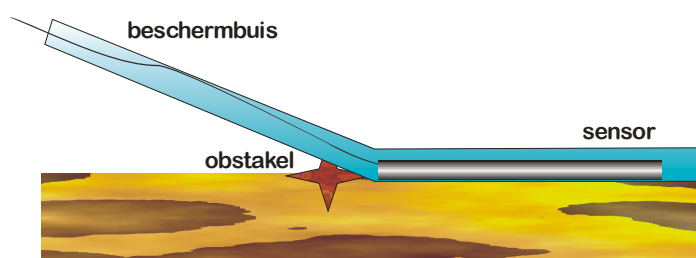
De fingerprint van een mineraal kan in het lab worden bepaald door onder gecontroleerde omstandigheden in een monster de concentraties ^{40}K , ^{238}U en ^{232}Th te bepalen. Tegelijk kunnen van hetzelfde monster ook andere eigenschappen worden bepaald (bijvoorbeeld de textuur). In veel gevallen blijkt er een relatie te bestaan tussen één of meer van de radioactieve stofconcentraties en één (of meer) van de textuur- of chemische eigenschappen van het monster. Als zo'n relatie ook bestaat voor een *verzameling* monsters uit een gebied, kan een ijklijn worden bepaald. Zo'n ijklijn beschrijft dan de vertaling van de radiometrische data naar de gewenste bodemeigenschap (textuur of chemie). Uit eerder onderzoek (van Wijngaarden et al., 2002) is gebleken dat de concentraties kalium en thorium bepaald worden door het klei- en zandgehalte (Medusa, 2003) in de waterbodem.

2.1.2. Ruwheid van de bodem

Deze trillingssensor bestaat uit een speciale microfoon die het wrijvingsgeluid registreert dat wordt geproduceerd als de meetbuis over de waterbodem wordt geslept. De geluidssensor is primair bedoeld als controle om te zien dat het systeem over de bodem sleept en niet in het water zweeft. Echter, naast deze controlefunctie geeft het signaal heel duidelijk aan wanneer het systeem over obstakels en dergelijke getrokken wordt. Wanneer de meetbuis over een obstakel glijdt, zal dit leiden tot een min of meer harde knal (zie Figuur 2). Deze 'knallen'

¹ De 'fingerprint' van een mineraal is de concentratievector $[C_K, C_U, C_{Th}]$, waarbij de concentraties C gegeven zijn in Bq/kg DS (Bequerels per kilogram drogestof), waarbij de Bequerel de eenheid van straling is.

worden geregistreerd en aan een positie gekoppeld door middel van GPS. Met deze methode wordt een 2 dimensionale kaart gemaakt van de ruwheid van de top laag van de waterbodem en kan duiden op de aanwezigheid van objecten op de bodem.



Figuur 2: "Artist impression" van de Medusa sensor die op een obstakel (puin) "botst".

2.1.3. Waterdiepte

Het Medusa systeem bevat een druksensor om de waterdiepte te meten. Het systeem maakt gebruik van het feit dat op de overgang van water naar de waterbodem de dichtheid van 1,2 ton/m³ wordt overschreden. De hoogteligging van deze overgang wordt bepaald door op de overgang met een zeer nauwkeurige waterdrukmeter de hoogte van de waterkolom te bepalen. Deze hoogte wordt vervolgens omgerekend naar waterdiepte t.o.v. NAP. Met de dieptesensor wordt de waterdiepte als het ware bepaald door 'omhoog te kijken'. Dit heeft als belangrijk voordeel dat geen ingewikkelde *heave*, *pitch* en *roll* correcties hoeven te worden toegepast, zoals bij gangbare akoestische methoden. Daarnaast is ze ongevoelig voor variaties in geluidssnelheid door saliniteit en temperatuursgradiënten (zoals akoestische methoden), of voor variërend geleidingsvermogen (zoals grondradar).

De nauwkeurigheid van de Medusa dieptesensor bedraagt 20 ppm van het maximale bereik van de dieptesensor (J.A. Hin, 2006).

2.2 Korrelgrootte analyses

2.2.1. Malvern particle sizer

De korrelgrootteanalyses bij TNO zijn uitgevoerd met een Malvern Particle sizer, gebaseerd op laserdiffractie. Laserdiffractie (ook wel statische lichtverstrooiing of voorwaartse lichtverstrooiing) meet het verstrooiingspatroon verkregen door het beschijnen van deeltjes met een laserstraal. Het verkregen verstrooiingspatroon via zo'n deeltjesanalyse bevat informatie over deeltjesgrootte en de korrelgrootteverdeling. De korrelgrootte en deeltjesgrootteverdeling kan worden bepaald in een groot dynamisch bereik van diameters van ca. 0,02 tot 2.000 micrometer. Voor de meting is uitgevoerd, zijn de monsters ontdaan van het aanwezige kalk (schelpen) en het organisch materiaal.

In verschillende studies worden bij vergelijkingen tussen laser-diffractie en andere methoden (zoals pipetteren) overschattingen van de deeltjesgrootte waargenomen van met name de kleinere fracties (<50 μm). Daarnaast is het type sediment (korrelvorm) bij de laser-diffractiemethode ook nog van invloed op de bepaling van de deeltjesgrootte (Buurman et al., 2001).

2.2.2. Zeven en sedigraaf

De korrelgrootteanalyses bij het laboratorium van Wiertsema & Partners is op de klassieke manier middels zeven uitgevoerd.

De fijne fractie (< 35 μm) is middels een zgn. sedigraaf bepaald. Het principe wordt sinds 1967 toegepast en geeft betrouwbare en herhaalbare resultaten. Deze

techniek maakt net zoals bij het pipetteren gebruik van het sedimentatieprincipe volgens de wet van Stokes.

De korrelgrootteverdeling wordt hierbij bepaald door gebruik te maken van röntgenstraling. Door de intensiteit van de doorgelaten röntgenstraling (relatieve absorptie) op verschillende plaatsen en op verschillende tijdstippen te meten, wordt een beeld verkregen van de korrelgrootteverdeling. Het principe is dus gebaseerd op valsnelheden van de deeltjes. De valsnelheid is afhankelijk van de grootte van het deeltjes, dichtheid van het materiaal, dichtheid en viscositeit van de vloeistof. De sedigraaf gebruikt een set van parallelle röntgenstralen om veranderingen in zwevende stofconcentraties te meten tijdens het bezinken (settling) van de deeltjes. Op deze wijze wordt een verdeling van de fijne fractie verkregen. Vergelijking met andere methoden laat de sedigraaf over het algemeen goede correlaties zien (Webb, 2004; Welch et al., 1979).

Voor de meting is uitgevoerd, zijn de monsters ontdaan van het aanwezige kalk (schelpen) en het organisch materiaal.

3 Wat wordt door Medusa gemeten?

3.1 Waaruit bestaat sediment?

De sedimenten langs de kust van de noordzee bestaan uit een mengsel van verschillende mineralen. Elk van deze typen mineralen heeft een eigen chemische, fysische en radiometrische karakteristiek. Noordzee sediment bestaat voor het grootste deel uit kwarts (SiO_2) en klei (mineralen bestaande uit een complex van oa Al, Mg, Si) en vaak zijn ook deeltjes mica, k-veldspaat en deeltjes zware mineralen (zoals zirkoon, granaat, monaziet) bijgemengd. De verhouding tussen deze fracties varieert sterk met locatie en vooral met het hydrodynamische regime: zware mineralen komen vaker voor in de brandingszone, klei wordt vaker op dieper water aangetroffen (Koomans, 2000).

In een aantal studies naar zware mineralen in de brandingszone en in het gebied waar de tweede maasvlakte wordt aangelegd (Koomans, 2004) is gerapporteerd dat zware mineralen in concentraties tussen 0.4-10% (brandingszone) en 0.3-1% (uitbreidingsgebied tweede maasvlakte), voor kunnen komen. Als gevolg van hydraulische sortering van het sediment, is de korrelgrootte van zware mineralen over het algemeen iets kleiner dan die van kwarts sediment. Van zware mineralen uit de omgeving van Loswal Noord (nabij Rotterdam), varieert de gemiddelde korrelgrootte tussen 100 en 200 μm , minder dan 5% van de zware mineraal suite heeft een korrelgrootte <63 μm (Venema et al., 2000).

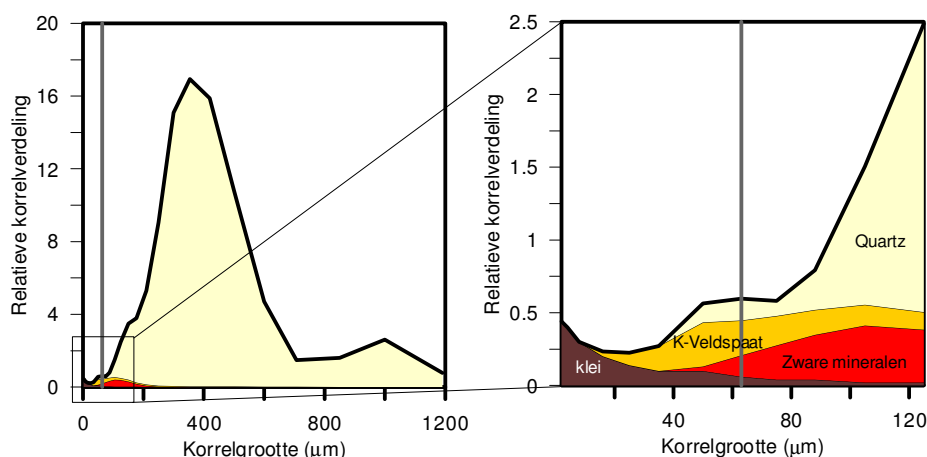
Over de gehalten en korrelgrootte fracties k-veldspaat en mica in het Nederlandse kustsediment is geen informatie bekend.

Carbonaat (schelpen en schelpfragmenten) komt ongelijkmatig verdeeld over de verschillende korrelgroottefracties voor. Deze fractie is voor het zeventien uit de monsters verwijderd door de monsters aan te zuren.

Klei bestaat uit minerale deeltjes met een korrelgrootte die overwegend kleiner dan 63 μm is, waarbij het grootste deel van de kleifractie een korrelgrootte heeft kleiner dan 2 μm . In de dagelijkse praktijk van sedimentonderzoek, wordt de korrelgrootte gebruikt voor het bepalen van de kleifractie van een sediment. Meestal worden sedimenten met een korrelgrootte <63 μm aangeduid als 'slib'. NB: dit betekent niet dat in de korrelgroottefractie <63 μm geen andere mineraaldeeltjes voor kunnen komen (Figuur 3).

Het grootste deel van het kustsediment bestaat uit kwarts (SiO_2) korreltjes met een sterk variërende korrelgrootte. Kwarts korrels met een korrelgrootte >63 μm worden zand genoemd, kwarts korrels met een korrelgrootte <63 μm worden ook wel silt genoemd. In de fractie <63 μm kan dus ook het mineraal kwarts voorkomen.

Er zijn weinig studies uitgevoerd naar gemiddelde verhouding tussen de verschillende sediment typen en samenstelling van de suite van zware mineralen, in Figuur 3 is een schematische verdeling van een aantal verschillende mineraaltypen weergegeven.

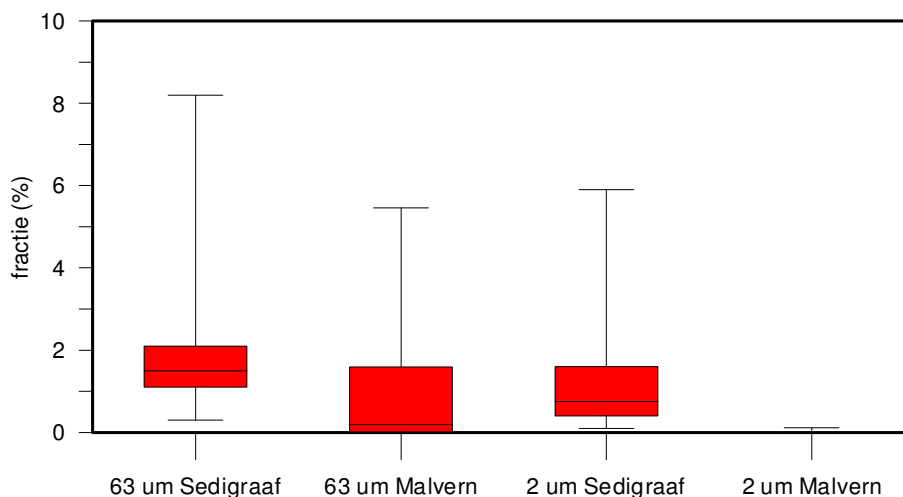


Figuur 3: korrelgrootteverdeling van verschillende sediment fracties in het kustgebied van de Noordzee.

In het project zijn de monsters met twee methoden geanalyseerd: de monsters zijn gemeten door zeven en met een sedigraaf (Wiertsema en Partners) en de monsters zijn geanalyseerd met behulp van een Malvern particle sizer. De monsters zijn allen aangezuurd om carbonaat te verwijderen.

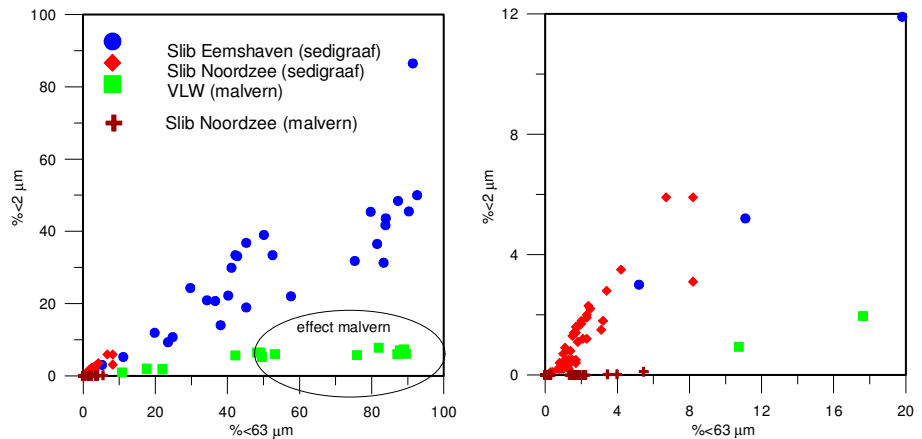
Het is bekend dat metingen met een Malvern en sedigraaf verschillende resultaten geven (zie memo G. Sprong, 5-1.2010), meestal zijn de waarden van sedimentfracties <50 µm van een sedigraaf hoger dan de metingen met een Malvern.

Figuur 4 geeft een overzicht van de korrelgroottemetingen aan alle monsters uit het onderzoeksgebied. Het mediane slibgehalte (< 63 µm) in de monsters, is 1.5 % (sedigraaf) of 0.19% (Malvern), het mediane slibgehalte (< 2 µm) in de monsters, is 0.75 % (sedigraaf) of 0% (Malvern).



Figuur 4: Box-Whisker plot van de resultaten van de monsteranalyses.

In Figuur 5 zijn de monsters van het huidige project ('Slib Noordzee') vergeleken met monsteranalyses van eerdere projecten (Verdiepte Loswal, 1999) en Slib uit de Eemshaven (2010). Hieruit blijkt duidelijk de verschillen in meetresultaten van beide meetsystemen. Bij een gelijke fractie van <63 µm, geeft de malvern een lagere fractie <2 µm dan de sedigraaf. Dit verschil is groter tussen de verschillende meetmethodes dan tussen verschillende locaties.



Figuur 5: scatterplots van korrelgroottemetingen van monsters gemeten met een sedigraaf en monsters gemeten met een Malvern, voor één monsterset en van monsters van andere locaties. De rechtergrafiek is een uitsnede van de lagere slibfracties.

In een workshop met slibexperts van Rijkswaterstaat, Deltares, Medusa, TuDelft, dd 16 juni 2010, is besproken welke informatie nodig is voor opstellen van de modellen van vertroebeling. Hieruit blijkt dat het fijne sediment dat in suspensie is gemeten, een mediane korrelgrootte van ongeveer 16 μm heeft (Blok, 2010). Deze metingen zijn uitgevoerd met een malvern particle sizer (maar met een ander instrument dat gebruikt is voor bepaling van de korrelgrootte in deze bodemsediment monsters). De malvern analyses van het bodemsediment laten echter bijna geen sediment zien met een korrelgrootte kleiner dan 16 μm . Op basis van de metingen die nu voorhanden zijn, wordt het fijne suspensief sediment niet in de bodem aangetroffen. Het is echter niet duidelijk of dit werkelijk zo is, of het gevolg is van een instrument effect.

Het strekt daarom tot aanbeveling de korrelgrootte van het bodemsediment met de malvern, die ook wordt gebruikt voor analyse van korrelgrootte van het zwevend stof sediment, te analyseren. Hieruit moet blijken of dit fijne zwevend stof sediment ook werkelijk terug te vinden is in het bodemsediment.

3.2 Slibgehalte

De sedimenten langs de kust van de noordzee bestaan uit een mengsel van verschillende mineralen. Elk van deze typen mineralen heeft een eigen chemische, fysische en radiometrische karakteristiek.

Alle verschillende sedimenttypen hebben elk een eigen chemische samenstelling. Kwarts bestaat vooral uit SiO_2 , klei bestaat uit complexe stelsels van onder andere K, Mg, Al, Si. Met behulp van gammaspectrometrie wordt met behulp radioactiviteit de concentratie van een aantal (radioactieve) chemische elementen gemeten: K, U en Th. De concentraties van deze elementen en de verhouding tussen deze elementen verschilt per mineraaltype (van Wijngaarden et al., 2002; Venema and de Meijer, 2001). De specifieke concentratie van deze elementen per sedimentfractie noemen wij de *radiometrische fingerprint* en kan in het laboratorium worden bepaald.

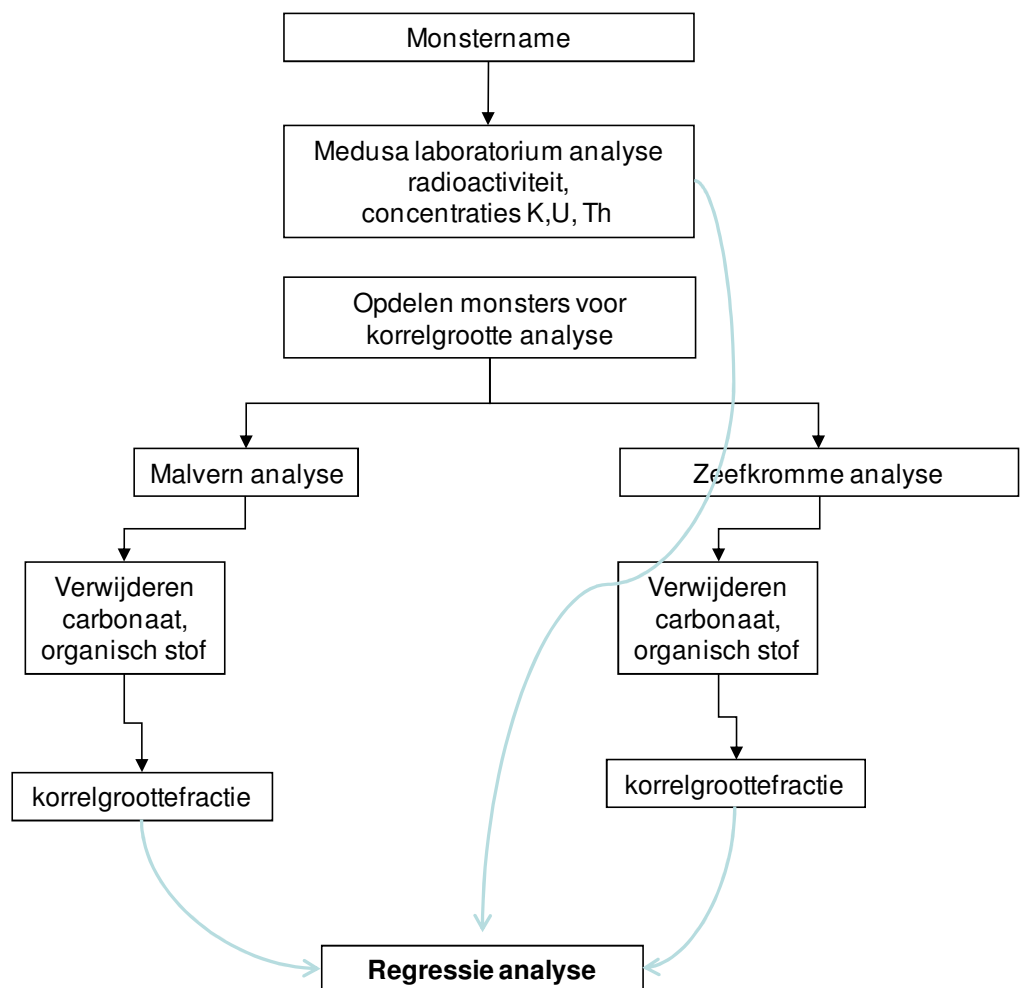
Omdat de concentraties van K, U, Th in het veld meetbaar zijn (met het Medusa systeem), kan deze radiometrische fingerprint worden gebruikt om veldmetingen te vertalen naar concentraties van de sedimenttypen in het veld.

In het ideale geval wordt een sedimentmonster door zeven of andere scheidingsmethoden compleet gesplitst in de afzonderlijke sedimentfracties en worden de concentraties K, U, Th in elke fractie gemeten. In het verleden is deze methode toegepast om de fingerprint van kleifracties of van zware mineralen te bepalen (Gieske, 2001; van Wijngaarden et al., 2002; Venema et al., 1999).

Hiervoor moeten echter grote sediment monsters worden gescheiden in de afzonderlijke sedimentfracties en deze aanpak is daardoor erg omslachtig en kostbaar. Een andere aanpak om de fingerprint te bepalen is door middel van een regressie analyse. In een twee componenten stelsel (bijvoorbeeld klei, zand), kan worden bepaald wat de concentratie thorium zou zijn bij 0% klei en bij 100% klei. Voorwaarde om deze analyse goed uit te kunnen voeren:

- De monsters moeten een brede spreiding hebben over het kleibereik
- De maat voor de sedimentfractie moet informatie geven over een verdeling in minerale samenstelling (klei/zand)

Voor het onderzoek zijn de monsters gemeten op een laboratoriumopstelling voor het meten van radioactiviteit bij Medusa Explorations en zijn deze monsters op korrelgrootte geanalyseerd (Figuur 6).



Figuur 6: proces van monsterbehandeling voor bepalen van de ijklijn voor de fingerprint.

Uit eerdere studies is gebleken dat de concentraties van K en Th tussen klei en zand sterk verschillen. Typische fingerprint voor klei, zand en zware mineralen zijn in (tabel 2) weergegeven. Hieruit blijkt dat de gehalten K voor klei hoger zijn dan voor zand, dit verschil is ongeveer een factor 2. Voor U en Th zijn de gehalten in klei ook hoger en zijn de verschillen een factor 3. Zware mineralen hebben een lagere concentratie K dan klei en zand, de concentraties U en Th zijn voor zware mineralen hoger dan klei en zand. De gehalten U en Th zijn vergelijkbaar voor alle sedimenttypen. Met de aanname dat de som van klei, zand, zware mineralen gelijk

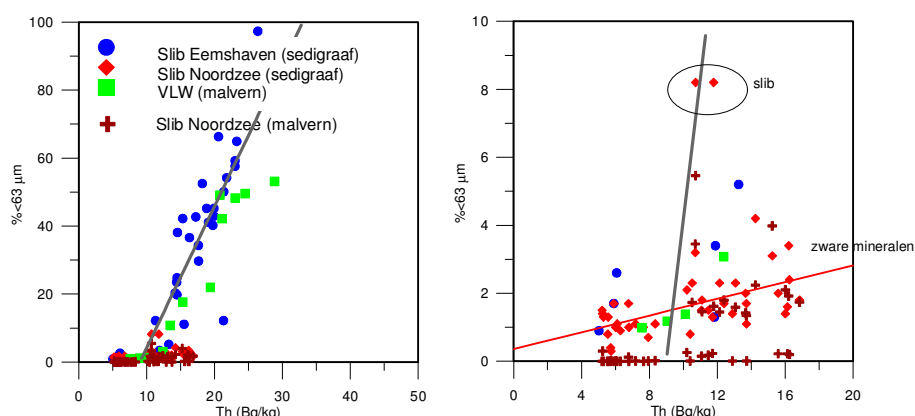
is aan 1, kunnen de concentraties van deze typen sediment worden berekend met behulp van de concentraties K, U en Th.

Tabel 2: typische radiometrische fingerprints voor verschillende typen sediment (bron: Venema, verdiepte Loswal studie).

	^{40}K	^{238}U	^{232}Th
klei (< 63 μm)	520	33	33
Zand (> 63 μm)	250	9	9
Zware mineralen	80	840	750

De monsters uit het onderzoeksgebied hebben erg lage slibfracties. Bepaling van de radiometrische fingerprint op alleen deze monsters is daarom lastig omdat het bereik erg klein is. Daarom zijn de monsters vergeleken met monsteranalyses uit andere projecten. In figuur 7 zijn de korrelgroottes vergeleken met de concentratie thorium. De grijze lijn is een weergave van de fingerprints in tabel 2. Uit deze Figuur 4 was al gebleken dat de monsters volgens de Malvern bijna geen 'slib' bevatten, en dat de monsters volgens de sedigraaf wel 'slib' bevatten.

De monsters met een slibgehalte van ~8% vallen op de grijze lijn en lijken op basis van de concentraties Th ook slib te bevatten. De overige monster tonen wel een correlatie met het thorium gehalte, maar deze komt niet overeen met de fingerprint van slib, sterker: de gehalten tonen Th waarden die eerder lijken op gehalten zware mineralen. Voor deze zandrijke monsters, lijken de 'slibfracties' gemeten met sedigraaf niet afkomstig van kleimineralen. Dit lijkt te worden bevestigd door de malvern analyses.



Figuur 7: scatterplots van korrelgroottemetingen en concentraties van thorium van monsters gemeten met een sedigraaf en monsters gemeten met een Malvern. De rechtergrafiek is een uitsnede.

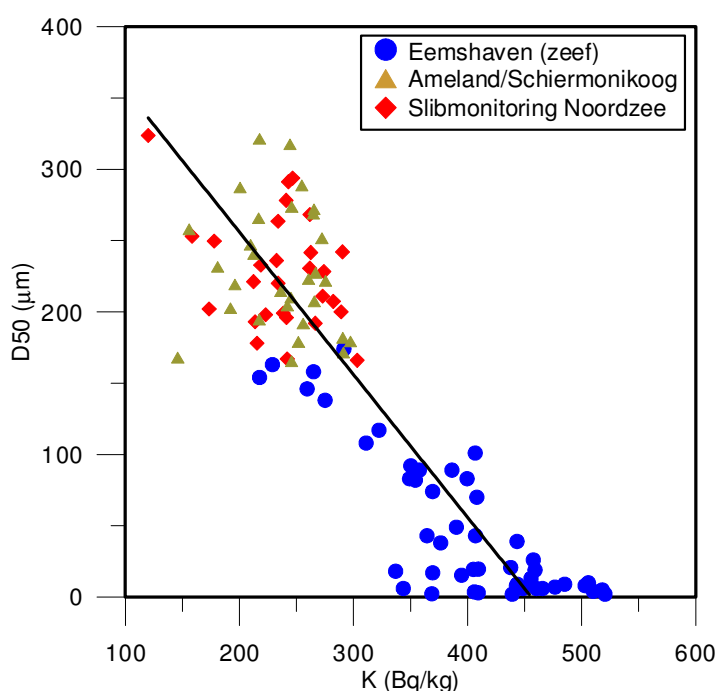
De fingerprint analyse laat zien dat monsters waar echt slib in zit (slibfracties >4 % gemeten met sedigraaf en malvern) op de verwachte ijklijn vallen. Voor de overige monsters is het niet duidelijk of het 'slib' afkomstig is van kleimineralen of iets anders. Het strekt daarom tot aanbeveling om deze zandige sedimentmonsters ook chemisch te analyseren om oa het gehalte Al te bepalen. Hiermee kan worden gemeten of er ook werkelijk klei in zit.

Voor de interpretatie van de Medusa metingen in het veld is het op basis van deze analyses niet mogelijk om de absolute concentratie van 'slib' in de bodem te bepalen omdat niet duidelijk is welke ijklijn moet worden gebruikt. Uit de analyse blijkt echter wel dat een duidelijke verandering in slibgehalte resulteert in een hogere Th concentratie. Daarom worden in deze studie de *variëaties* in Th gehalte gerapporteerd. Deze variëaties in Th gehalte zijn een proxy voor variatie in slibgehalte: een hogere Th concentratie is het gevolg van een hogere slibfractie.

3.3 Korrelgrootte

In verschillende studies (de Meijer et al., 2002; Koomans, 2000; Koomans and Oosterhoff) is aangetoond dat MEDUSA metingen gebruikt kunnen worden om gebiedsdekkende kaarten te maken van de mediane korrelgrootte van het sediment. Bij deze analyse maken we gebruik van het feit dat de concentratie kalium (^{40}K) sterk gecorreleerd is aan de korrelgrootte van het sediment (Figuur 8). Deze correlatie is het gevolg van het feit dat de verhouding k-veldspaat/kwarts varieert met korrelgrootte (Odom, 1976). Bepalingen van het kaliumgehalte in verschillende sedimentmonsters laat zien dat het gehalte K-veldspaat toeneemt bij afnemende korrelgrootte.

Voor ijking van de monsters uit dit project zijn de analyseresultaten van de malvern gebruikt. Uit Figuur 8 blijkt dat de kalium concentratie afneemt met toenemende korrelgrootte. De lineaire regressie (D50=450-K) heeft een R^2 van 82%.



Figuur 8: scatterplot van mediane korrelgrootte tegen kalium concentratie. De korrelgrootte van de monsters van de Eemshaven zijn bepaald zeven, de overige met behulp van malvern.

De concentratie van kalium kan worden gebruikt als proxy voor de mediane korrelgrootte van het sediment.

3.4 Bodemruwheid

De bodemruwheid (k) is een parameter die de weerstand tussen (stromend) water en het sediment beschrijft. De bodemruwheid (k_{bodem}) is opgebouwd uit ruwheid afkomstig van golf- en stroomribbels (k_{ribbel}) en uit een ruwheid afkomstig korrelgrootte ($k_{\text{korrelgrootte}}$) (van Rijn, 1993):

$$k_{\text{bodem}} = k_{\text{ribbel}} + k_{\text{korrelgrootte}}$$

In verschillende studies wordt beschreven dat de bodemruwheid een belangrijke parameter is in de berekening van sedimenttransport in het kustgebied (Black and Oldman, 1999; Davies and Villaret, 2002). Deze studies laten tevens zien dat in

geval van een geribbeld (golf- en stroomribbels) bed, de ruwheid van ribbelstructuren (K_{ribbel}) een factor groter is de ruwheid van korrelgrootte ($K_{\text{korrelgrootte}}$). Alleen in gebieden met megaribbels is de korrelgrootte bepalend voor de bodemruwheid.

Eén van de parameters die met het MEDUSA systeem wordt gemeten is de ruwheid van de waterbodem. In de MEDUSA buis zit een geluidssensor die de wrijving tussen de bodem en de detector registreert (Figuur 2). Deze geluidsmeting is consistent en herhaalbaar. De resultaten van deze geluidsmetingen worden gebruikt om het gehalte schelpen of de hoeveelheid puin in het sediment in kaart te brengen (Limburg and de Vries, 2003; Oosterhoff et al., 2003).

Het MEDUSA systeem meet de ruwheid van de *toplaag* van het sediment. Met deze meting wordt dus geen informatie verkregen over sediment dat dieper dan enkele centimeters voorkomt.

Voor de toepassing in de huidige studie kunnen de geluidsmetingen worden gebruikt om de bodemruwheid of schelpgehalte. Daarvoor moet bekend zijn wat de sturende parameters zijn in de generatie van het geluid en moeten de geluidsintensiteiten worden vergeleken met werkelijk bepaalde bodemruwheden op de zeebodem.

Het geluid dat met Medusa gemeten wordt, kan door verschillende bodemvormen en sedimenttypen gegenereerd worden. Het geluid kan een functie zijn van:

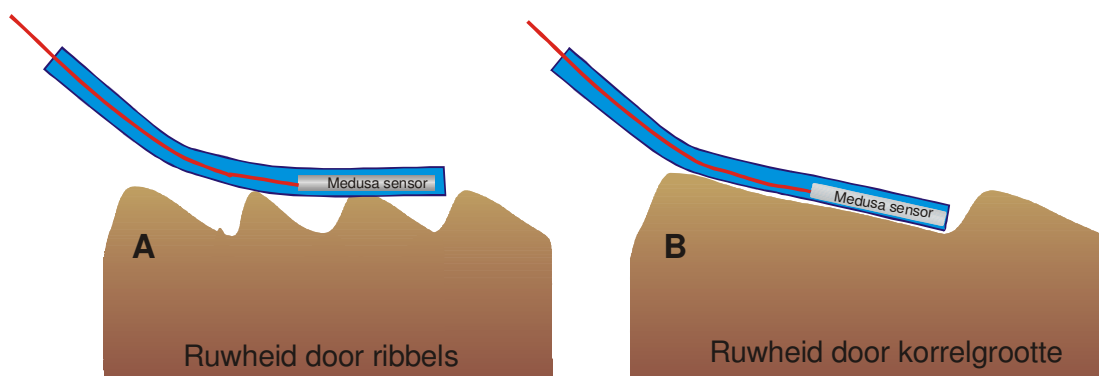
- Korrelgrootte van het sediment
- Type sediment (schelpen, zand)
- Afgerondheid sediment (afgerond vs hoekig)
- Harde objecten (stenen en puin)
- Ribbelstructuren (“wasbord effect”)

Men kan het proces dat leidt tot het geluid vergelijken met het aanslaan van bijvoorbeeld een orgelpijp: wanneer de meetbuis over zand (met een oppervlak zonder ribbels) getrokken wordt, zal de “orgelpijp” een schurend geluid voortbrengen dat intenser wordt naarmate de korrelgrootte van het sediment toeneemt. In proeven (Koomans, 2000) is gebleken dat de intensiteit van het geluid in zulke gevallen schaal met de mediane korrelgrootte (D50) van het sediment. Tevens blijkt uit de experimenten dat het frequentiespectrum van het geluid *niet* afhangt van de korrelgrootte. Oftewel: verschillen in korrelgrootte leiden wel tot verschil in geluidsterkte, maar niet in verschillende klank. Verder is aangetoond dat de geluidsintensiteit nauwelijks afhangt van de snelheid waarmee de sensor wordt voortgesleept. De geluidsintensiteit wordt gemeten als percentage van een maximum geluidswaarde.

In verschillende studies (Limburg and de Vries, 2003; Oosterhoff et al., 2003) is onderzocht in hoeverre de geluidssensor gebruikt kan worden om een kwalitatief en kwantitatief beeld te krijgen van het schelpgehalte en gehalte aan grote objecten in het sediment.

Naar verwachting zal ook de morfologie van de bodem een rol spelen in de variaties in geluidsintensiteit. Een gladde bodem zal immers een ander geluid produceren dan een bodem waarop kleinschalige ribbelstructuren voorkomen (vergelijkbaar met het schuren over een ouderwets wasbord). De MEDUSA sensor (met een lengte van 1 m) zit in een, 15 m lange, semi-flexibele PVC buis. Het totale contactoppervlak van deze buis is enkele meters. Ribbelstructuren met een golflengte groter dan enkele meters zullen door MEDUSA niet als “ribbel” worden gevoeld; ribbelstructuren met een golflengte kleiner dan enkele meters zullen naar verwachting een verhoging van het geluidssignaal geven (Figuur 9).

De studies naar het bepalen van het gehalte van puin in het sediment hebben laten zien dat het geluid schaalt met de grootte van het object (zandkorrel, schelp, puinbrok). Lage waarden (<~2%) in de geluidsintensiteit zijn het gevolg van korrelgrootte, grote waarden in de geluidsintensiteit zijn het gevolg van ribbelstructuren, puin en schelpen.



Figuur 9: effect van ribbelvorm op de bodemruwheid. A. kleinschalige ribbelstructuren genereren een “wasbord” effect, de ruwheid wordt door ribbelvorm gedomineerd. B. De sensor glijdt over de ribbels heen, de ruwheid wordt door korrelgrootte gedomineerd.

Om de geluidsmetingen kwantitatief te vertalen naar de bodemruwheid (uitgedrukt in m), moeten de gebiedsdekkende metingen worden vergeleken met de werkelijke bodemruwheid gemeten of gemodelleerd op enkele locaties. Deze ijkgegevens zijn echter niet voorhanden. De gerapporteerde bodemruwheid geeft daarom geen gekalibreerde waarde, maar kan worden beschouwd als proxy voor het voorkomen van schelpmateriaal (hoge waarden van bodemruwheid) of om variaties in de ruwheid van de bodem als gevolg van korrelgrootte of ribbelstructuren. In tabel 3 wordt volgens een overzicht (volgens standaard vergelijkingstabel) gegeven van de bruikbaarheid van de geluidssensor voor het lokaliseren van schelpenbanken.

Tabel 3: overzicht bruikbaarheid geluidssensor voor lokaliseren schelpenbanken

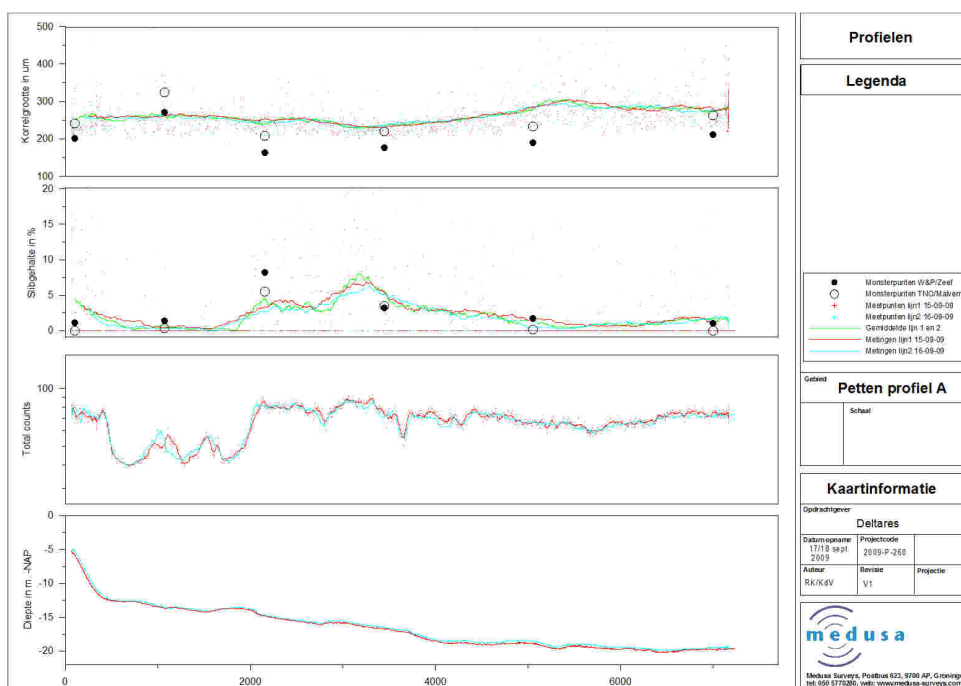
	Geluidssensor
Kosten	
Kosten per dag uitvoering	2 pp, schip+bemannings, apparatuur, GPS
Kosten verwerking materiaal van 1 dag uitvoering	Ca. 2-3 dagen
Inzetbaarheid	
Afhankelijkheid wind	Afh van Schip.
Afhankelijkheid zicht	Afh van Schip.
Afhankelijkheid substraat type	n.v.t.
Diepte bereik	Ca. 200 meter waterdiepte afh. van kabellengte
Logistiek	
Aantal mensen	2
Type schip	Zeewaardig en enige dekruimte

Beschikbaarheid apparatuur	Rel. eenvoudig inzetbaar
Duurzaamheid	
Brandstof verbruik per dag	schipsafhankelijk
Wetenschappelijke waarde	
Kwantitatief	Schaalbaar indicatie over hoeveelheden
Kwalitatief	nee
Soorten in het sediment	Alleen info over oppervlak
Soorten op het sediment	Geen onderscheid in soorten m.u.v. grote ruwheidsverschillen (b.v. oesters)
Mobiele soorten	nee
Duur bestaande meetreeks	n.v.t
Verder analyse mogelijkheden	geen
Noodzaak aanvullende metingen	
Rendement	Ca. 10 km/uur
Aantal locaties per dag	1 meting per seconde
Bemonsterd oppervlakte zeebodem per dag	Raaimeting
Aanvullende kennis gegenereerd (verklarende factoren)	

4 Beschrijving meetresultaten

4.1 Medusa-metingen

In de bijlagen zijn de resultaten opgenomen van de 5 verschillende meetsessies. Hierbij zijn de resultaten van de individuele metingen over elkaar heen geplot. Van elke meting is de diepte, geluid/ruwheid van de bodem, total counts (totaal gemeten radioactief signaal), thoriumconcentratie en kaliumconcentratie geplot. Indien er tijdens 1 meetsessie meerdere opnames zijn langs dezelfde track, is het gemiddelde van de meting gebruikt voor de vergelijking. Het gemiddelde kan worden gebruikt omdat de herhaalbaarheid van de metingen goed is. In figuur 10 zijn 2 lijnen te zien van de meting in september die langs track A zijn gevaren, waarbij de ene lijn in omgekeerde richting en ca. 6 uur later is gevaren. Hieruit blijkt dat de herhaalbaarheid van de data goed is, en dat de verschillen die tussen de meetsessie worden gevonden gerelateerd kunnen worden aan een veranderingen in bodemsamenstelling.



Figuur 10: twee metingen opgenomen in 1 meetsessie langs track A in september, met onderlinge tijdsverschil van ca 6 uur, waaruit blijkt dat de meting goed herhaalbaar is.

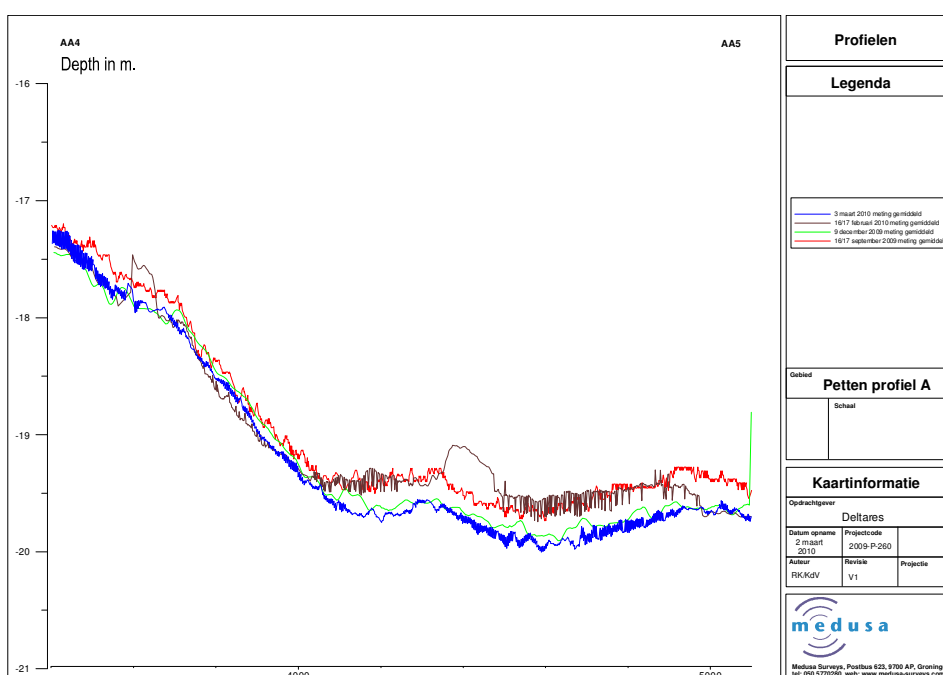
4.1.1. Track A

Track A heeft als kenmerk dat er langs een traject van ca. 1400 meter ter hoogte van locatie AA2, tussen AA1 en AA3 een strook voorkomt met een opvallende lagere activiteit (total counts). Dit is een locatie waar ook uit de monsters blijkt dat de samenstelling anders is dan in het overige deel van de track. De mediane korrelgrootte voor de locatie AA2 is ca. 265 μm t.o.v. 187 μm voor de overige locaties langs de A-Track. De verhoudingen tussen de verschillende radionucliden lijkt niet echt af te wijken. Er is slechts een klein verschil te zien in de U/Th verhouding. De mineralogische samenstelling lijkt dus niet echt anders te zijn. De daling in de Total counts lijkt dus in grote mate te worden veroorzaakt door een lagere kaliumwaarde die rechtstreeks het gevolg is van een grotere mediane korreldiameter.

Als we de verschillen per meetsessie beschouwen, zijn er in het diepteverloop weinig verschillen zichtbaar. In het ondiepe deel (tussen 0 en 600 meter vanaf de

linkerkant) is wel een verondieping zichtbaar, maar deze wordt veroorzaakt doordat de ligging van de meetlijn daar in de meting van februari daar afwijkt van de overige lijnen. De lijn van februari wijkt daar ca 200-300 meter af van de eerdere meetlijnen. Hierdoor is de dip in de total counts, thorium en kalium lijn ook verschoven t.o.v. de andere metingen. Langs de rest van de track liggen de lijnen wel goed op elkaar.

In het diepteverloop ligt de lijn van de meting van september met name in het zeevaarste deel iets boven (ondieper) die van de andere metingen. De verschillen zijn echter klein en liggen in de orde van enkele dm. In figuur 11 is in een beperkt deel van het profiel (tussen 3500 en 5000 km vanaf het nulpunt) langs track A ingezoomd. De verticale schaal is flink overdreven, hierdoor zijn de hoogteverschillen t.g.v. de ribbels goed te zien en zijn ook de verschillen tussen de verschillende meetsessies te zien. De meting van september (en in dit deel ook die van februari) ligt ca 0.20 cm hoger dan de meting van december en maart.

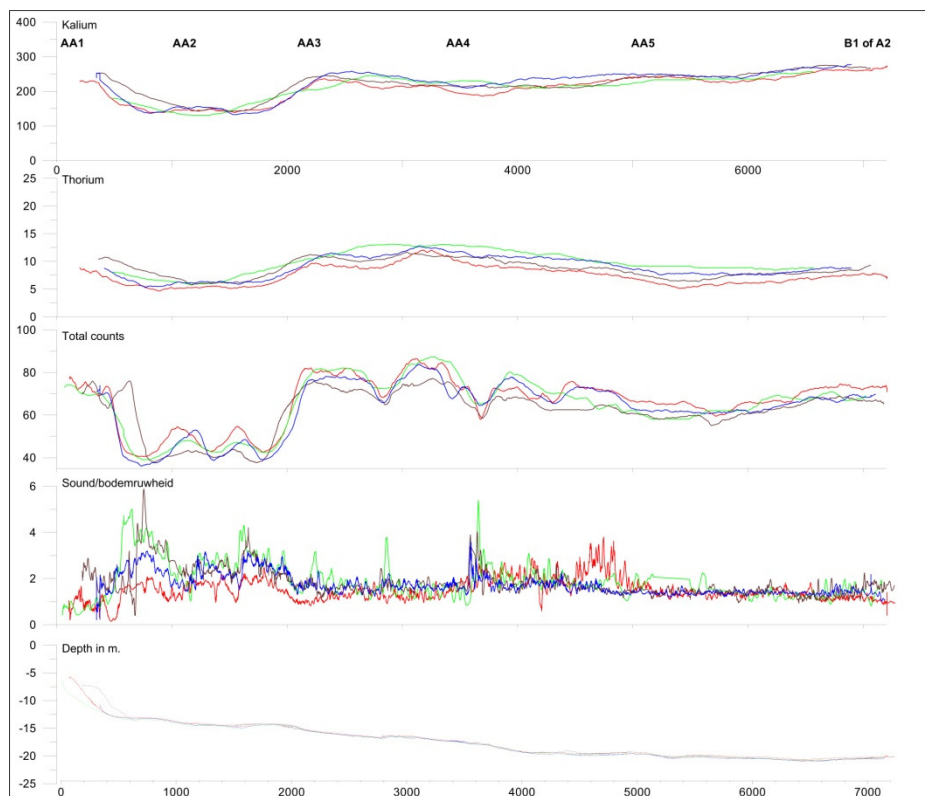


Figuur 11: track A ingezoomd beeld van diepteverloop tussen AA4 en AA5.

Er zijn wel grote verschillen zichtbaar in de ruwheid van de bodem. De bodemruwheid wordt sterk beïnvloed door de aan- of afwezigheid van schelpen (dood of levend) op de zeebodem. In het eerste deel tussen 0 en 400 meter vanaf links is de hoeveelheid schelpen gering en is de variatie over de verschillende meetsessies klein. Tussen 400 en ca. 2 000 meter vanaf links is de bodemruwheid maar ook de variatie hierin relatief erg groot. Hier komen waarschijnlijk veel schelpen voor maar het feit dat de opeenvolgende lijnen grote verschillen laten zien, maken het aannemelijk dat de schelpvoorkomens 'patchy' verdeeld zijn. Tussen 2 000 en ca. 3 500 meter vanaf links neemt de variatie en absolute waarde van bodemruwheid weer af, waarna de variatie tussen de verschillende meetsessies, maar ook de absolute bodemruwheid weer toeneemt. Opvallend is dat voor de septembermeting de bodemruwheid over de gehele lengte tussen 0 en ca. 3 500 meter duidelijk onder de andere meetlijnen ligt, maar dat er bij 4 500 een opvallende piek is te zien. Vanaf 5 000 meter is de ruwheid over de verschillende meetsessies constant en relatief laag.

De thorium en kalium waarden zijn een maat voor het slibgehalte en korrelgrootte. In de verschillende meetsessies is te zien dat de thorium- en kaliumwaarden voor

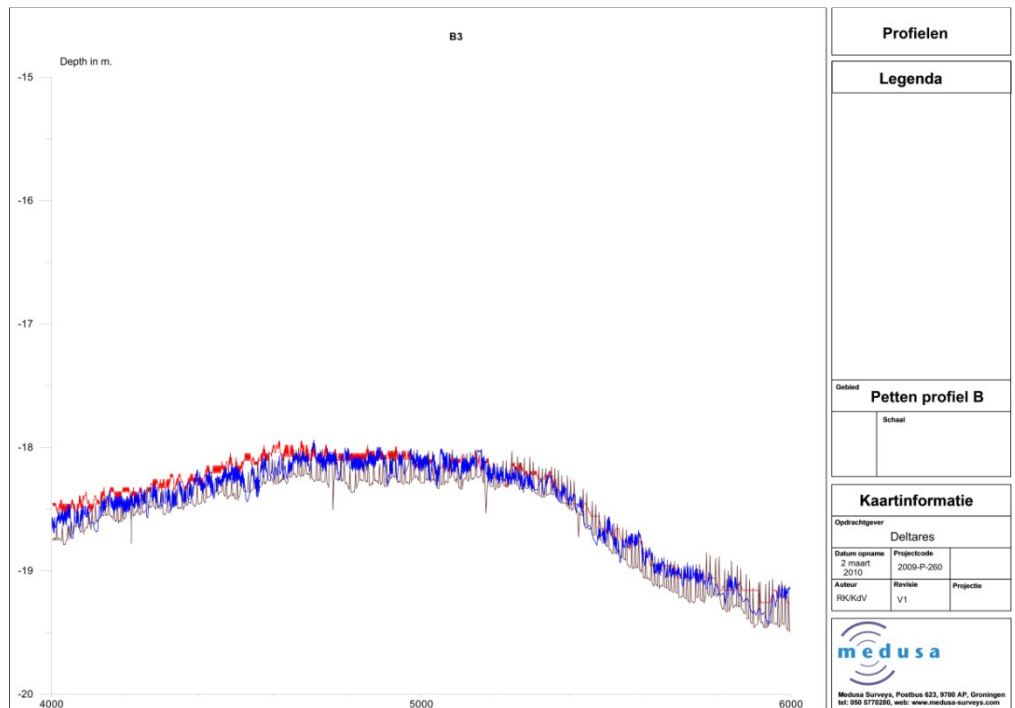
de septembermeting gemiddeld gezien onder de lijnen van de overige meetsessies liggen. Dit is met name goed te zien als wanneer middeling (running average) wordt toegepast. Hierdoor worden de verschillende trends duidelijker zichtbaar. Het thoriumgehalte is het laagst bij de septembermeting. De decembermeting ligt gemiddeld gezien overal boven de andere meetsessies. Het lijkt er op dat er in de decembermeting het slibgehalte in de zeebodem het hoogst is, in september het laagst en dat de waarden van februari en maart daartussen schommelen. Dezelfde trend is ook te zien in het kaliumgehalte. Naast een maat voor het slibgehalte is kalium ook een goede voorspeller van het de mediane korrelgrootte (zie hoofdstuk kalibratie). De korrelgrootte is omgekeerd evenredig met de kaliumconcentratie. De septembermeting laat gemiddeld een lager kalium concentratie zien. Dit zou er op kunnen duiden dat de mediane korrelgrootte van de toplaag van de waterbodem in september gemiddeld gezien lager ligt dan bij de andere meetsessies. Het verschil tussen de december-, februari- en maartmetingen is minder uitgesproken.



Figuur 12: track A waarbij de waarden voor kalium en thorium zijn uitgemiddeld.

4.1.2. Track B

De B-track is een kustparallele lijn op ongeveer 20 meter diepte en ca. 10 km uit de kustlijn. Deze track wordt gekenmerkt door weinig variatie in de diepte. De diepte varieert tussen -17.80 en -20.2 meter –NAP. De bodemmorfologie wordt bepaald door golfribbels, op de detailopname is dit te zien doordat de diepteligging van de bodem varieert met 25-35 cm. De individuele golfribbels zijn niet te zien omdat de horizontale resolutie hiervoor niet voldoende is. Er wordt ongeveer elke 2-3 meter 1 meting van de diepte opgenomen.



Figuur 13: detailopname diepteverloop track B.

In de radionuclide valt ook zeer weinig variatie terug te vinden. De thoriumconcentraties variëren tussen 5 en 10, waarbij overigens wel weer de thoriumlijn van september lager ligt dan die van februari en maart. Ook hier net als in track A lijkt het erop dat het slibgehalte in de bodem in september significant lager was dan in de overige metingen. De metingen van februari en maart verschillen onderling nagenoeg niet.

In geval van de kaliumconcentraties zijn er geen verschillen te vinden tussen de verschillende meetsessies. Het lijkt erop dat de korrelgrootte geen variatie laat zien tussen de verschillende meetsessies.

De bodemruwheid laat wel een duidelijk verschil zien tussen de meetsessies. De meting van februari ligt over de gehele lijn hoger dan de meting van september en maart. Onduidelijk is waardoor dit wordt veroorzaakt, aannemelijk lijkt dat hier sprake is van een systematische afwijking, niet veroorzaakt door de natuurlijke variatie. De meting is met dezelfde apparatuur, en met dezelfde instellingen uitgevoerd.

De variatie in het geluid/bodemruwheid is klein. De bodem lijkt hier over een grote afstand weinig veranderingen zien.

4.1.3. Track C

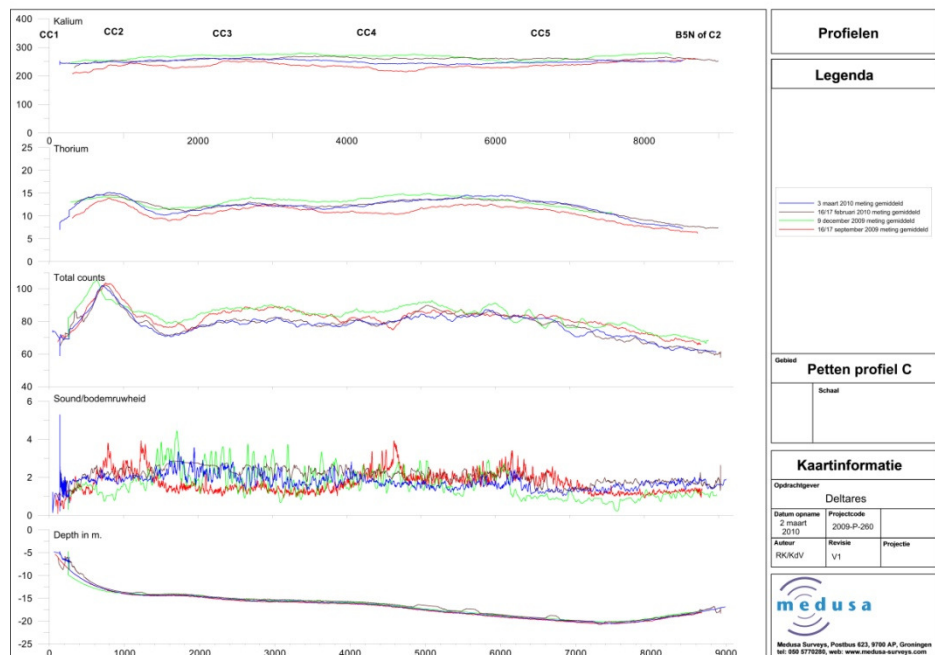
Track C bestaat uit een kustdwarse lijn lopend van de kust tussen Egmond en Bergen naar locatie B5 van track B. Het bodemverloop is ongeveer gelijk aan die van de A-track. In de eerste 1000 meter vanaf het nulpunt verdiept zich het profiel vrij snel van -5 tot ca -15 m –NAP. Tussen 1000 meter en ca 7500 meter wordt de diepte geleidelijk groter tot ca -20 meter –NAP. Tussen de verschillende meetsessies is er weinig verschil te zien. In de ondiepe gedeelte van de kustzone (-5 tot ca. -8 meter) is er nog wel enige variatie te zien. Hierbij moet opgemerkt worden dat met name de meetlijn van februari ca. 200-300 meter verschoven is t.o.v. de overige meetlijnen. De overige meetlijnen liggen wel redelijk nauwkeurig op 1 lijn. Daarnaast is dit een dynamisch gebied, met veel verplaatsende brekerbanken, waardoor de diepte kan variëren. Opvallend is verder dat de

dieptelijn van de februari meting op een paar locaties een verondieping laat zien (bultjes) van ca 50 - 70 cm.

De bodemruwheid laat een wisselend beeld zien tussen de verschillende metingen. De september meting laat wat pieken zien rond de 1000 meter, 4500 meter en 6000 meter vanaf het nulpunt. Op deze pieken liggen waarschijnlijk meer schelpen (dode of levende) op de waterbodem. Deze pieken zijn in de december meting met uitzondering van de piek bij 6000 meter niet duidelijk terug te herkennen. Tussen 1500 meter en 4000 meter is de bodemruwheid in de september meting vrij laag en laat geen grote variatie zien. Het lijkt erop dat de bodem hier vrij is van schelpen en alleen uit zand bestaat. In de andere meetsessie is hier mogelijk wel schelpmateriaal aanwezig die een hogere bodemruwheid veroorzaakt, resulterend in een hoger geluidssignaal. De variatie in bodemruwheid is groot in het gedeelte tot ca 7000 meter. Verderop is de variatie laag, maar zijn de onderlinge verschillen tussen de metingen ook gering.

Opvallend aan de meting langs track-C is de relatief hoge natuurlijke radioactiviteit. Met name nabij de brekerbanken is er een duidelijke piek zichtbaar in de total counts. Een aanrijking van zware mineralen kan hiervoor de oorzaak zijn. Verderop langs de track blijft de activiteit in verhouding tot de A-track. Pas rond 7000 km vanaf het nulpunt zakt de activiteit (total counts) terug naar waarden zoals ook aanwezig langs de A-track. Dit verloop is in alle metingen aanwezig. Variaties tussen de verschillende metingen liggen gesuperponeerd op deze trend. Naar alle waarschijnlijkheid wordt deze verhoging veroorzaakt doordat hier sediment aanwezig is met een andere mineralogische samenstelling. Dit is duidelijk te zien doordat de verhoging vooral optreedt in de thorium en in de uranium waarden. De kaliumconcentraties zijn vergelijkbaar met de waarden die gemeten zijn in de A-track.

Ook in de C-track is er verschil te zien tussen de verschillende metingen. De thorium- en kaliumconcentraties van de september meting zijn lager dan die van de overige metingen. In figuur 14 zijn de waarden van thorium en kalium uitgemiddeld om de trends beter te kunnen onderscheiden.



Figuur 14: track C met uitgemiddelde waarden voor thorium en kalium.

De meting van december ligt voor het grootste gedeelte boven alle andere metingen. De metingen van februari en maart liggen hier tussen. Ook in de C-track

lijkt het er dus op dat de slibgehalte in de toplaag van de zeebodem in september lager was dan de overige metingen. In de meting van december was het slibgehalte het hoogst. De mediane korrelgrootte (gerepresenteerd door het kalium gehalte) is het kleinst in de meting van december en het grootst in de meting van september.

4.1.4. Track D

Track D is een kustparallele lijn tussen AA4 en CC4 op ca. 4 km uit de kust. De meting is alleen op 9 en op 15 december uitgevoerd. Deze metingen zijn richting het zuiden doorgetrokken. Langs dit doorgetrokken gedeelte zijn in maart en februari ook nog metingen uitgevoerd.

De positie van verschillende metingen langs de doorgetrokken meetlijn naar het zuiden verschilt soms nogal van elkaar. De metingen zijn hierbij over elkaar geprojecteerd, maar de onderlinge afstand is enkele honderden meters.

Track D is gemeten om informatie te verzamelen over verschillen en het verloop tussen de A-track en de C-track.

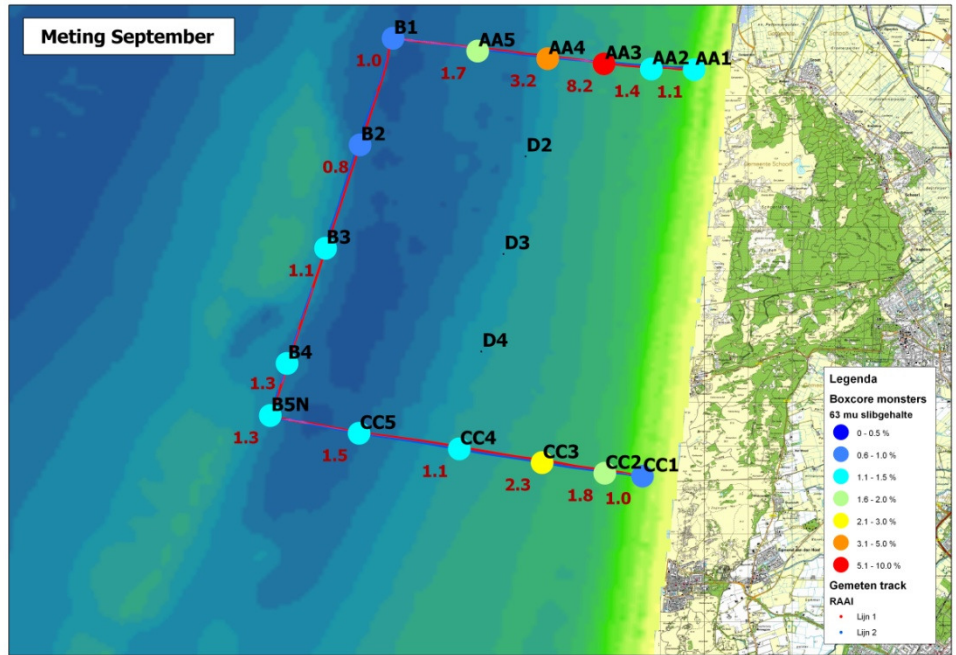
Opvallend is dat al vrij snel ten zuiden van de A-track, op ca 1000 meter vanaf AA4 de meting gaat lijken op de meting van de C-track, met een verhoging van de total count, en thorium, waarbij het kaliumconcentraties nagenoeg gelijk blijft. Tussen de meting van 9 en 15 december is er geen significant verschil opgetreden. De verwachting is dat er dan ook geen verschil in slibgehalte van de toplaag is opgetreden.

Het verloop van het geluid/bodemruwheid is in alle metingen vergelijkbaar en laat weinig verschil zien. Tussen D2 en D4 is er een verhoging van de bodemruwheid te zien, die in zowel de meting van 9 december als die van 15 december zichtbaar is.

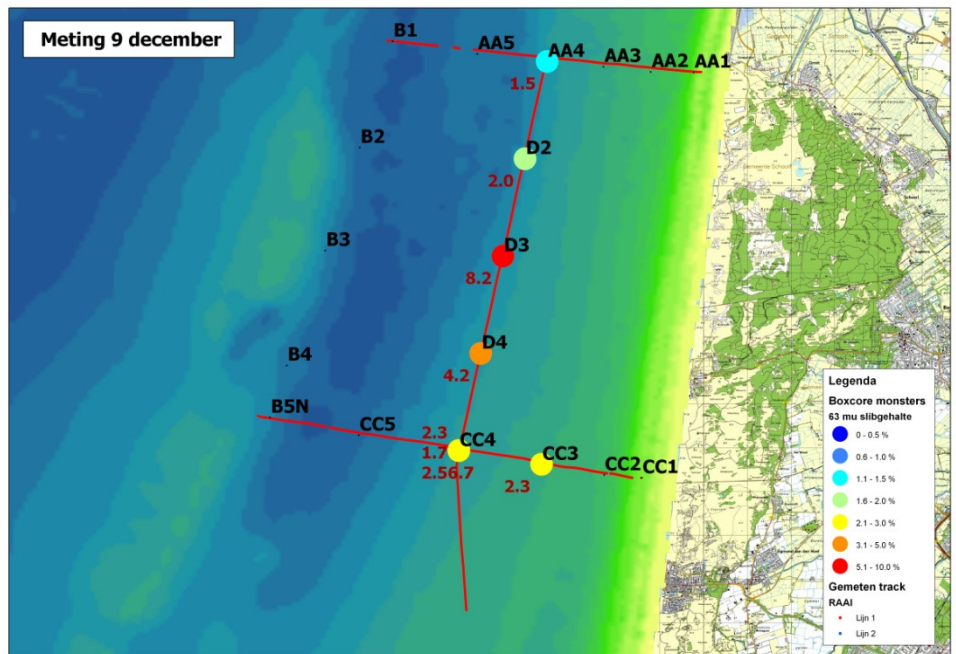
4.2 Monster analyses

Naast de metingen met de Medusa sensor zijn in totaal 44 boxcores genomen. De boxcores zijn in duplo bemonsterd en resp geanalyseerd m.b.v. een malvern particle sizer en d.m.v. zevingen en sedigraaf. Een aantal monsters zijn daarna ook nog op 3 verschillende diepteniveaus gesubsampled om het verloop van de korrelgrootte in de diepte te kunnen bestuderen.

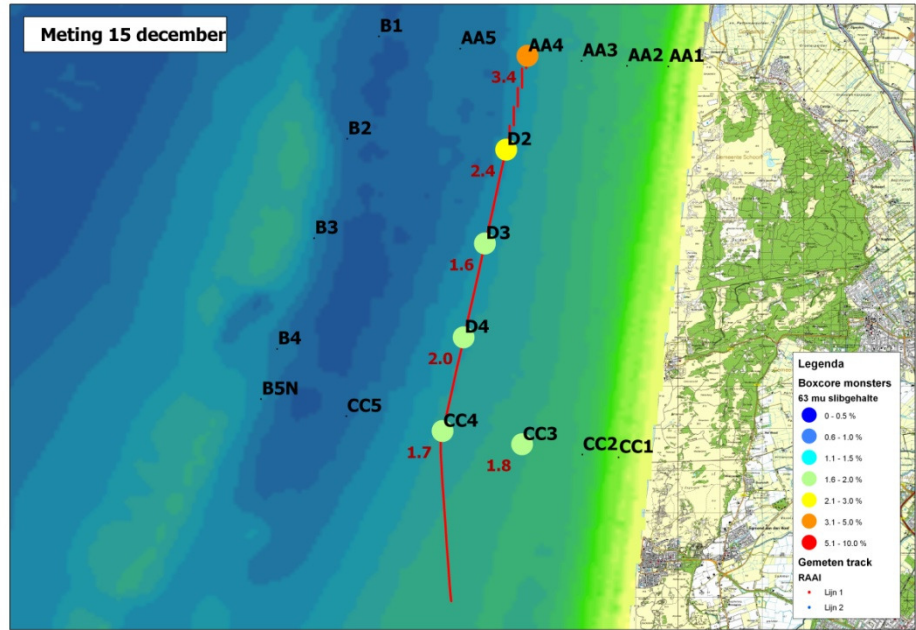
In onderstaande figuren (figuur 15 t/m figuur 19) zijn de monsterlocaties en de slibgehaltenes op basis van de analyses met de zeef/sedigraaf op kaart gezet.



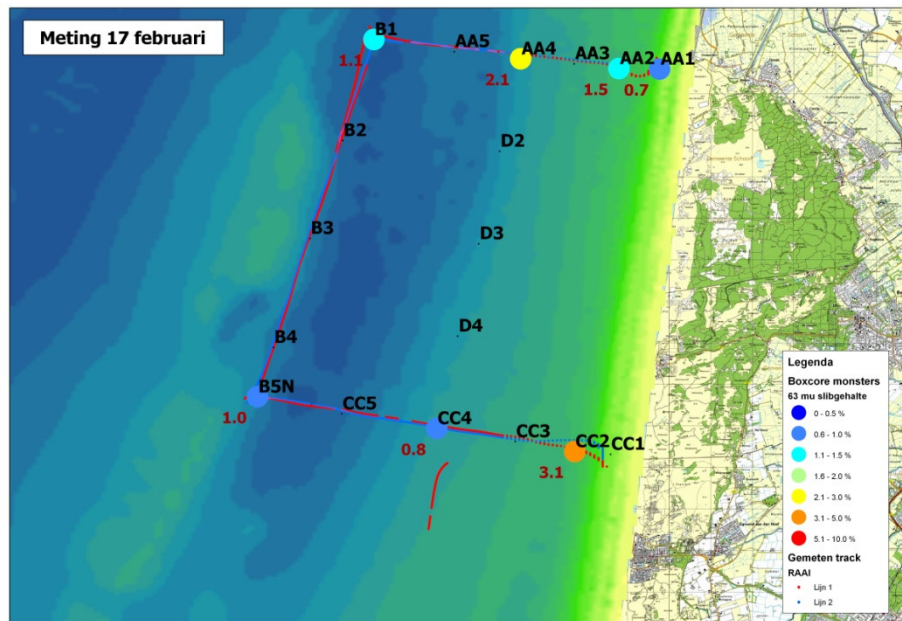
Figuur 15: slijpgehaltes monsters genomen in september 2009 (zeving/sedigraaf).



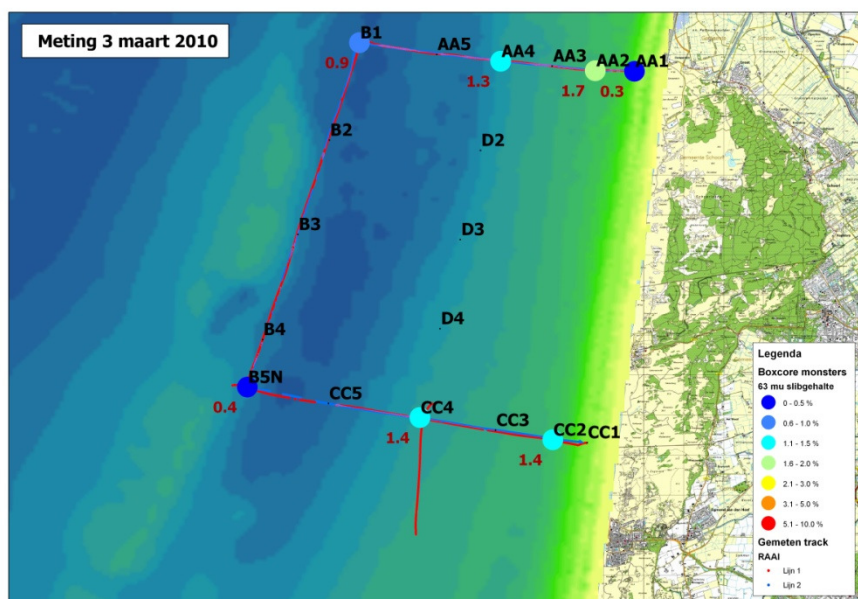
Figuur 16: slijpgehaltes monsters genomen op 9 december 2009 (zeving/sedigraaf).



Figuur 17: slijgehaltes monsters genomen op 15 december 2009 (zeving/sedigraaf).



Figuur 18: slijgehaltes monsters genomen op 17 februari 2010 (zeving/sedigraaf).



Figuur 19: slibgehalten monsters genomen op 3 maart 2010 (zeving/sedigraaf).

In de figuren is te zien dat het slibgehalte varieert van locatie tot locatie en dat er in de tijd geen verband in te zien valt.

Het gemiddelde slibgehalte in de monsters is laag (Tabel 4). De monsters gemeten met de sedigraaf laten zien dat er gemiddeld 1-2% slib in de monsters voorkomt, met maximale waarden van 8%. De metingen met malvern laten zien dat er gemiddeld 0-1% slib voorkomt, met maximale waarden van 6%.

Tabel 4: kengetallen van de dataset van 44 boxcores

	sedigraaf			malvern		
	< 2 μ m	< 16 μ m	< 63 μ m	< 2 μ m	< 16 μ m	< 63 μ m
gemiddelde	1.1	1.3	1.8	0.0	0.4	0.8
min	0.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0
max	5.9	6.2	8.2	0.1	2.4	5.5

5 Discussie

5.1 Meetvariatie in korrelgrootte analyses

Om de spreiding in korrelgrootte op korte afstand te bepalen, zijn op locatie CC4 2 boxcores genomen op zo goed mogelijk dezelfde plaats (coördinaten). Van elke boxcore is vervolgens een monster gestoken, goed gemengd en hiervan zijn vervolgens 4 deelmonsters genomen. De helft hiervan is geanalyseerd met behulp van de zeef/sedigraaf de andere helft is geanalyseerd met behulp van de Malvern. De resultaten staan in tabel 5 vermeld.

Tabel 5: controlemonsters van locatie CC4 in duplo geanalyseerd.

Monsternummer	Boxcore	Malvern		Zeef/Sedigraaf	
		D50	<63 μ m	D50	<63 μ m
2009P260M102	1	233	1.59	190	2.3
2009P260M103	1	234	1.67	188	6.7
2009P260M104	2	234	1.8	193	1.7
2009P260M105	2	236	0.09	191	2.5
gemiddelde		234	1.3	191	3.3
standaardevatie		1.3	0.8	2.1	2.3
standaardevatie (%)		1%	62%	1%	69%

5.1.1. Verschillen tussen meetmethoden

De resultaten in tabel 5 laten zien dat voor 1 meetmethode de mediane korrelgrootte in alle monsters gelijk is: bij de malvern 234 μ m en bij de zeef/sedigraaf 191 μ m. Tussen beide laboratoria is echter een duidelijk verschil te zien. Uiteraard heeft de gehanteerde methode van laboratoriumanalyse invloed op de resultaten.

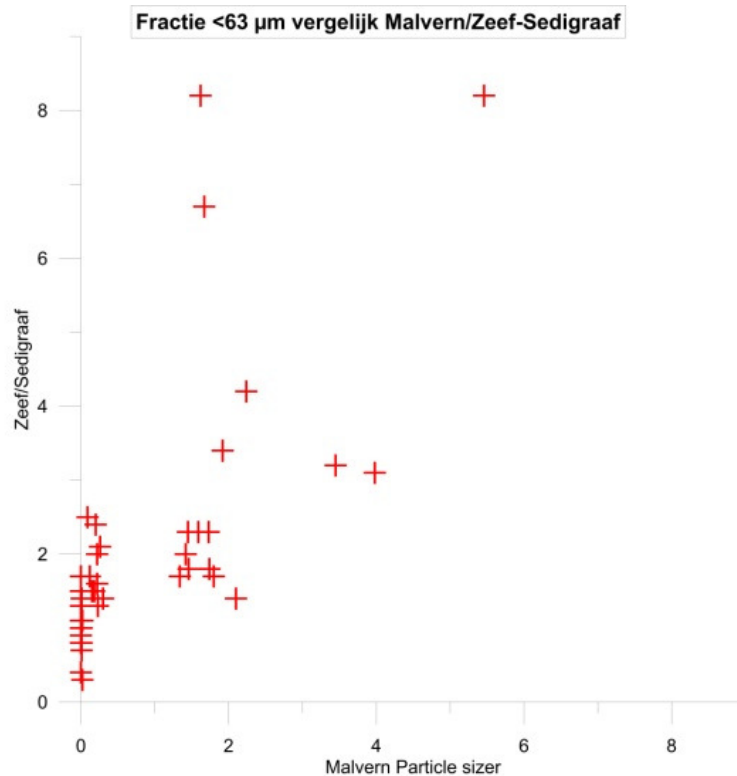
Gemiddeld ligt de mediane korrelgrootte van de Malvern Particle sizer ca 40 μ m hoger dan de zeefanalyse. Het slibgehalte bepaald met de Malvern Particle sizer van ligt gemiddeld 2% punt lager dan sedigraaf analyse.

Bekend is dat de Malvern particle sizer afhankelijk van de vorm van de deeltjes een overschatting laat zien van de deeltjesgrootte met name in de fijne fracties (< 50 μ m).

5.1.2. Verschillen binnen meetmethoden

Uit Tabel 5 blijkt dat de variatie in de bepaling van het slibgehalte in de monsters groot is. Voor beide methoden is de standaarddeviatie voor het slibgehalte ongeveer 60%, voor het bepalen van de mediane korrelgrootte is dat 1%.

In figuur 20 is dit ook goed te zien. In de grafiek, is het slibgehalte gemeten met de Malvern uitgezet tegen het slibgehalte gemeten met de zeef/sedigraaf. Hieruit blijkt dat geen linear verband tussen de beide metingen is, maar dat de metingen een grote spreiding tonen.



fractie < 63 µm
Zevingen/Sedigraaf gem. 1.22 %-punt (± 1.26) hoger dan Malvern
(tussen -0.88 en 6.58 %-punt)

Figuur 20: verschil in meting voor zeef/sedigraaf en Malvern.

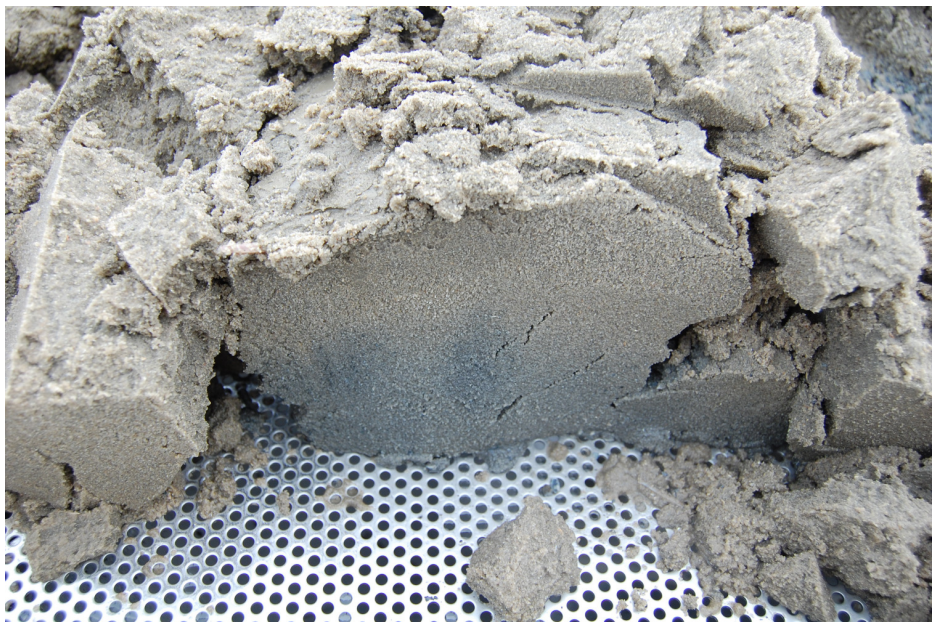
Wat de oorzaak is van deze grote variatie is niet duidelijk. Mogelijk kan dit veroorzaakt worden door een grote heterogeniteit in de monsters, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van kleibolletjes in het sediment. Een andere mogelijke verklaring is dat het meten van dergelijke lage slibconcentraties een grote foutenmarge bevat, voor beide methoden.

Tijdens de laatste meetsessie in maart zijn er op 2 locaties (CC2N en AA2) voor het bemonsteren van de bodemfauna een 5 boxcores per locatie genomen. Hiervan zijn steekmonsters genomen, maar zijn niet geanalyseerd. Visuele waarnemingen van deze monsters en van de boxcores laat zien dat er een grote variatie aanwezig is in bodemsamenstelling. Op onderlinge afstand van enkele 10-tallen meters is er bij sommige boxcores een flinke sliblaag van enkele dm's te zien terwijl andere boxcores volledig uit zand zonder slib bestaan. Dit geldt zowel voor locatie CC2N als voor AA2. De monsters zijn in opslag bij Medusa en kunnen eventueel nog worden geanalyseerd.

De duplo analyse laat zien dat variatie in slibgehalte op korte afstand erg groot kan zijn. Eén enkele meting aan een boxcore is niet representatief voor een groter gebied.



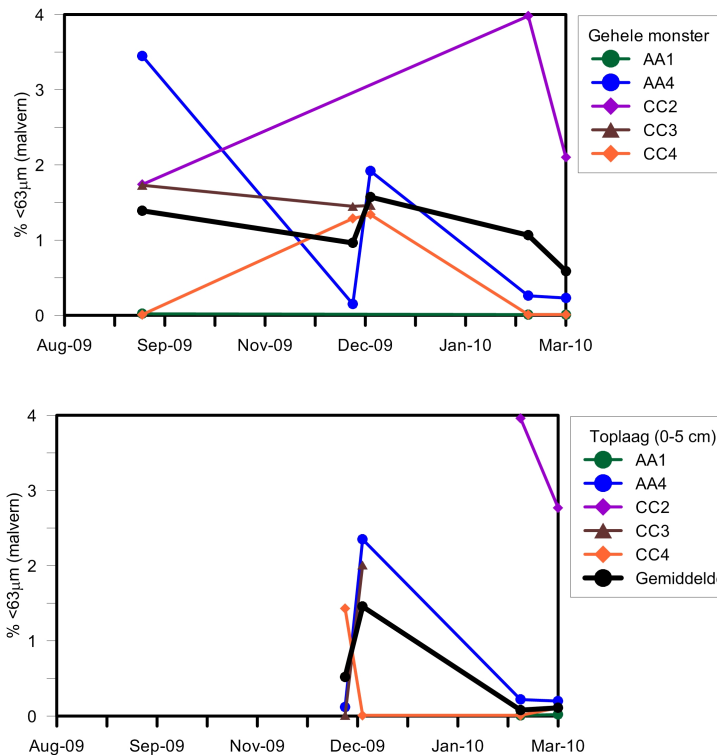
Figuur 21: foto op locatie AA2 met sliblaag onderin de boxcore.



Figuur 22: foto op locatie AA2 zand geen slib waargenomen.

5.1.3. Tijdverloop korrelgrootte analyses

In figuur 23 is de verandering in slibgehalte (korrelgrootte fractie $<63\mu\text{m}$) als functie van de tijd te zien. In deze figuur is geen duidelijke trend te zien, wat wel opvalt is dat de slibgehalten na 15 december lager zijn voor zowel het gehele monster als voor de toplaag monsters. Dit geldt echter maar voor 2 monsters, waarbij het opvallend genoemd mag worden dat het verschil tussen de meting van 9 en 15 december zo groot is.



Figuur 23: tijdsverloop slijbgehalte per monsterlocatie voor het gehele monster en voor de toplaag (0-5 cm).

5.2 Medusa metingen

5.2.1. Veranderingen langs het profiel

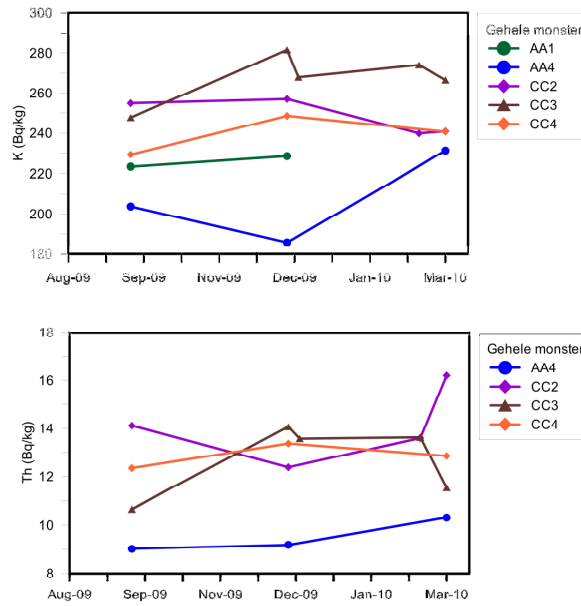
De kenmerkende variaties in de Medusa-metingen langs de profielen zijn in alle metingen terug te vinden. In track A is er tussen AA1 en AA3 een dip te zien in de total-counts en de nuclidconcentraties. Langs track C liggen de profielen van de medusa-metingen, waarschijnlijk vanwege mineralogische samenstelling, een stuk hoger. Deze variaties zien we terug in alle metingen. Dit betekent dat de variaties consistent zijn. De oorzaak van de veranderingen langs deze profielen tussen de verschillende metingen is dan waarschijnlijk het gevolg van dynamiek van b.v. de water-bodemuitwisseling, of de variatie in slijbgehalte door slijb-afzetting of erosie.

Voor alle metingen is te zien dat de september meting van de nuclide-concentraties lager ligt dan die van de overige metingen. Het slijbgehalte is recht evenredig met het thorium of kaliumconcentraties. Hieruit kan dan worden geconcludeerd dat het slijbgehalte van de toplaag van de waterbodem in september lager was dan in de overige metingen.

5.2.2. Tijdverloop Medusa metingen

Op de locaties van de monsters zijn met een straal van 50 meter rondom het monsterpunt de gemiddelde kalium- en thoriumconcentraties van de medusaveldmeting voor elke meting berekend en in grafiek vorm uitgezet (figuur 24), zodat deze te vergeleken kunnen worden met de verschillen in de monsteranalyses. In de grafiek zijn geen duidelijke trends te ontdekken. Evenals in de grafiek gebaseerd op de analyseresultaten (figuur 23) zijn de variaties groot en is er

geen trends te zien. Dus ondanks dat in de profielen wel duidelijk verschillen zijn te zien is dit op punt niveau niet het geval. Dit maakt gebruik van puntmetingen minder bruikbaar.



Figuur 24: tijdsverloop van de concentraties van K en Th per monsterlocatie.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

6.1.1. Sedimentanalyse en interpretatie van de veldmetingen

Het fijne sediment dat in suspensie is gemeten, heeft een mediane korrelgrootte van ongeveer 16 μm . Deze metingen zijn uitgevoerd met een malvern particle sizer (maar met een ander instrument dat gebruikt is voor bepaling van de korrelgrootte in de bodemsediment monsters). De malvern analyses van het bodemsediment laten echter bijna geen sediment zien met een korrelgrootte kleiner dan 16 μm . Op basis van de metingen die nu voorhanden zijn, lijkt het alsof het fijne suspensief sediment niet in de bodem wordt aangetroffen. Het is echter niet duidelijk of dit werkelijk zo is, of het gevolg is van een instrumenteel effect.

Voor de interpretatie van de Medusa metingen in het veld is het op basis van deze analyses niet mogelijk om de absolute concentratie van 'slib' in de bodem te bepalen omdat niet duidelijk is welke ijklijn moet worden gebruikt. Uit de analyse blijkt echter wel dat een duidelijke verandering in slibgehalte resulteert in een hogere Th concentratie. Daarom worden in deze studie de *variaties* in Th gehalte gerapporteerd. Deze variaties in Th gehalte zijn een proxy voor variatie in slibgehalte: een hogere Th concentratie is het gevolg van een hogere slibfractie.

De concentratie van kalium kan worden gebruikt als proxy voor de mediane korrelgrootte van het sediment.

De bodemruwheid is een proxy voor het voorkomen van schelpmateriaal (hoge waarden van bodemruwheid) of om variaties in de ruwheid van de bodem als gevolg van korrelgrootte of ribbelstructuren.

De gemeten slibgehalten in de monsters zijn erg laag. Afhankelijk van de gebruikte meetmethode komt er gemiddeld 1-2% 'slib' voor in de bodem.

Duplo analyses laten zien dat variatie in slibgehalte op korte afstand erg groot kan zijn. Eén enkele meting aan een boxcore is niet representatief voor een groter gebied.

6.2 Aanbevelingen

Het strekt tot aanbeveling de korrelgrootte van het bodemsediment met de malvern, die ook wordt gebruikt voor analyse van korrelgrootte van het zwevend stof sediment, te analyseren. Hieruit moet blijken of dit fijne zwevend stof sediment ook werkelijk terug te vinden is in het bodemsediment.

De fingerprint analyse laat zien dat monsters waar echt slib in zit (slibfracties >4 % gemeten met sedigraaf en malvern) op de verwachte ijklijn vallen. Voor de overige monsters is het niet duidelijk of het 'slib' afkomstig is van kleimineralen of iets anders. Het strekt daarom tot aanbeveling om deze zandige sedimentmonsters ook chemisch te analyseren om o.a. het gehalte Al te bepalen. Hiermee kan worden gemeten of er ook werkelijk klei in de monsters aanwezig is.

7 Referenties

- Black, K.P. and Oldman, J.W.** 1999. Wave mechanisms responsible for grain sorting and non-uniform ripple distribution across two moderate-energy, sandy continental shelves. *Marine Geology*, **162**: 121-132.
- Blok, B.** 2010. Meetvis Medusa metingen van september en december 2009. Deltares rapport 1201293-000
- Buurman, P., Pape, T., Reijneveld, J.A., Jong, F.d. and Gelder, E.v.** 2001. Laser-diffraction and pipette-method grain sizing of Dutch sediments: correlations for fine fractions of marine, fluvial, and loess samples. *Geologie en Mijnbouw*, **80**: 49-57.
- Davies, A.G. and Villaret, C.** 2002. Prediction of sand transport rates by waves and currents in the coastal zone. *Continental Shelf Research*, **22**: 2725-2737.
- de Meijer, B.A., Limburg, J. and Koomans, R.L.** 2002. Onderzoek naar een meettechniek voor snelle bepaling van de zandfractie in baggerspecie (Neptune). 2001-P-014/R1, Medusa Explorations BV, Groningen.
- de Meijer, R.J., Put, L.W., Schuiling, R.D., Reus, J.H. and Wiersma, J.** 1988. Provenance of coastal sediments using natural radioactivity of heavy mineral sands. *Rad. Protection Dos.*, **24**: 55-58.
- Gieske, J.M.J.** 2001. Geochemical characteristics of sediments in the mouth of the Haringvliet. NITG 01-216-B, Netherlands Institute of Applied Geoscience- TNO, Utrecht.
- J.A. Hin, J.H.F., J. Wanders** 2006. Inventarisatie methoden voor het bepalen van baggervolumes. 2006-7, Stowa, Utrecht.
- Koomans, R.L.** 2000. *Sand in motion: effects of density and grain size*. Phd thesis, RUG, Groningen, 218 pp.
- Koomans, R.L.** 2004. HMRt2, Mijnbouw van zware mineralen? 2003-P-045, Medusa Explorations BV, Groningen.
- Koomans, R.L. and Oosterhoff, E.** 2002. Medusa metingen in het Oostgat: de effectiviteit van een geulwandsuppletie. 2001-P-015-R4, Medusa Explorations BV, Groningen.
- Limburg, J. and de Vries, K.** 2003. Puinkartering - Een nieuwe in-situ methode voor bepaling puingehalte van baggerspecie. 2003-P-037/R1, Medusa Explorations BV, Groningen.
- Medusa** 2003. Medusa innovatie notitie 8, Medusa fingerprint methode. Min8, Medusa Explorations BV, Groningen.
- Odom, I.E.** 1976. Nature of feldspar-grain size relations in some quartz-rich sandstones. *Journal of Sedimentary Petrology*, **46**: 862-870.
- Oosterhoff, E., de Meijer, B.A. and Nicolaas, J.F.** 2003. Het meten van schelpenvoorkomens met MEDUSA- syntheserapport. 2003-P-031-R2, Medusa Explorations BV, Groningen.
- van Rijn, L.** 1993. *Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas*. Aqua Publications, Amsterdam, 614 pp.
- van Wijngaarden, M., Venema, L.B., de Meijer, R.J., Zwolsman, J.J.G., van Os, B. and Gieske, J.M.J.** 2002. Radiometric sand-mud characterisation in the Rhine-Meuse estuary Part A. Fingerprinting. *Geomorphology*, **43**: 87-101.

Venema, L.B. and de Meijer, R.J. 2001. Natural radionuclides as tracers of the dispersal of dredge spoil dumped at sea. *Journal of Environmental Radioactivity*, **55**: 221-239.

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' t0-survey for radiometry. Z108, NGD/ KVI, Groningen.

Venema, L.B., ten Have, R., De Meijer, R.J., van Os, B., Gieske, J.M.J. and Zwanenburg-Nederlof, H.P. 1999. Radiometric t2-survey of 'Loswal Noordwest'. Part II: Radiometric and geochemical characterisation. Z-90, NGD/KVI, Groningen.

Webb, P.A. 2004. The perseverance of the sedigraph method of particle sizing. *Micromeritics*.

Welch, N.H., Allen, P.B. and Galindo, D.J. 1979. Particle-size analysis by pipette and SediGraph. *Jour. Environ. Qual.*, **8**: 543-546.

Bijlagen: profielen

Profiel A

Profiel B

Profiel C