

Z-96

WESTERSCHELDE t_0 -SURVEY DATA RAPPORT

J. LIMBURG, R. FEENSTRA, P. HENDRIKS EN R.J. DE MEIJER

NUCLEAR GEOPHYSICS DIVISION,

KERNFYSISCH VERSNELLER INSTITUUT, RIJKSUNIVERSITEIT
GRONINGEN

SEPTEMBER '99

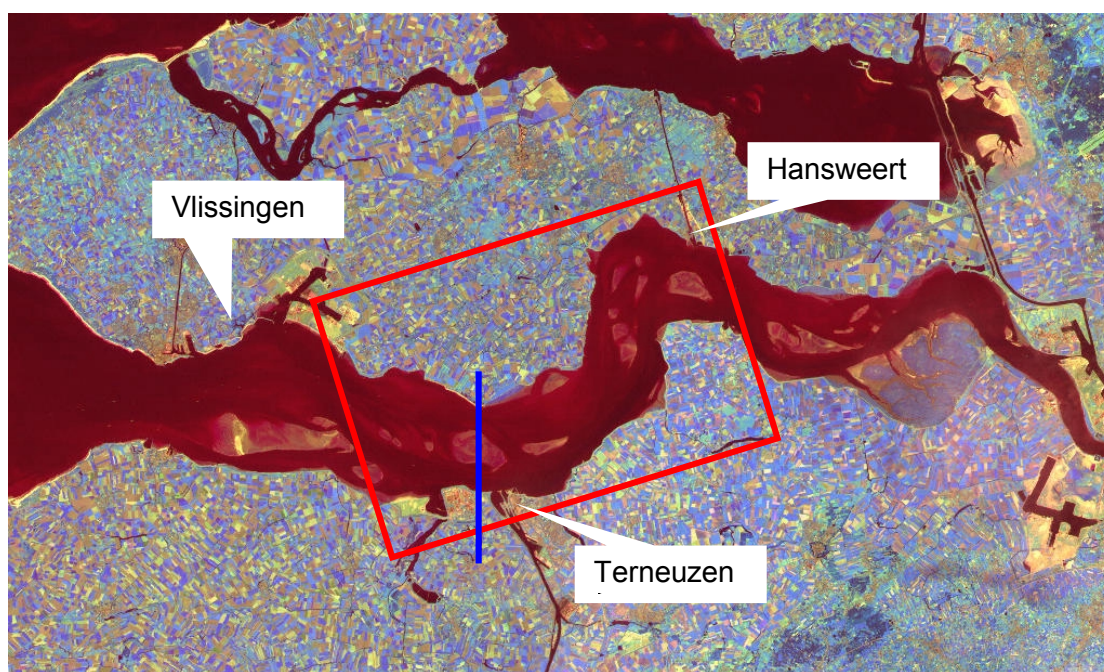
NGD-KVI,
Zernikelaan 25
9747 AA Groningen.

<i>Samenvatting</i>	3
<i>Inleiding</i>	3
<i>MEDUSA technologie</i>	4
<i>Logboek</i>	6
<i>Meetresultaten</i>	8
<i>Afwegingen en conclusies</i>	9
<i>Literatuur</i>	10

SAMENVATTING

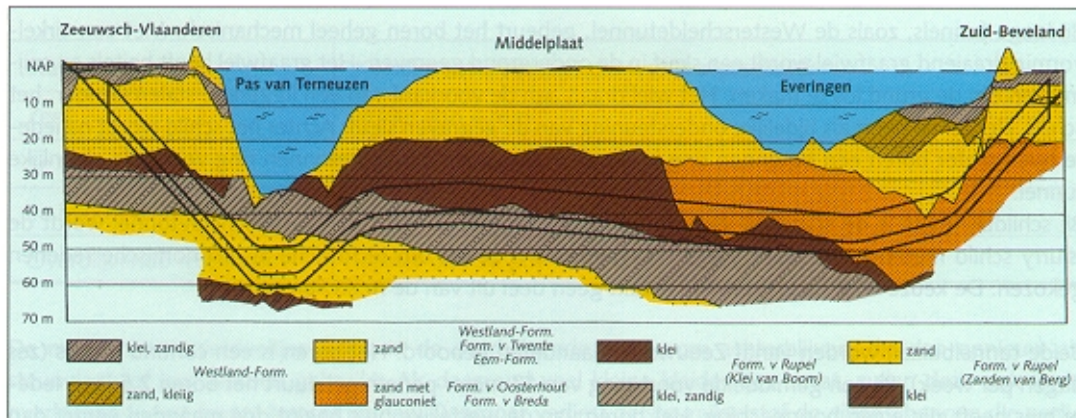
Dit rapport beschrijft de resultaten van een radiometrische kartering van het gedeelte van de Westerschelde gesitueerd tussen de dorpen Borssele en Hansweert. Het primaire doel van de survey was om een kaart te maken van de Scheldebodem voordat begonnen wordt met het dumpen van boorspecie uit de Westerscheldetunnel. Zo'n "t0 kaart" is nodig om in de toekomst de verspreiding van het gedumpte materiaal door de Westerschelde te kunnen volgen. De metingen, die zijn uitgevoerd met het MEDUSA meetsysteem, laten zien dat de bodem van het bevaren gebied voornamelijk uit zand bestaat, maar dat er op de ondiepste gedeelten ook slib gevonden wordt. Daarnaast worden er op diverse plaatsen "slakken" gevonden. Verder is het duidelijk geworden dat omstandigheden waaronder gemeten moet worden (een sterke stroming, grote dieptevariaties over kleine afstanden en drukke scheepvaart) een speciale aanpak vereisen van de metingen.

INLEIDING



Figuur 1: Satellietfoto van het gebied dat tijdens de survey in kaart is gebracht (dwz het gedeelte van de Westerschelde gemarkeerd door het rode vierkant). De ligging van de Scheldetunnel is in blauw weergegeven.

In 1995 is door de ministerraad besloten tot de aanleg van de Westerscheldetunnel tussen Terneuzen en Ellewoutsdijk. Deze tunnel, die een snelle verbinding verzorgt tussen Zeeuwsch-Vlaanderen en Midden-Zeeland, wordt geboord in de (klei)bodem onder de Westerschelde (zie figuren 1 en 2). Er is onderzocht hoe de bij de boring geproduceerde hoeveelheden boorspecie op een milieuverantwoorde manier afgevoerd kunnen worden [MER1998]. Eén van de uitvloeisels van dit onderzoek is, dat er een monitoringsprogramma is opgestart (het Boorspecie project) waarbij gekeken wordt naar de verspreiding van de gedumpte boorspecie, met als doel om de milieu-effecten van de dumping in kaart te kunnen brengen.



Figuur 2: Geologisch bodemprofiel ter plaatse van de Westerscheldetunnel (bron: Milieu-effectrapport Boorspecie Westerscheldetunnel – Samenvatting, RWS- Directie Zeeland, 1998).

De MEDUSA technologie van het NGD/KVI (zie de volgende paragraaf) is speciaal ontwikkeld om dergelijke verspreidingsproblemen (letterlijk) in kaart te kunnen brengen. Voordat de verspreiding van gedumpt materiaal gevolgd kan worden, dient aan een tweetal belangrijke voorwaarden voldaan te worden, namelijk dat:

1. de samenstelling van het te dumpen materiaal voldoende verschilt van de samenstelling van de waterbodem, en
2. dat er een “schone” kaart van de bodemsamenstelling van het dumpgebied voorhanden dient te zijn, ten opzichte waarvan kaarten, opgenomen ten tijde van het dumpen, kunnen worden afgezet.

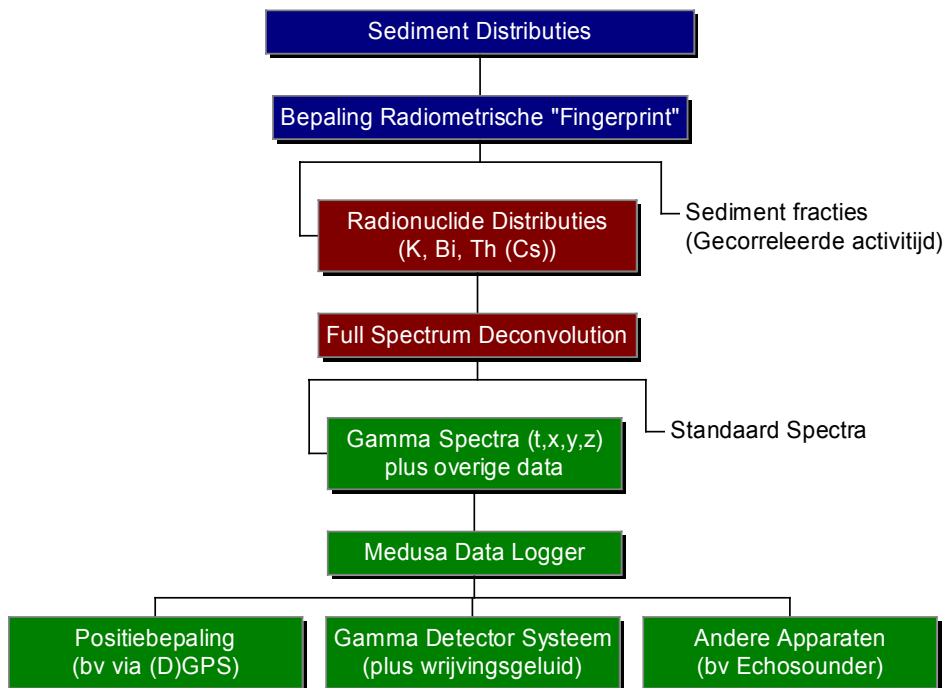
Daarnaast is het natuurlijk van belang dat het gebied “bemeetbaar” is, dwz dat het binnen de technische mogelijkheden van MEDUSA + surveyvaar-, voer- of vliegtuig ligt om het gebied in kaart te brengen. Parameters die hierbij een rol spelen, zijn de diepte van het gebied, de bodemgesteldheid, de stroomsnelheden van het water, de drukte van het scheepvaartverkeer, etc.

Dit rapport presenteert resultaten van een MEDUSA survey die ten doel had om varend een “schone” (t0) kaart te bepalen van de Westerscheldebodem. Daarnaast evalueert het rapport voornoemde “bemeetbaarheid” van het gebied. Alvorens in te gaan op de metingen, wordt in het volgende een beknopte beschrijving van het meetsysteem gegeven.

MEDUSA TECHNOLOGIE

De “Nuclear Geophysics Division” (NGD) van het Kernfysisch Versneller Instituut (KVI) te Groningen heeft zich de laatste jaren ontpopt als een internationaal expertise centrum op het gebied van bodem- en mineraal karakterisering door meting van natuurlijke radioactiviteit. De aanzet tot deze ontwikkeling werd gegeven in 1992 toen de voorloper van NGD, de “Environmental Radioactivity Research and Consultancy Group (ERG)”, gesteund door de R/G en het “Integraal Structuurplan Noorden des Lands”, het MEDUSA systeem ontwikkelde. Dit systeem is inmiddels internationaal gepatenteerd door de R/G en vormt momenteel de basis van het onderzoek van NGD.

Radiometrische sedimentkarakterisatie

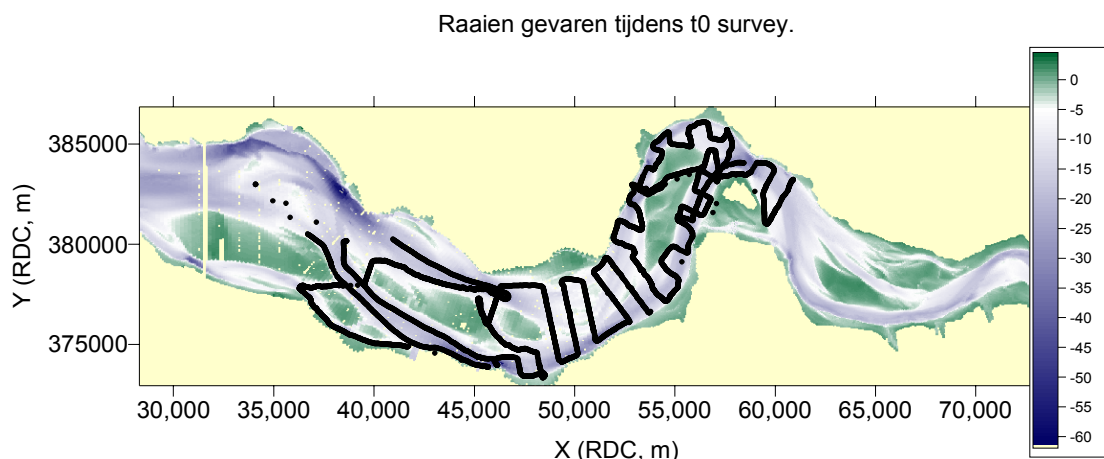


Figuur 3: Principe van radiometrische sedimentkarakterisatie. Het schema begint (onderaan) met de MEDUSA hardware (in groen). Met deze hardware wordt de natuurlijke radioactiviteit op een punt (x,y,z) op tijdstip (t) gemeten, aan de hand van de gammastraling uitgezonden door de radioactieve kernen in het sediment. De gemeten gamma-spectra worden vervolgens geanalyseerd en omgezet in een kaart waarop de concentraties van de natuurlijke radionucliden ^{40}K , ^{232}Th en ^{238}U wordt uitgezet (rood). Vervolgens kan deze kaart m.b.v. zogenaamde "vingerafdruk" techniek (blauw) worden vertaald in een kaart waarop de verdeling van verschillende types sediment (zand, klei, slib of zware- en lichte mineralen) staat aangegeven.

MEDUSA (het *Multi-Element Detector system for Underwater Sediment Activity*) is een systeem waarmee op een efficiënte manier de samenstelling van bodemmateriaal in kaart kan worden gebracht. Het systeem integreert data afkomstig van een aantal sensoren, zoals een detector van gamma straling, een trillingsmeter, GPS, temperatuur, waterdruk, etc. Het systeem is open – er kunnen naar believen elementen worden toegevoegd of verwijderd. Het principe berust op snelle, in-situ meting van radioactiviteit, waaruit vervolgens per locatie de concentratie van de in de natuur voorkomende nucliden ^{40}K , ^{232}Th en ^{238}U vastgesteld kan worden. Nu blijkt dat verschillende soorten sediment (klei, kwartszand, zware mineralen, etc.) gekarakteriseerd worden door een specifieke concentratieverhouding (*vingerafdruk*) van deze natuurlijke nucliden. Door deze vingerafdruk afzonderlijk in het lab te bepalen aan de hand van een beperkt aantal monsters, wordt het mogelijk om de "radioactiviteits"kaarten om te zetten in een bepaling van de sediment- of mineraalsamenstelling ter plaatse van de meting (zie voor een schema figuur 3).

Sinds de eerste *pilot studies* in 1993 – bestaande uit sedimentkarteringen van de ondiepe wateren voor de noordkust van Terschelling en Ameland is het MEDUSA systeem toegepast in een aantal wetenschappelijke en commerciële projecten binnen en buiten Nederland. Hieronder zijn recent een aantal projecten uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat, te weten 3 karteringen in het kader van de *Monitoring Alternatieve Loswallen*, (in opdracht van RIKZ Den Haag) en karteringen van het Hollandsch Diep en het Haringvliet (in opdracht van RIZA Dordrecht).

LOGBOEK



Figuur 4: Raaien gevaren tijdens de t0 survey. Op de achtergrond: dieptekaart van de Westerschelde, bepaald aan de hand van lodingen uitgevoerd door de Meetdienst Zeeland in 1998 [LOD1998]. De diepte (schaal: rechts) loopt van 60 m tot 0 m. Dieptes tussen 0 en 5 m zijn in groen weergegeven.

Hieronder volgt het logboek zoals dat ten tijde van de survey is opgenomen. Allereerst wordt de “fact sheet” gegeven:

- ❑ **Opdracht:** t0 kartering van het gedeelte van de Westerschelde vanaf een punt 15km westelijk en een punt 15 km oostelijk van Terneuzen, dit in het kader van de voorbereidingen voor het “Boorspecie project” (zie de raaienkaart in figuur 4).
- ❑ **Opdrachtgever:** Rijkswaterstaat-Directie Zeeland
- ❑ **Projectleider Rijkswaterstaat:** Ben de Winder, RIKZ Middelburg
- ❑ **Projectleider KVI/NGD:** Han Limburg
- ❑ **Schip:** De Kaloo, Meetdienst Zeeland te Vlissingen
- ❑ **Bemanning:** Leo van Bloois (schipper); Wim Klippel (surveyor)
- ❑ **Surveyors NGD:** Richwald Feenstra, Patrick Hendriks en Han Limburg

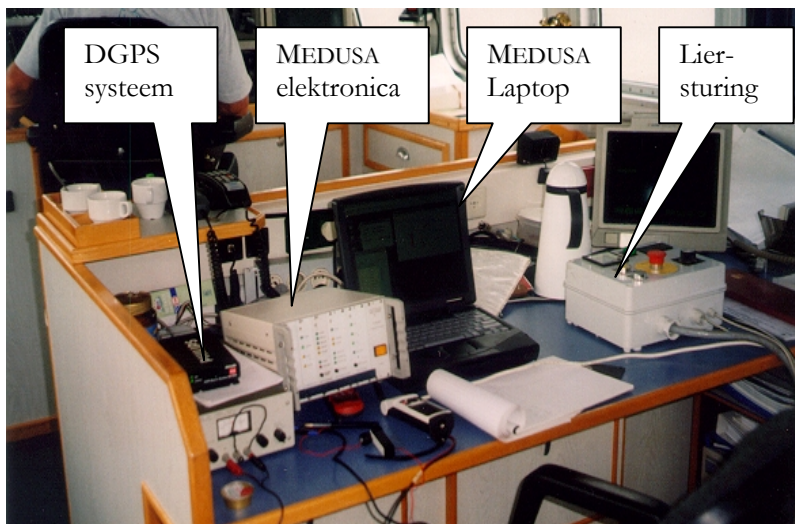
Verloop van de survey:

Begin: Maandag 19/07/99 08:00 uur, Vlissingen. Opbouwen. Probleem: de pulley-uitlezing (encoder) heeft het vervoer niet overleefd. De bevestiging is kromgebogen, de encoder functioneert niet meer. Diagnose: de encoder maakt blijkbaar kortsluiting, een voedingszekering slaat namelijk voortdurend door. Na enige telefonische discussies met de leverancier blijkt dat de encoder op korte termijn niet gerepareerd of vervangen kan worden. We besluiten ‘op het oog’ kabel te halen en vieren. Daartoe hebben we om de 5 m markeringspunten op de kabel gezet. Ook de lier heeft blijkbaar de nodige stoten moeten verduren, de detectorbehuizing die voor het vervoer aan de lier was bevestigd, zit namelijk behoorlijk vastgeklemd.

Er is enige tijd gestoken in het krijgen van een verbinding met het RWS-Lot systeem dat zich aan boord van de Kaloo bevindt. Dit systeem geeft een “datastring” bestaande uit een X, Y positie (in RDC), een koers en een diepte. We hebben deze informatie op een aparte laptop gelogd, via een RS232 aansluiting gebruik makend van Windows’ Hyperterminal.

Om 12.00 varen we de haven uit, richting het Middelgat. Aldaar aangekomen wordt begonnen met meten. De metingen worden om 6 uur afgesloten en wordt teruggevaren naar de haven van Hansweert.

’s Avonds blijkt dat de data niet in orde is. De gemeten spectra zien er niet goed uit (verstoorde, en het detectorsignaal lijkt te weinig versterkt te worden – duidelijk een hardware probleem), en de data lijkt derhalve onbruikbaar. De reden voor dit probleem is onduidelijk, wellicht heeft de elektronica (die tijdens het vervoer aan de lier bevestigd zat) schade opgelopen door de opdoffers die pulley en lier het moeten verduren (zie opmerkingen hiervoor). Na enige discussie wordt besloten om het hele meetsysteem te vervangen door een reservesysteem



Figuur 5: De Medusa opstelling in de hut van de “Kaloo”

Dinsdag 20/07/99, 08.00 uur. De detector wordt met vereende krachten uit de behuizing gehaald, en vervangen door de het voornoemde reservesysteem. Om 10 uur is alles klaar, en wordt begonnen met meten. Dinsdag wordt het Middelgat bemeten, plus een gedeelte van het Gat van Ossensisse. ’s Avonds blijkt dat de gegevens er uitstekend uit zien.

Woensdag 21/07/99, 08.00 uur. Vandaag worden de raaien in het Gat van Ossensisse afgemaakt, samen met de Overloop van Hansweert, tot aan het veer Kruiningen-Perkpolder. Op sommige plaatsen worden opvallend hoge concentraties ^{238}U gevonden. Slakken? ’s Avonds wisselt Partrick Hendriks Richwald Feenstra af.

Donderdag 22/07/99, 08:00 uur. Vertrek wederom vanaf Hansweert. De Zuid-Everingen, het Gat van Terneuzen en de Pas van Terneuzen zijn vandaag onderwerp van onderzoek. ’s Avonds wordt besloten af te meren in Vlissingen.

Vrijdag 23/07/99, 08.30 uur. Vertrek vanuit Vlissingen. We hebben een gaste aan boord: Mieke Steenbruggen van RIKZ-Den Haag. Vandaag worden de metingen in de Pas van Terneuzen voltooid, en worden de Springergeul, het Vaarwater langs Paulinapolder en een deel van de Everingen bemeten. Om een uur of 5 wordt het gebied verlaten, en wordt terug gevaren naar Vlissingen. De apparatuur wordt ingepakt, en Leo en Wim worden hartelijk bedankt voor de prettige samenwerking deze week. Verder is besloten om de monsternamen uit te stellen tot de volgende week, dit om zoveel mogelijk van de beschikbare tijd te benutten voor het meten met MEDUSA.

Algemene indruk en opmerkingen:



Figuur 6: Opstelling pully en lier aan dek van de "Kalo"

1. Het gebied is vrij moeilijk te karteren. Er bevinden zich behoorlijk veel wrakken, dammetjes, plotselinge (on)dieptes, etc in het gebied. Met name de sterke variaties in diepte zijn problematisch. Op sommige raaen maten we over enkele meters afstand dieptevariaties van 10 tot 15 m!. Op dergelijke gedeelten had de kop van het MEDUSA systeem de neiging om zich als het ware "vast te vreten" in de bodem.
2. De smalle (20 à 30 m) ondiepe (<3 m) stroken, bijvoorbeeld langs de noordoever van het Middelgat, dienen in een eventuele volgende meting d.m.v. raaen parallel aan de oever in kaart te worden gebracht (zie voor de gevaren raaen figuur 4). Deze gedeelten zijn waarschijnlijk erg belangrijke afzettingsgebieden voor gedumpt materiaal.
3. Er staat – ondanks het "dode tij" in de meetweek, een behoorlijke stroming in het gebied. Soms is het behoorlijk lastig om de detector op de bodem te houden. Langzaam varen en meer gewicht op de kabel, is het devies voor een volgende meting.
4. De Pas van Terneuzen en de daaraan grenzende geulen zijn moeilijk in dwarsraaien te bevaren, deels vanwege de drukke scheepvaart (P van T) en deels vanwege de smalle doorgang (geulen) (zie ook opmerking 1)
5. Er liggen her en der kabels "begraven" in de Westerschelde. Deze lijken afgezonken te zijn met behulp van zgn. slakken. Deze slakken zorgen lokaal voor een behoorlijke verhoging in met name de ^{238}U concentratie.
6. Ondanks de eerder genoemde problemen met pulley en detector, zijn er zo'n 10,000 "goede" metingen genomen, hetgeen overeenkomt met zo'n 30 uur effectieve vaartijd. Van deze 10,000 punten zijn er ongeveer 2000 "off-bottom", dwz: gemeten terwijl de detector geen contact had met de Scheldebodem. Dit is relatief veel (20%), en moet in een volgende survey worden teruggebracht (bijvoorbeeld door het bijzetten van lood op de kabel en het varen van raaen parallel aan de oever op de ondiepe gedeelten).

MEETRESULTATEN

De meetresultaten zijn grafisch weergegeven in de appendix bij dit rapport. Hieronder volgt een algemene bespreking van de resultaten. Details staan vermeld in de bijschriften van de figuren.

De meetresultaten impliceren dat een belangrijk deel van het bemeten gebied uit zand bestaat. Grote delen van het gebied hebben namelijk concentraties ^{40}K , ^{238}U , en ^{232}Th die sterke overeenkomst vertonen met dat van de zanderige monsters 98-zm-563, 564 en 565 uit tabel A2. Deze monsters zijn gemeten ter oriëntatie op de te verwachten verschillen in radiometrische vingerafdruk

Echter, er blijken een aantal gebieden te zijn waar de activiteit redelijk tot sterk verhoogd is.

Bovendien is het geluidsniveau dat door de MEDUSA microfoon gemeten wordt, op die plaatsen ook sterk verhoogd. Allereerst zijn dat de gebieden langs de zuidoever van de Schelde, gelegen tussen zo'n 10 km ten westen en 10 km ten oosten van Terneuzen. Deze gebieden laten een sterke verhoging van de ^{238}U concentratie zien, en een minder sterke verhoging van de ^{232}Th concentratie. De concentraties die hier gevonden worden (^{238}U tot 800 Bq/kg!) doen het vermoeden rijzen dat hier slakken afkomstig uit de (metaal)industrie gedumpt zijn. Dit vermoeden wordt gesterkt door feit dat de vingerafdruk van slakken die op het KVI gebruikt worden ter kalibratie van de MEDUSA detectoren, van dezelfde orde is als de getallen die op voornoemde locaties gemeten worden! Bovendien is het hoge geluidssignaal een goede indicatie voor "grofkorrelig" materiaal, zoals slakken (zie de kaarten A1 en A3 t/m A6).

Afgezien van de verhoging in het U-signaal t.g.v. de voornoemde slakken, is er een verhoging van het signaal te zien in het Middelgat, in de Everingen en in het Vaarwater langs Paulinapolder:

- ❑ **Middelgat/Hansweert:** de activiteit die hier gevonden wordt, is toe te schrijven aan een groter dan gemiddeld slibgehalte. Dit blijkt uit vergelijking van de gegevens uit tabel A2 (met name monster 98-zm-566).
- ❑ **Everingen:** De verhoging die gemeten wordt in de Everingen is met name terug te zien in het ^{40}K en het ^{238}U signaal. Vergelijking met monster 98-zm-568 uit tabel 2 duidt op de aanwezigheid van Glauconiethoudende grond.
- ❑ **Vaarwater langs Paulinapolder:** Er is één locatie in het VW langs Paulinapolder, rond (X=43, Y=378 km) alwaar de signatuur van de activiteit duidt op de aanwezigheid van Boomse klei (monster 98-zm-567).

AFWEGINGEN EN CONCLUSIES

De belangrijkste vraag die ten grondslag ligt aan de t0 survey die in dit rapport besproken wordt, is of het mogelijk is om met behulp van het MEDUSA systeem de verspreiding van gedumpte boorspecie, afkomstig uit de Scheldetunnel, te volgen. Op deze vraag is, na analyse van de t0 metingen, nog geen eenduidig antwoord te geven. Wel kunnen er een aantal overwegingen gemaakt worden:

1. Het surveyen met MEDUSA is in dit gebied geen eenvoudige opgave. In een eventuele t1 survey dient terdege rekening gehouden te worden met de problemen zoals die geschetst zijn in het logboek (sterke stroming, grote variaties in diepte, drukke scheepvaart). Hierbij dient vooral gedacht te worden aan het bijplaatsen van extra gewicht, en aan een realistischer planning van het aantal kilometers dat gevaren kan worden op een meetdag. Dit aantal is namelijk in de t0 overschat, en teveel gebaseerd geweest op de (qua uitvoering eenvoudiger) surveys op de Loswal NW en het Hollandsch Diep.
2. In een t1 survey dienen de ondiepe gedeelten langs de noordoever van de Schelde, met name in het Middelgat, Hansweert en Kruiningen nauwkeurig(er) in kaart te worden gebracht. Dit kan waarschijnlijk alleen door raaien parallel aan de oever te varen op deze ondiepe gedeelten. De vraag is of deze trajecten wellicht beter met een hoovercraft o.i.d. in kaart kunnen worden gebracht. Verder is de afstand tussen de raaien een punt van zorg.
3. Het raaienpatroon dient fijnmaziger gemaakt te worden. Wellicht is het een idee om in een t1 als het ware "in te zoomen" op de relevante gebieden. Welke gebieden dit zijn, hangt sterk af van de transportsnelheid en -richting van het gestorte materiaal. We noemen de Zuid-Everingen, Pas van Baarland, het Middelgat, de Overloop van Hansweert.
4. De slakken die we in het gebied hebben aangetroffen kunnen behoorlijk storend zijn in het opstellen van een sedimentkaart. De activiteit (en de verspreidingsgraad) van het

materiaal is zo groot, dat daarmee “zwakkere” signalen (zoals van gestorte Boomse klei) wellicht weggedrukt worden. Het lijkt verstandig om bij het “inzoomen” deze slakkengebieden te vermijden, of om ze nauwkeuriger in kaart te brengen.

5. Het grid dat in de t0 gevaren is, is te grof om in een later stadium een massabalans van het gestorte materiaal te kunnen bepalen. Bovendien is het de vraag of zulks haalbaar is gezien het relatief grote oppervlak, de ondiepten en de grote stroomsnelheden in de diepe delen van het gebied. Het kwalitatief volgen van het gedumpte materiaal lijkt echter wel haalbaar, zeker als dat materiaal voornamelijk zal bestaan uit voornoemde Boomse klei. Daarbij dient terdege rekening te worden gehouden met hetgeen genoemd is onder punt 4.

LITERATUUR

[MER1998] *Milieu-effectrapport Boorspecie Westerscheldetunnel* (inclusief samenvatting), Rijkswaterstaat Directie Zeeland – Bouwdienst Rijkswaterstaat, juli 1998.

[LOD1998] *Kustvak 1 tot en met 6/Vaklodgingen 1 t/m 6, laatste van 1998*. Meetdienst Zeeland, 1998 (op CDRom)

[KVI-S50] *HPGe-analyse van 6 monsters t.b.v. Westerscheldetunnel*, L.B. Venema en R.J. de Meijer, intern rapport S50, NGD/KVI 1998.

Appendix

Deze appendix bevat de volgende tabellen en figuren:

1. Tabel A1: Monsterbeschrijving (Uit KVI-rapport S50).
2. Tabel A2: Activiteitsconcentraties in Bq.kg^{-1} (droog gewicht) (Uit KVI-rapport S50).
3. Grafiek A1: Totale activiteit
4. Grafiek A2: ^{40}K verdeling
5. Grafiek A3: $^{238}\text{U} + ^{232}\text{Th}$ verdeling
6. Grafiek A4: ^{238}U verdeling
7. Grafiek A5: ^{232}Th verdeling
8. Grafiek A6: Geluidsverdeling
9. Grafiek A7: $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ spreiding
10. Grafiek A8: ^{40}K spreiding
11. Grafiek A9: ^{238}U spreiding
12. Grafiek A10: ^{232}Th spreiding

Tabel 1: Monsterbeschrijving (Uit KVI-rapport S50). Deze monsters zijn gemeten ter oriëntatie op de te verwachten verschillen in radiometrische vingerafdruk van sediment afkomstig uit de Westerschelde

KVI-nr	Locatie aanduiding	X	Y	type sediment
98-zm-563	Gemengd 1 (A)	51072.773	375830.031	zand+schelpjes
98-zm-564	Slib 1 (A)	49244.199	375069.875	zand+schelpjes
98-zm-565	Eendrachtspolder (D)	51910.668	375838.969	Zand
98-zm-566	Zeedorp WS			slib, kleiig
98-zm-567	WS-tunnel B13 KK			slib/Boomse klei
98-zm-568	WS-tunnel B28 ZK			zand+fijn materiaal/ Glauconietrijk zand
"KVI slakken"				Zilverzand plus Fosfaat slakken *

Tabel 2: Activiteitsconcentraties in Bq.kg⁻¹ (droog gewicht) (Uit KVI-rapport S50).

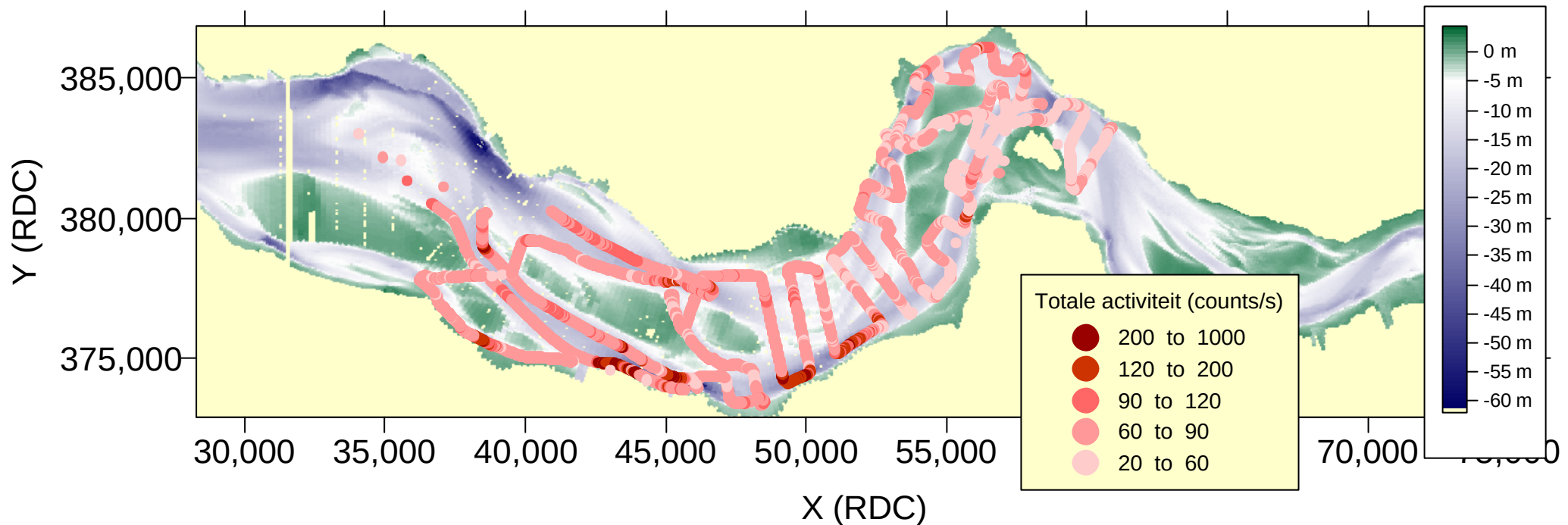
KVI-nr			Activiteitsconcentraties ("fingerprint") (Bq kg ⁻¹)			
	massa (g)	? *	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	²³⁸ U	²³² Th
98-zm-563	850	1.7	0.74 ± 0.05	317 ± 19	8.1 ± 0.3	5.41 ± 0.16
98-zm-564	857	1.7	0.66 ± 0.05	311 ± 19	7.5 ± 0.3	5.32 ± 0.16
98-zm-565	856	1.7	0.63 ± 0.08	345 ± 21	10.5 ± 0.4	5.6 ± 0.2
98-zm-566 [⚡]	418	0.8	6.08 ± 0.19	450 ± 30	21.5 ± 0.7	24.5 ± 0.8
98-zm-567	358	1.4	< 0.4	700 ± 40	25.0 ± 0.7	32.0 ± 0.8
98-zm-568	652	1.6	< 0.5	990 ± 60	30.8 ± 1.1	10.2 ± 0.4
"KVI Slakken"		1.6		24 ± 3	370 ± 10	22 ± 2

* De dichtheid (? in kg/l) van het materiaal in onze meetbekers.

[⚡] Monster 98-zm-566 bevat 2.24 ± 0.08 Bq/kg ⁶⁰Co, de overige monster < 0.6 Bq/kg (de detectielimiet voor deze meettijd).

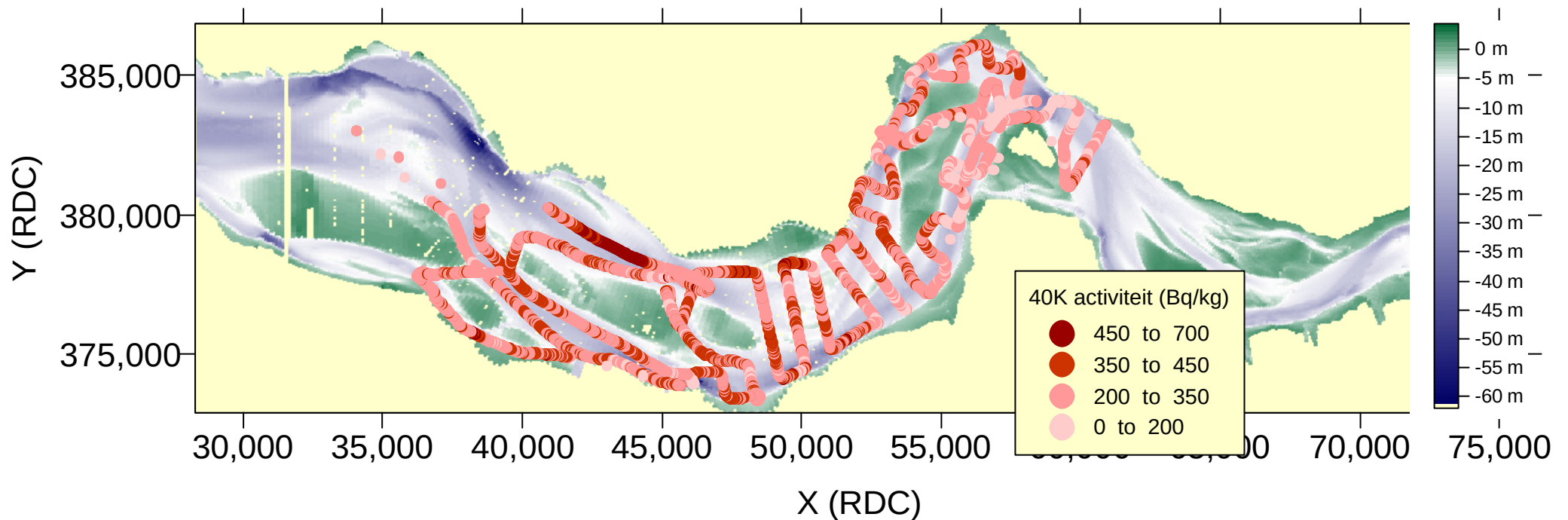
* Fosfaatslakken afkomstig uit de industrie, gemixt met inactief zilverzand, in een verhouding 1:2. Deze slakken worden op het KVI gebruikt als ²³⁸U calibratiebron voor het MEDUSA detector systeem. Ze staan hier indicatief genoemd ter vergelijking met de concentraties die tijdens de survey zijn gemeten op plaatsen waar waarschijnlijk slakken gestort zijn. De fingerprint van de "Scheldeslakken" kan echter afhankelijk van hun herkomst sterk afwijken van de activiteit die hier genoemd is.

Westerschelde diepte (lodingen 1998, bron: RWS Dir. Zeeland)
(inzet: totale activiteit gemeten langs de raaien)



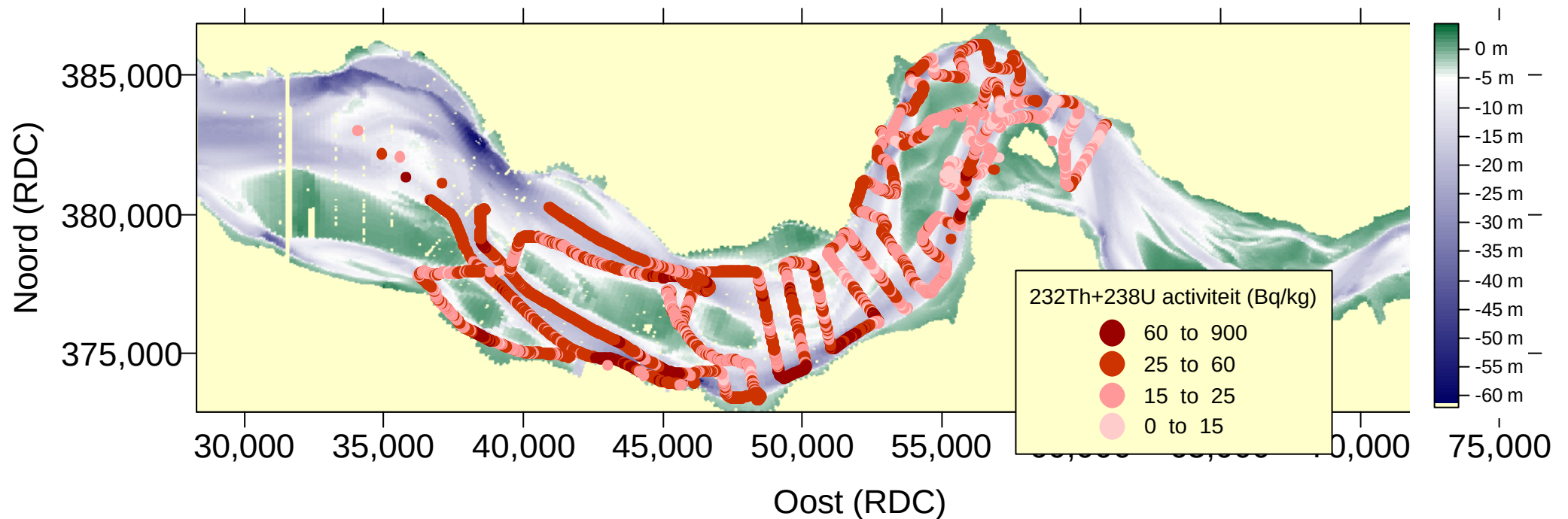
Figuur A1: Dieptekaart van de Westerschelde, met daarin de totale radioactiviteit gemeten langs het gevaren traject. De dieptekaart is geïnterpoleerd a.d.h.v. ladingen verricht door de Meetdienst Zeeland in 1998. De totale activiteit wordt weergegeven als het aantal gebeurtenissen (counts) dat per seconde door de MEDUSA detector geregistreerd wordt. Een lage activiteit (<90) wijst op de aanwezigheid van zand, gemiddelde activiteiten (90 – 200) duiden op de aanwezigheid van kleiige gronden (slib), en hoge activiteit (>200) op de aanwezigheid van slakken, stenen, en eventueel op het voorkomen van Boomse klei. Echter, om een onderscheid te kunnen maken tussen de verschillende grondsoorten, dient de totale activiteit ontvouwen te worden in activiteit afkomstig van ^{40}K , en activiteit afkomstig van ^{232}Th plus ^{238}U (zie figuren A2 en A3).

Westerschelde diepte (Iodinen 1998, bron: RWS Dir. Zeeland)
(inzet: 40K activiteit gemeten langs de raaien)



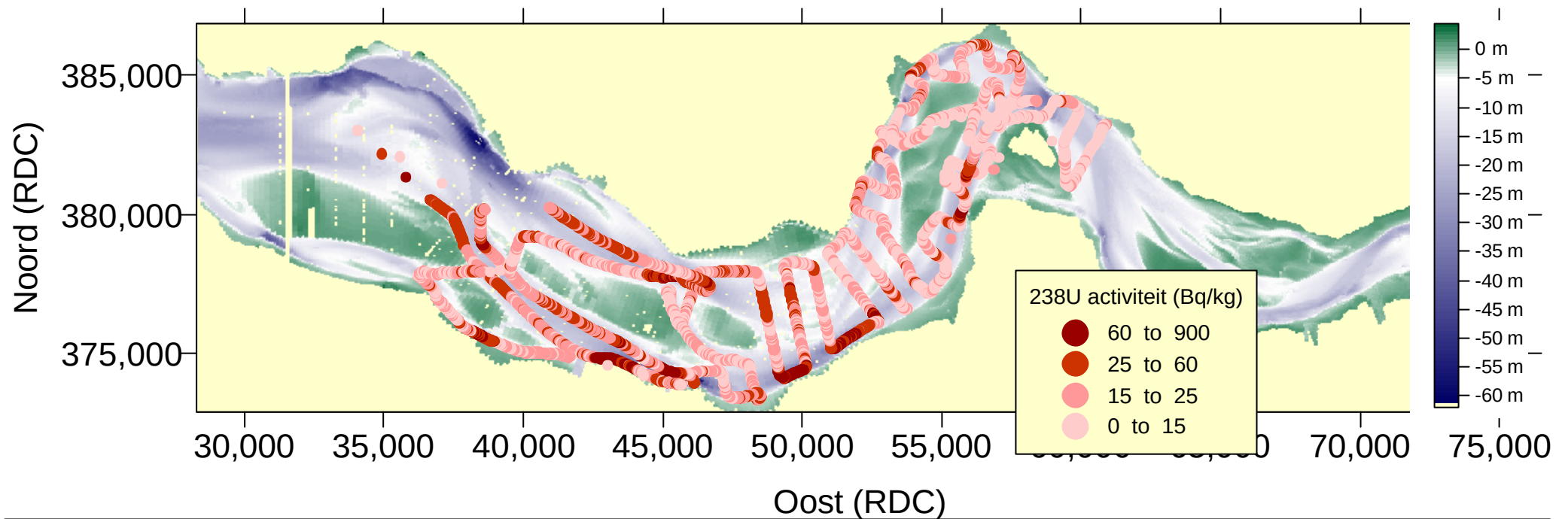
Figuur A2: Dieptekaart van de Westerschelde, met daarin de ^{40}K concentratie (in Bq/kg) gevonden langs het gevaren traject. ^{40}K Concentraties tussen ongeveer 200 en 350 Bq/kg duiden op een zanderige bodem. ^{40}K concentraties tussen 350 Bq/kg en 450 Bq/kg duiden op een zanderige bodem verrijkt met slib; nog grotere concentraties duiden enerzijds op kleiige bodem (m.n. op Boomse klei), anderzijds op Glauconiet. In het geval van een kleiige bodem bedragen de concentraties ^{238}U en ^{232}Th ongeveer 20-30 Bq/kg, in geval van Glauconiet respectievelijk 30 Bq/kg en 10 Bq/kg. De grootste ^{40}K concentraties zijn waargenomen in de Everingen, ongeveer ter plaatse van het punt (Oost=43km, Noord=378km). Aldaar werden waarden gemeten van ongeveer 600 à 700 Bq/kg. Tegelijkertijd werden aldaar waarden voor ^{238}U en ^{232}Th van respectievelijk ~28 Bq/kg en ~8 Bq/kg gevonden, hetgeen de vingerafdruk van monster 98-zm-568 (Glauconietrijk zand) representeert (zie tabel 2).

Westerschelde diepte (lodingen 1998, bron: RWS Dir. Zeeland)
(inzet: gesommeerde $^{232}\text{Th} + ^{238}\text{U}$ activiteit gemeten langs de raaien)



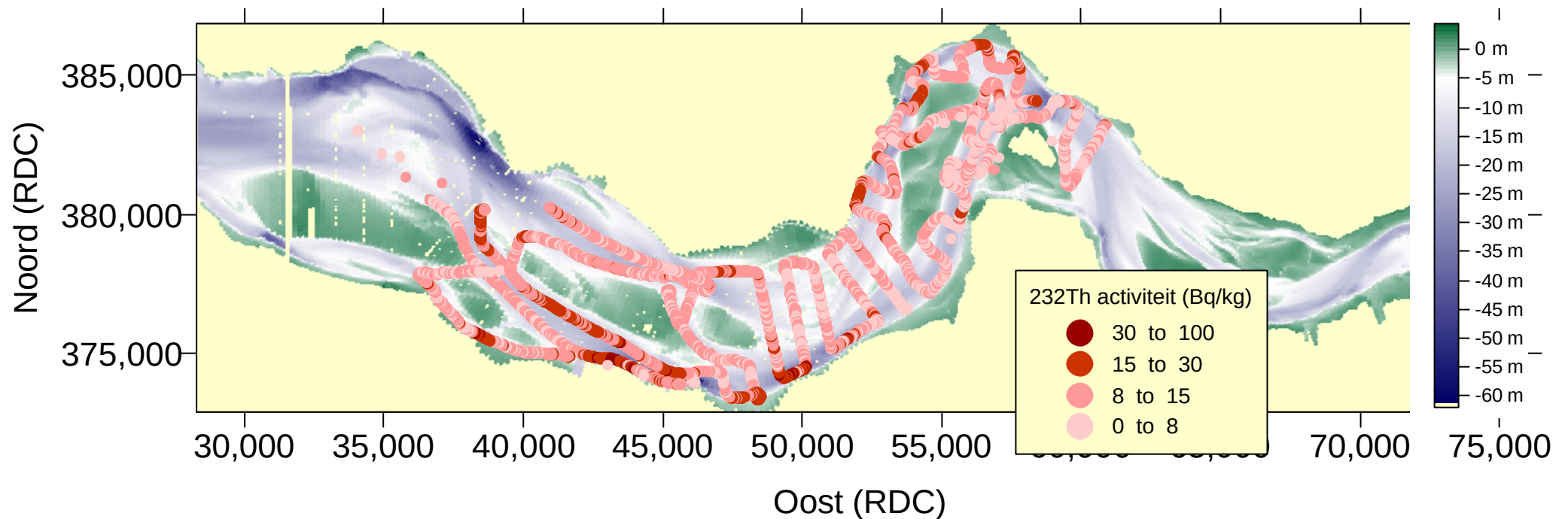
Figuur A3: Dieptekaart van de Westerschelde, met daarin de opgetelde $^{238}\text{U} + ^{232}\text{Th}$ activiteiten (in Bq/kg) gevonden langs het gevaren traject. Activiteiten (concentraties) van meer dan 15 Bq/kg duiden op een kleiige bodem, slakken, of op glauconiethoudende zanden (zie tabel A2). Om deze bodemtypes te kunnen onderscheiden, dienen de afzonderlijke activiteiten ^{238}U en ^{232}Th in ogenschouw genomen te worden (figuren A4 en A5).

Westerschelde diepte (Iodinen 1998, bron: RWS Dir. Zeeland)
(inzet: ^{238}U activiteit gemeten langs de raaien)



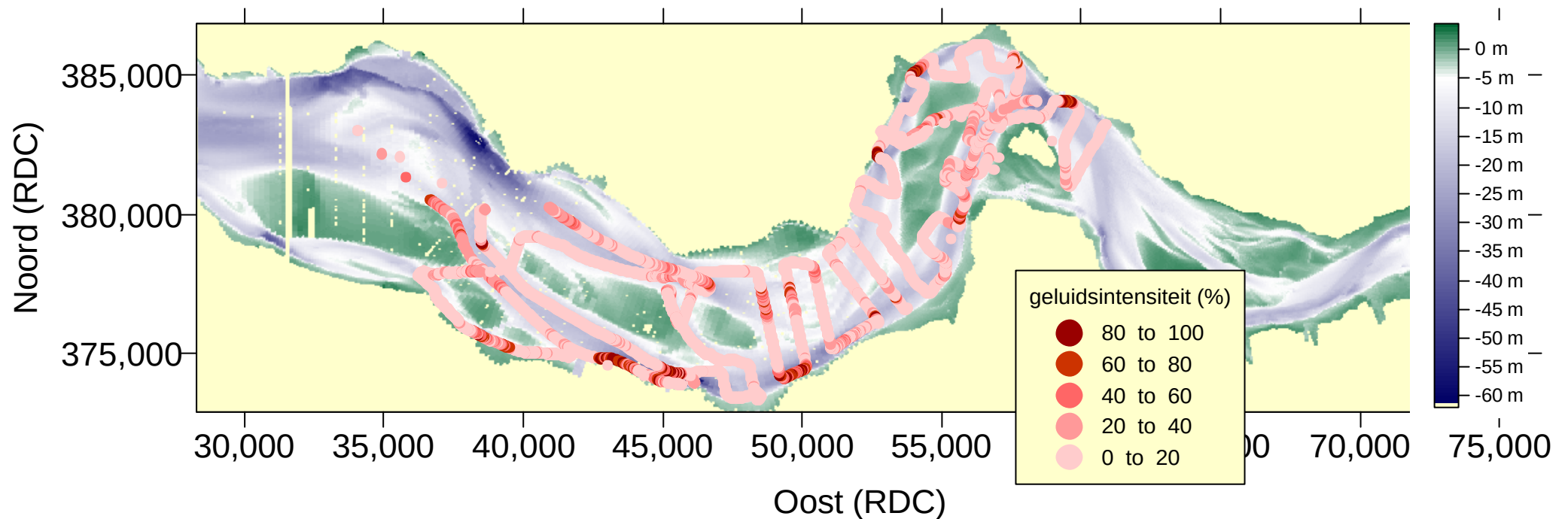
Figuur A4: Dieptekaart van de Westerschelde, met daarin de ^{238}U activiteit (in Bq/kg) gevonden langs het gevaren traject. De grootste ^{238}U concentraties worden gevonden op plaatsen waar vermoedelijk slakken zijn gestort (met name aan de zuidoever van de Schelde, tussen km 42 en km 51). Dit gegeven wordt ondersteund door het feit dat het geluidssignaal op deze plaatsen ook verhoogd is (zie figuur A6).

Westerschelde diepte (Iodinen 1998, bron: RWS Dir. Zeeland)
(inzet: ^{232}Th activiteit gemeten langs de raaien)



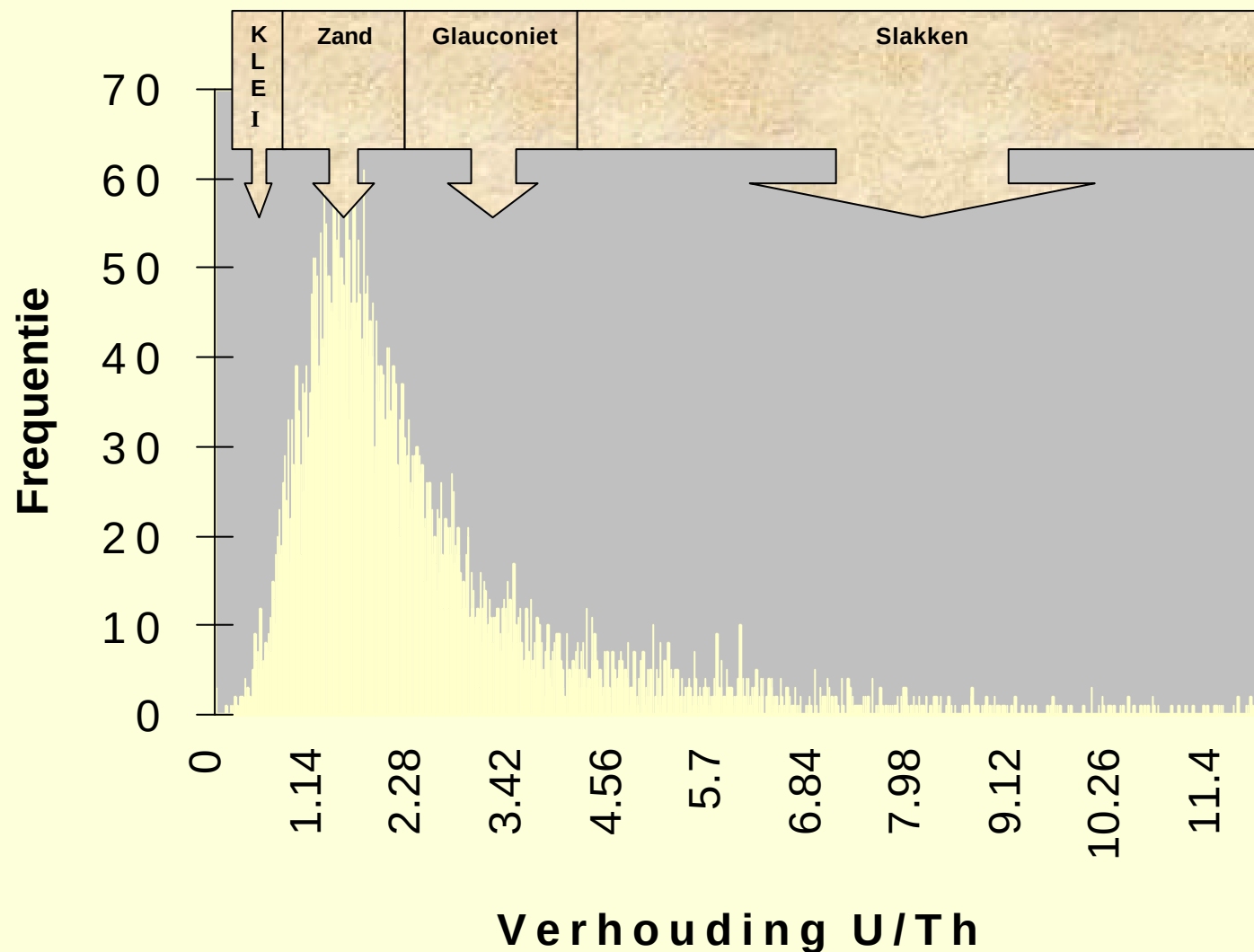
Figuur A5: Dieptekaart van de Westerschelde, met daarin de ^{232}Th activiteit (in Bq/kg) gevonden langs het gevaren traject. Verhoogde ^{232}Th -niveaus (>15 Bq/kg) duiden op een kleiige bodem, of op de aanwezigheid van slakken. De grootste concentraties ^{232}Th (50-60 Bq/kg) blijken gekoppeld aan de hoge ^{238}U concentraties gevonden ter plaatse van de "slakken". Blijkbaar is de verhouding U/Th in de slakken ongeveer 10:1 (vergelijk met de KVI slakken uit tabel A2: ~17:1).

Westerschelde diepte (Iodigen 1998, bron: RWS Dir. Zeeland)
(inzet: geluid in % van de maximaal meetbare intensiteit)



Figuur A6: Dieptekaart van de Westerschelde, met daarin geluidsniveau gemeten door de MEDUSA microfoon, langs het gevaren traject. Het geluidsignaal is gecorreleerd met de korrelgroottevariaties in het gebied. De plaatsen waar “slakken” vermoed worden, zijn duidelijk zichtbaar in het geluidsignaal. Daarnaast bevinden zich er ook een aantal “luide” gebieden langs de noordoever van de Schelde. Op deze plekken bevinden zich vermoedelijk stenen die gebruikt zijn voor beschoeiing.

Verdeling U/Th



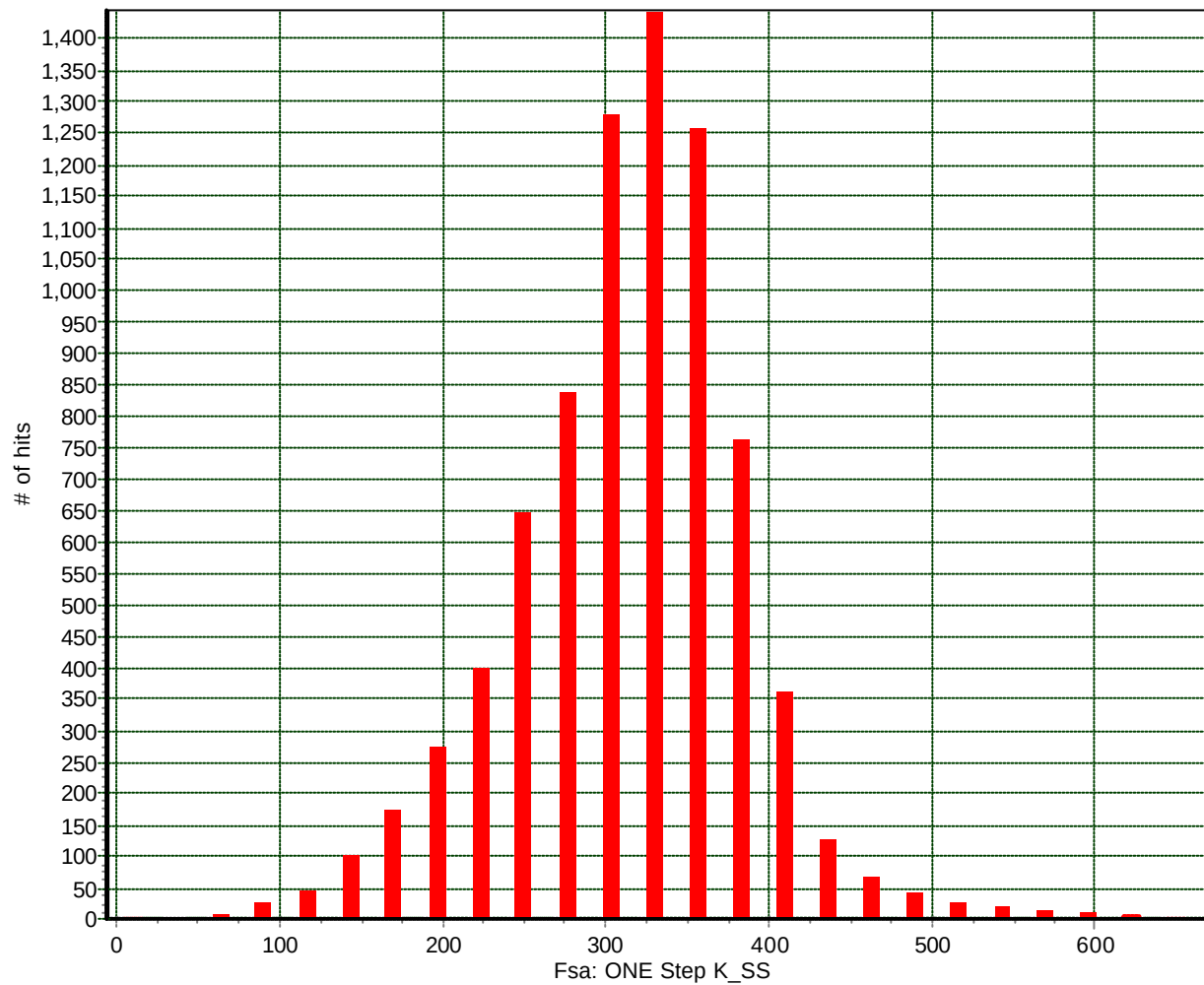
Figuur A7: Verdeling van de verhouding $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$.

In de monsters die voorafgaand aan de survey geanalyseerd zijn (tabel A1 en A2) laten een variatie in de verhouding $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ zien van 0.8 tot 3. Voor de KVI-slakken wordt een verhouding 20 gevonden.

Blijkens deze grafiek is de gemiddelde verhouding U/Th over de gehele survey genomen, ongeveer 2.2 is, terwijl het maximum van de verdeling bij 1.5 ligt. Dit maximum komt overeen met de verhouding $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ die in zand gevonden wordt (zie de eerste 3 monsters uit tabel A2). De staart naar grotere verhoudingen wordt verklaard door de data die van slakken (verhouding ~10:1) en (in mindere mate) van glauconiethoudend zand (verhouding ~3:1) afkomstig is. Het verloop naar verhoudingen <1 wordt verklaard door bijmenging van slib en (Boomse) klei (zie monsters 567 en 568 in tabel A2).

NOOT: De pijlen boven de figuur zijn indicatief

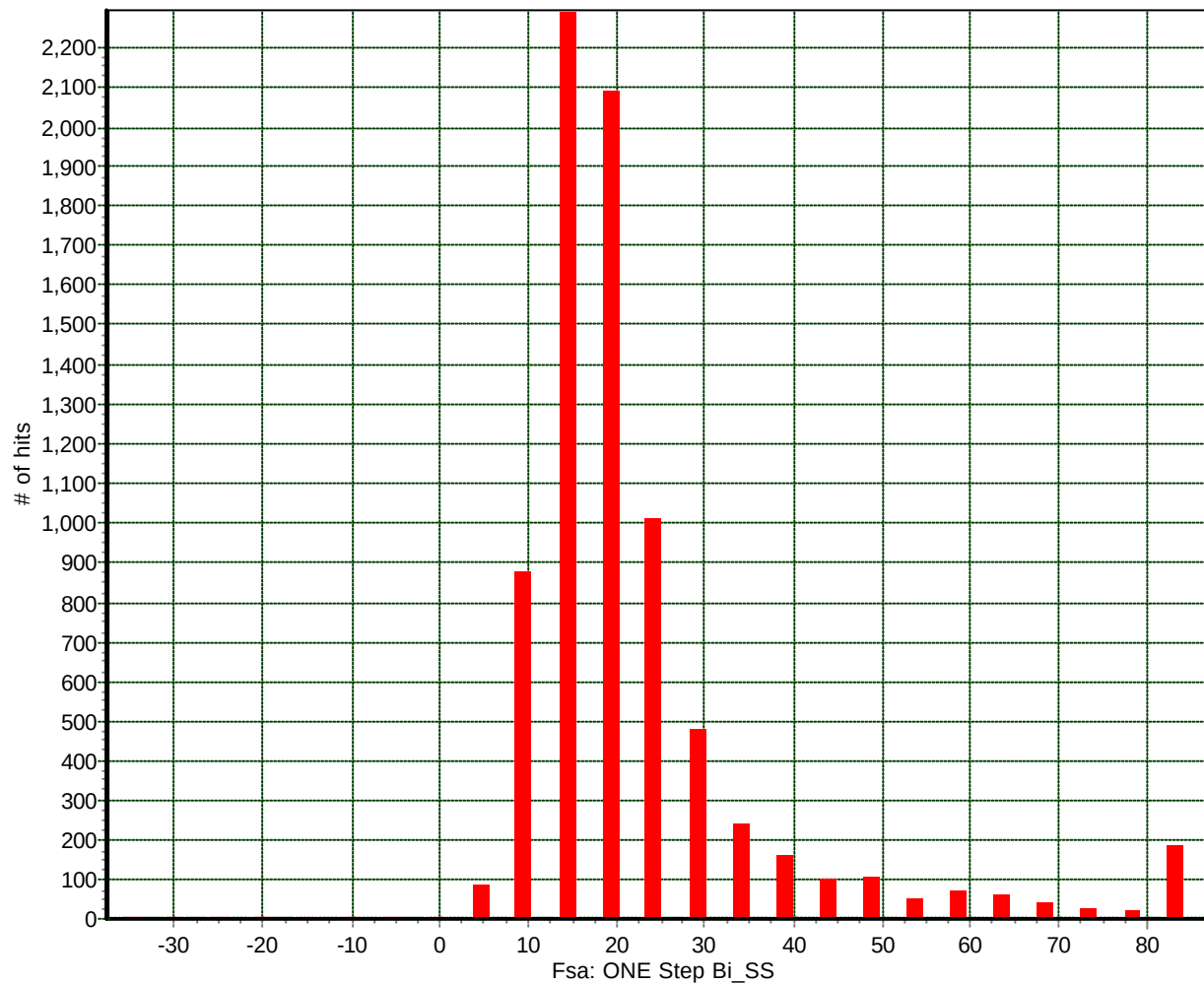
Potassium Distribution



Figuur A8: Verdeling van de ^{40}K concentraties

De ^{40}K concentratie strooit vrijwel Gaussisch rondom een gemiddelde waarde van 305 Bq/kg, hetgeen blijkt uit de tabel A2 de typische "zand" concentratie is. Hoge waarden worden gevonden op plaatsen waar zich Glauconiet of klei bevindt, lage waarden vinden op plekken waar zich slakken bevinden.

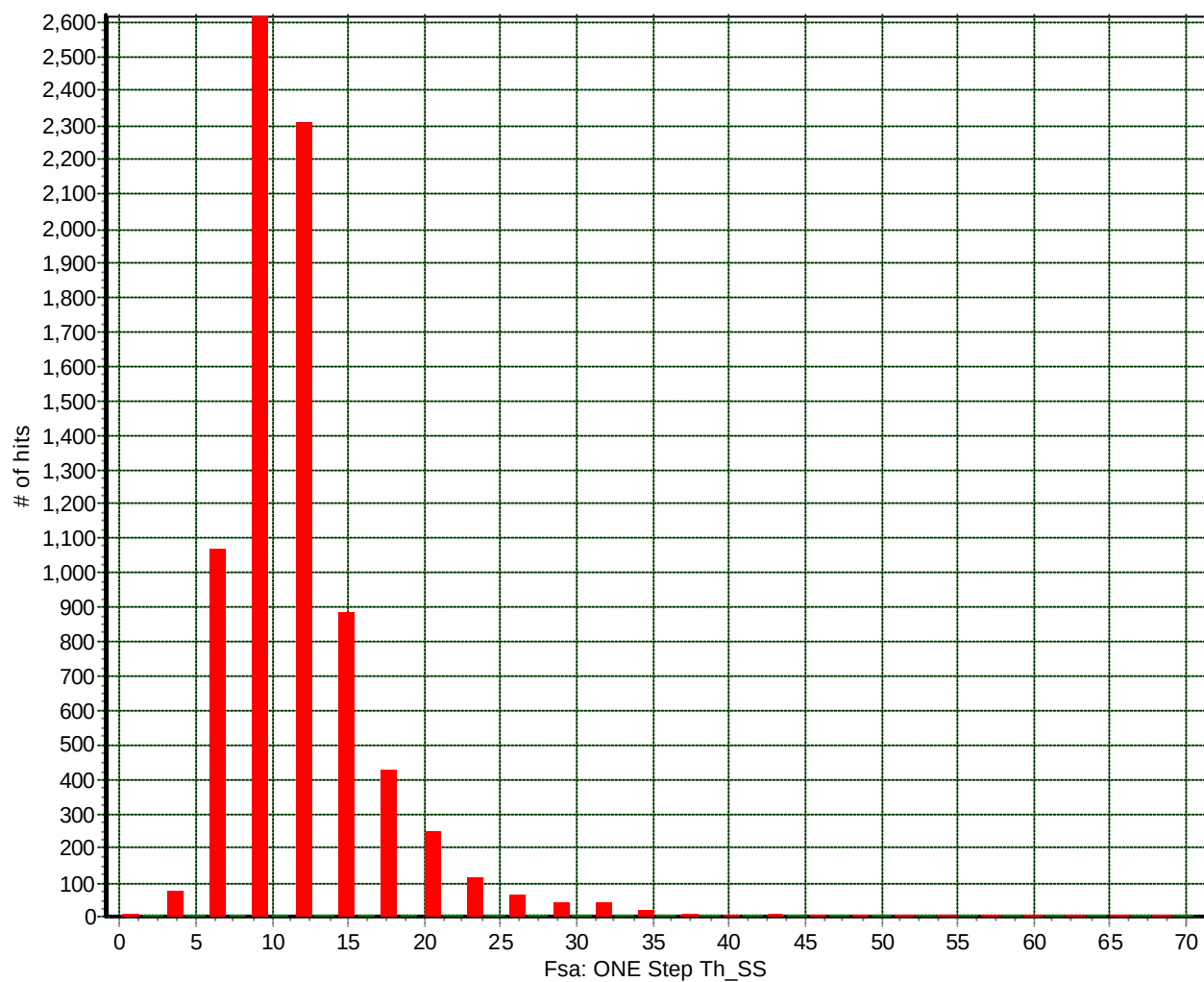
U-238 Distribution



Figuur A9: Verdeling van de ^{238}U concentraties

De gemiddelde ^{238}U concentratie bedraagt 22 Bq/kg. Dit gemiddelde wordt sterk beïnvloed door de grote ^{238}U concentratie die in de slakken gevonden wordt. Dit effect vinden we terug in de positie van het maximum in de verdeling: dat ligt namelijk op 15 Bq/kg.

Th distribution



Figuur A10: Verdeling van de ^{232}Th concentraties

De gemiddelde ^{232}Th concentratie bedraagt 10 Bq/kg. Ook voor ^{232}Th wordt deze waarde beïnvloed door de ^{232}Th concentratie die in de slakken gevonden wordt. Het maximum ligt op 9 Bq/kg.