

Gedegen, innovatieve en verbindende monitoring  
van het waddengebied

## **FACTSHEET GAMMASPECTROSCOPIE** NATUURLIJKE RADIOACTIVITEIT VAN SEDIMENT

Alma de Groot

IMARES Wageningen UR

# INHOUDSOPGAVE

<b>1</b>	<b>INLEIDING .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>METEN VAN NATUURLIJKE RADIOACTIVITEIT VAN SEDIMENT .....</b>	<b>5</b>
	2.1 Nauwkeurigheid .....	8
	2.2 Inzetbaarheid .....	9
	2.3 Uniformiteit .....	9
	2.4 Regionale geschiktheid .....	9
	2.5 Continuïteit .....	9
	2.6 Prijs/kwaliteit .....	9
	2.7 Toepassingskader monitoring .....	10
<b>3</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN .....</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>REFERENTIES .....</b>	<b>12</b>

# 1 INLEIDING

Monitoren van de sedimentsamenstelling in het Waddengebied (themadossier Klimaat en Veiligheid) is kostbaar en tijdrovend. Het wordt mede daarom niet regelmatig uitgevoerd. Alternatieve technieken die sneller, goedkoper, efficiënter of nauwkeuriger zijn, kunnen de monitoringmogelijkheden sterk verbeteren.

Het gaat om het vlakdekkend bepalen van de sedimentsamenstelling van de gehele Waddenzee en buitendelta's, voor het gehele gebied tussen het gemiddeld hoogwaterniveau (GHW) en de bodem van de geulen. De gegevens zijn nodig voor het bepalen van de sedimentbalans en als input voor zowel morfologische modellen als modellen voor het bepalen van de hydraulische randvoorwaarden.

Relevante parameters zijn:

- Korrelgrootteverdeling
  - percentage sediment in verschillende fracties
  - percentages zand ( $> 63 \mu\text{m}$ ) en slib ( $< 63 \mu\text{m}$ ), ofwel het slibgehalte
  - D50 (mediane korrelgrootte)
- Kalkgehalte
- Gehalte organische stof.

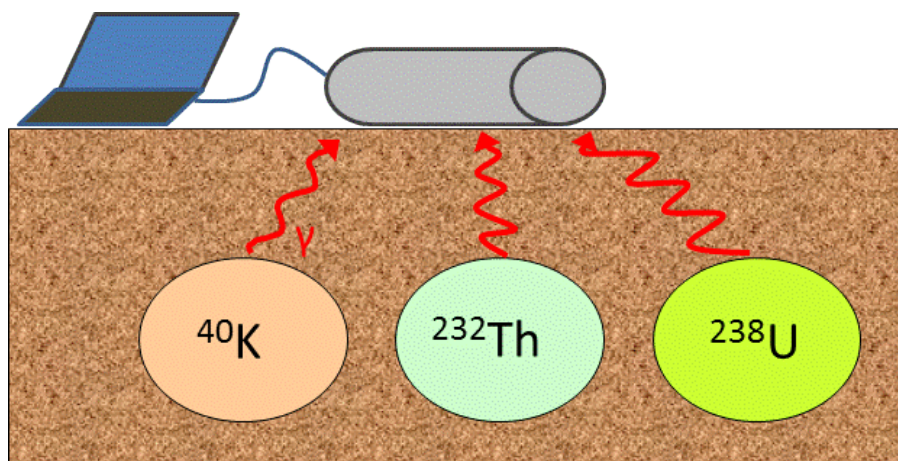
Daarvan is korrelgrootteverdeling, waar de D50 uit volgt, de belangrijkste.

Slibgehalte (in feite een korrelgrootteverdeling van maar twee fracties) is minder informatief. Kalkgehalte en gehalte organische stofgehalte zijn niet prioritair.

## 2 METEN VAN NATUURLIJKE RADIOACTIVITEIT VAN SEDIMENT

De meeste sedimenten bevatten van nature een lage concentratie radioactieve elementen, die een constante, geringe hoeveelheid gammastraling uitzenden. Deze straling is onderdeel van de achtergrondstraling. Deze radionucliden zijn  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  en  $^{238}\text{U}$ , met soms het antropogene  $^{137}\text{Cs}$ . Met gevoelige apparatuur kan deze straling worden gemeten, waarmee het dus een passieve techniek is (Figuur 1).

De gemeten straling blijkt samen te hangen met bijvoorbeeld herkomst en korrelgrootte van het sediment, maar ook met chemische eigenschappen van sediment en gesteente (De Meijer, 1998; Van der Graaf *et al.*, 2007). Vanwege deze correlaties wordt gammaspectroscopie al lange tijd ingezet voor het meten van allerlei bodemeigenschappen, zowel met de hand als vanuit voertuigen, schepen en vliegtuigen (De Meijer *et al.*, 1997; Ligerio *et al.*, 2001; IAEA, 2003; Tsabaris en Ballas, 2004; Anjos *et al.*, 2006; Van Egmond *et al.*, 2010). In Nederland is de techniek gebruikt om korrelgrootte onder water te karteren in het Haringvliet (Van Wijngaarden *et al.*, 2002), op Loswal Noord (baggerstortlocatie in de Noordzee; Venema en De Meijer, 2001) en de Noordzee (de Vries *et al.*, 2012), en wordt op dit moment commercieel toegepast op verscheidene locaties door Medusa Explorations (<http://medusa-online.com/>). In de kustzone is ze ook gebruikt voor het karteren van zware mineralen in het sediment (Terschelling; De Meijer 1998).



**Figuur 1.** Principe van detectie van natuurlijke gammastraling. Natuurlijke radionuclide (atoomkernen) in het sediment ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  en  $^{238}\text{U}$ ) zenden met zeer lage intensiteit gammastraling uit. Deze wordt opgevangen door een detector (grijze cilinder) op het sediment, die het gemeten spectrum naar een laptop (linksboven) stuurt.

In het Nederlandse waddengebied is de gemeten variatie aan gammastraling gerelateerd aan korrelgrootte (De Groot *et al.*, 2009) en gehalte aan zware mineralen (De Meijer *et al.*, 1989). Bekeken over het internationale waddengebied, bestaan er ook verschillen in herkomst van het sediment die het radiometrisch signaal beïnvloeden (De Meijer en Donoghue, 1995). Of de korrelgrootte of het gehalte zware mineralen in een bepaald gebied het dominante signaal in de

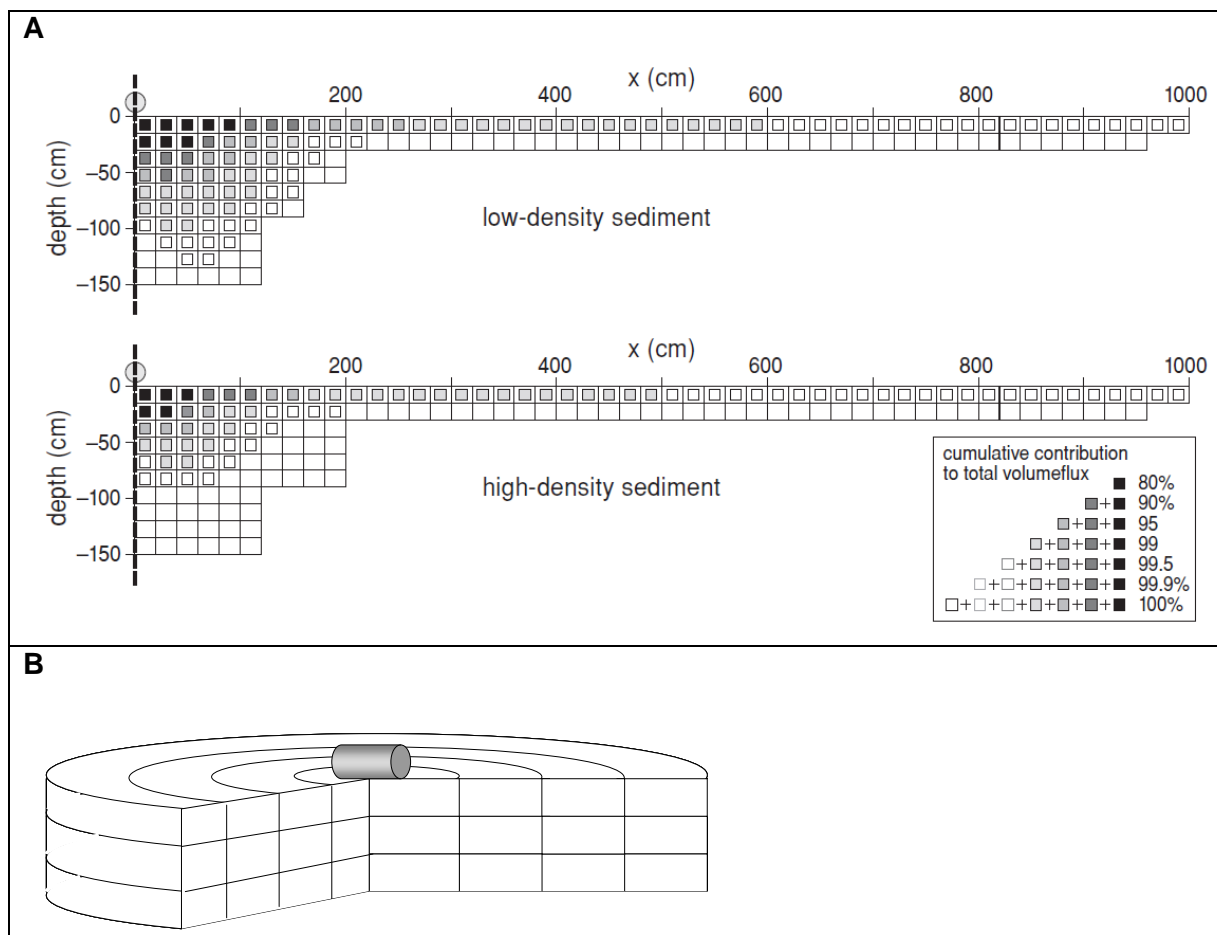
gemeten straling is, hangt af van de eigenschappen en geschiedenis van dat gebied. Het moet worden bepaald aan de hand van monsteronderzoek, dat gelijk een deel van de kalibratie kan vormen.

Er bestaan verschillende detectoren die de straling in situ kunnen meten. De detector wordt achter een schip onder water over het sediment gesleept (De Meijer *et al.*, 1996), of, wanneer wadplaten droogvallen, op een langzaam rijdend voertuig gemonteerd (Figuur 2). De gemeten straling is afkomstig uit de bovenste laag van de bodem, van direct onder de detector tot zo'n 40-60 cm diepte, en van een gebied van 160-260 cm rond de detector, afhankelijk van de bulkdichtheid van het sediment (Figuur 3; De Groot, 2009; De Groot *et al.*, 2009).

In zandige gebieden kan het wrijvingsgeluid van de detector over de bodem worden gebruikt om een indicatie van de D50 te krijgen en schelpenbanken te detecteren (Koomans 2000).



**Figuur 2.** Pilotstudie met de PANDORA detector (grijze cilinder) op het wad van Schiermonnikoog (foto: Alma de Groot).

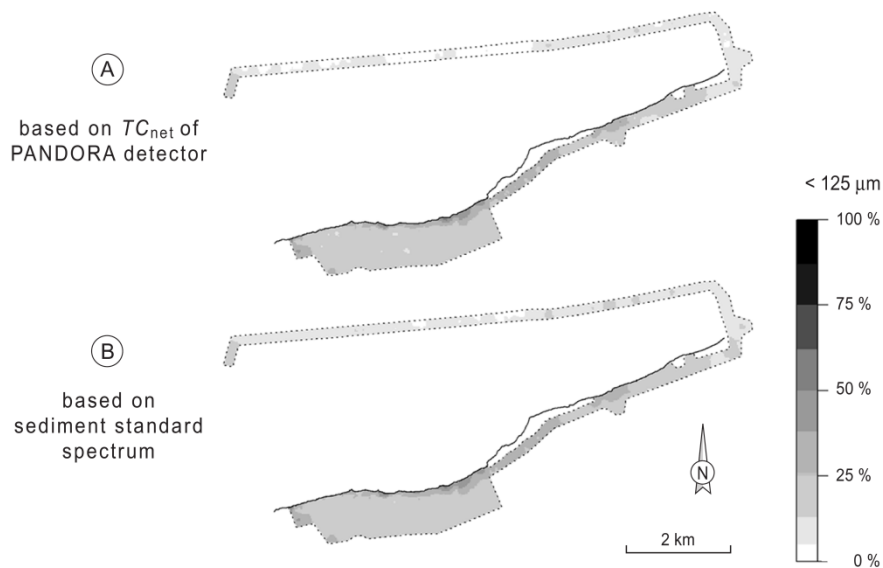


**Figuur 3.** Deel van het sediment dat straling levert aan de detector, voor sediment met lage bulkdichtheid ( $1.16 \text{ g/cm}^3$ , A boven) en hoge bulkdichtheid ( $2.0 \text{ g/cm}^3$ , A onder), gebaseerd op simulaties. De figuren geven een doorsnede van de helft van een cirkelvormige plak sediment (B). De cirkel linksboven op de doorsnede geeft de detector weer. Hoe donkerder een cel, hoe meer straling de detector van deze cel ontvangt (uit: De Groot, 2009).

Water absorbeert gammastraling. Als onder water wordt gemeten, absorbeert het bovenliggende water de kosmische straling geheel of gedeeltelijk. Aangezien kosmische straling een redelijk groot deel van het totale signaal uitmaakt, moet het gemeten spectrum voor het geabsorbeerde deel, en dus de waterdiepte, worden gecorrigeerd. Om absorptie onder de detector (door water tussen detector en sediment) te voorkomen, moet de detector bij onderwatermetingen in contact met de bodem blijven. Ook het watergehalte van het sediment zelf is van belang. Als dit bekend is of redelijkerwijs geschat kan worden (bijvoorbeeld uit monsters die ook voor kalibratie nodig zijn), kan daar eenvoudig voor worden gecorrigeerd (De Groot *et al.*, 2009). Als het watergehalte niet bekend is, zou het mogelijk moeten zijn om het achteraf te bepalen tijdens de analyse van de gemeten spectra (Koomans, 2008). deze methode levert echter niet altijd de gewenste resultaten op (De Groot, 2009).

De gemeten spectra worden achteraf geanalyseerd, gebaseerd op een kalibratie met een combinatie van monsters (meestal korrelgrootte en radionuclideninhoud), simulaties en bij voorkeur enkele kalibratiemetingen in situ (De Groot, 2009; van der Graaf *et al.*, 2011). Per te detecteren sedimentcomponent wordt een zogenaamde

radiometrische vingerafdruk gemaakt: de kenmerkende activiteitconcentraties van de radionucliden van die component, die een herkenbaar spectrum uitzenden. Het aantal te onderscheiden sedimentfracties hangt af van de mate waarin de radionucliden onderling gecorreleerd zijn. Rond Schiermonnikoog, bijvoorbeeld, zijn deze sterk gecorreleerd, zodat maar twee componenten (groter en kleiner dan 125  $\mu\text{m}$ ) te onderscheiden zijn (Figuur 4; De Groot, 2009). Het gevonden korrelgroottepatroon aldaar kwam goed overeen met veldobservaties en andere publicaties. Het is onbekend hoe dat in andere delen van de Waddenzee is.



**Figuur 4.** Kartering van gehalte < 125  $\mu\text{m}$  op wad en strand ten oosten van de veerdam op Schiermonnikoog, gebaseerd op twee analysemethoden van dezelfde meting (uit: De Groot, 2009).

## 2.1 Nauwkeurigheid

De nauwkeurigheid waarmee het slibgehalte kan worden gemeten, hangt af van lokale omstandigheden, met name de samenstelling van de verschillende componenten van het sediment ('vingerafdrukken'). Of er meer korrelgroottefracties meetbaar zijn, en hoe nauwkeurig de D50 geschat kan worden op basis van geluidsopnamen, moet in een pilotstudie nader onderzocht worden.

## 2.2 Inzetbaarheid

- De methode werkt niet op kwelders vanwege de grote variatie in watergehalte, dichtheid en gelaagdheid van de bodem (De Groot, 2009). Dit is echter buiten het huidig gewenste toepassingsgebied
- De methode levert geen uitgebreide korrelgrootteverdeling, maar een beperkt aantal (in ieder geval twee) sedimentfracties
- De methode is sneller en levert een hogere ruimtelijke resolutie dan het nemen van monsters
- Het is specialistisch werk, waarvoor maar een beperkt aantal bedrijven de juiste apparatuur en ervaring heeft
- Voor toepassing in de Waddenzee is eenmalig vooronderzoek op verschillende locaties nodig
- Kan zowel boven als onder water gebruikt worden
- Metingen boven water worden bij voorkeur niet tijdens regen uitgevoerd, omdat neerslag de achtergrondstraling met een onbekende hoeveelheid verhoogt.

## 2.3 Uniformiteit

De methode moet waarschijnlijk per kombergingsgebied of delen daarvan apart gekalibreerd worden.

## 2.4 Regionale geschiktheid

Zowel onder als boven water kan worden gemeten; daarmee kan de hele Waddenzee worden bestreken. Mogelijke verstoring (rijden, slepen van de detector) moet nader bekeken worden.

## 2.5 Continuïteit

Kan herhaald worden. Consistentie van meetwaarden tussen verschillende jaren is niet bekend, maar zou goed moeten zijn omdat de halveringstijd van de betreffende radionucliden zeer lang is. Gemeten patronen van gammastraling op Ameland en Schiermonnikoog waren consistent met metingen van 15 jaar eerder (De Groot 2009).

## 2.6 Prijs/kwaliteit

Nader te bespreken met leverancier(s).



## 2.7 Toepassingskader monitoring

- Eenmalige pilot voor toepassing in gehele gebied noodzakelijk.
  - Bij positieve uitkomst kan met de techniek een gedetailleerde slibkaart van de hele Waddenzee gemaakt worden
  - Bij negatieve uitkomst (te grote variatie in radiometrische karakteristieken binnen de sedimentcomponenten) is de methode alleen geschikt voor lokale metingen op projectbasis, en niet voor basismonitoring
- Niet de gehele korrelgrootteverdeling kan worden bepaald
- Er moet nog verkend worden of het technisch mogelijk is de methode te combineren met andere metingen (bijvoorbeeld bathymetrie) uit de basismonitoring. De methode wordt vaak gecombineerd met andere geofysische methoden om de (onderwater)bodem in kaart te brengen.

### 3 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Meting van de natuurlijke gammastraling van sediment is in potentie bruikbaar om de sedimentsamenstelling (zand – slib) van wadplaten en geulen te meten, in een hogere dichtheid en in kortere tijd dan met traditionele sedimentmonsters (Venema en De Meijer, 2001; Van Wijngaarden *et al.*, 2002; De Groot, 2009). Een pilot is nodig om de precieze toepassing voor het Waddengebied te bepalen. Ten opzichte van monsters geeft de methode minder informatie (een beperkt aantal sedimentcomponenten in plaats van volledige korrelgrootteverdeling), maar voor het zelfde budget kan een groter gebied met hogere ruimtelijke dichtheid worden bemeten.

## 4 REFERENTIES

- Anjos R.M., Veiga R., Macario K., Carvalho C., Sanches N., Bastos J. & Gomes P.R.S. 2006. Radiometric analysis of Quaternary deposits from the southeastern Brazilian coast. *Marine Geology* 229(1-2): 29-43.
- Van Egmond F.M., Loonstra E.H. & Limburg J. 2010. Gamma Ray Sensor for Topsoil Mapping: The Mole. In: Viscarra Rossel R.A., McBratney A.B. & Minasny B. (eds). *Proximal Soil Sensing. Progress in Soil Science*. Springer Netherlands, pp. 323-332.
- Van der Graaf E., Koomans R., Limburg J. & de Vries K. 2007. In situ radiometric mapping as a proxy of sediment contamination: Assessment of the underlying geochemical and-physical principles. *Applied Radiation and Isotopes* 65(5): 619-633.
- Van der Graaf E.R., Limburg J., Koomans R.L. & Tijs M. 2011. Monte Carlo based calibration of scintillation detectors for laboratory and in situ gamma ray measurements. *Journal of Environmental Radioactivity* 102(3): 270-282. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2010.12.001>.
- De Groot A.V. 2009. Salt-marsh sediment; Natural gamma-radioactivity and spatial patterns. PhD Thesis, University of Groningen, Groningen.
- De Groot A.V., van der Graaf E.R., de Meijer R.J. & Maučec M. 2009. Sensitivity of in-situ g-ray spectra to soil density and water content. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section A-Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment* 600: 519-523.
- IAEA 2003. Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. IAEA-TECDOC-1363 Vienna.
- Koomans R.L.. 2000. Sand in motion; Effects of density and grain size. Ph.D. Thesis, Rijksuniversiteit Groningen
- Koomans R.L. 2008. Bepaling slibfractie en dichtheid waterbodem. MIN 8a, Medusa Explorations BV, Groningen.
- Ligero R.A., Ramos-Lerate I., Barrera M. & Casas-Ruiz M., 2001. Relationships between sea-bed radionuclide activities and some sedimentological variables. *Journal of Environmental Radioactivity* 57(1): 7-19.
- De Meijer R.J. 1998. Heavy minerals: from 'Edelstein' to Einstein. *Journal of Geochemical Exploration* 62(1-3): 81-103.
- De Meijer R.J. & Donoghue J.F. 1995. Radiometric fingerprinting of sediments on the Dutch, German and Danish Coasts. *Quaternary International* 26: 43-47.
- De Meijer R.J., Put L.W., Schuiling R.D., de Reus J.H. & Wiersma J.. 1989. Natural radioactive heavy minerals in sediments along the Dutch coast. *Proceedings KNGMG Symposium 'Coastal Lowlands, Geology and Geotechnology'*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp. 355-361.
- De Meijer R.J., Stapel C., Jones D.G., Roberts P.D., Rozendaal A. & Macdonald W.G. 1997. Improved and new uses of natural radioactivity in mineral exploration and processing. *Exploration and Mining Geology* 6(1): 105-117.
- De Meijer R.J., Tanczos I.C. & Stapel C. 1996. Radiometry as a technique for use in coastal research. *Geology of siliciclastic shelf seas*: 289-297.
- Tsabarlis C. & Ballas D. 2004. On line gamma-ray spectrometry at open sea. *Applied Radiation and Isotopes*.
- Venema L.B. & de Meijer R.J. 2001. Natural radionuclides as tracers of the dispersal of dredge spoil dumped at sea. *Journal of Environmental Radioactivity* 55(3): 221-239.

- De Vries K., Kok J., Koomans R.L., Ronde J. & Rozemeijer M.J. 2012. Monitoring silt content in sediments off the Dutch coast, Hydro12 - Taking care of the sea, Rotterdam <http://dx.doi.org/10.3990/2.218>.  
<http://proceedings.utwente.nl/218/>.
- Van Wijngaarden M., Venema L.B. & de Meijer R.J. 2002. Radiometric sand mud characterisation in the Rhine-Meuse estuary part B. In situ mapping. *Geomorphology* 43(1-2): 103-116.