



'T ZIT IN 'T ZAND EN 'T TIKT

R.J. de Meijer

Radioactiviteit is een verschijnsel zo oud als de planeet waarop wij leven. Alle natuurlijke materialen zijn van nature radioactief. In deze bijdrage wordt aangegeven hoe wij denken dat deze radioactiviteit gebruikt kan worden om onze kennis te vergroten over onderwerpen als zandtransport in de kustzone, herkomst van zand, ouderdom van zand en de ouderdom van afzettingen. Deze bijdrage geeft een overzicht van het werk zoals dat in de afgelopen jaren binnen onze groep is verricht in samenwerking met andere onderzoeksgroepen en instanties.

Inleiding

We kunnen onze planeet voorstellen als een, om een as draaiende, bal vloeistof waarop zich door afkoeling een vel heeft gevormd. Onder invloed van de zwaartekracht hebben de zwaardere (dwz. grotere dichtheid) elementen de neiging om zich rond het centrum van de bal te concentreren en als er geen tegenwerkende processen als convectieve stromingen waren, zou het vel uitsluitend uit lichtere materialen bestaan. Ten gevolge van deze stromingen is het vel constant in beweging waarbij delen van het vel weer vloeibaar worden en zich nieuw vel vormt op plaatsen waar de vloeistof in de nabijheid van het aardoppervlak afkoelt.

Daarnaast staat het vel voortdurend bloot aan temperatuurveranderingen t.g.v. de beschijning door de Zon en de schurende werking van zich in vloeibaar of vast water bevindend puin. Het vel bestaat voor een deel uit gesteenten die een verband zijn van gekristalliseerde mineralen en voor een deel uit afzettingen van puin (sedimenten) die onder invloed van temperatuur en druk, al dan niet geheel of gedeeltelijk, zijn gesmolten.

Onder invloed van temperatuurveranderingen, waarbij spanningen in het eventuele gesteente ontstaan t.g.v. verschil in uitzettingscoëfficiënten en water en wind wordt het gesteente weer afgebroken waarbij een deel van de mineralen oplost of vermalen wordt. Het restproduct bestaat dan ook uit harde, slecht oplosbare mineraal-kristallen. Afhankelijk van hun geschiedenis is de kristalstructuur onder een microscoop vaak nog herkenbaar. We

noemen dit restproduct zand als de diameter van de korrel ligt tussen 16 μm en 2 mm .

Door hun afmeting kunnen zandkorrels gemakkelijk over grote afstanden verplaatst worden door vloeibaar of vast water. Nederland, gelegen aan de rand van het Noordzee-bekken is dan ook de 'puinhoop' van een aantal Europese gebergten. Deze gebergten verschillen in ouderdom en oorsprong en de zandkorrels dragen een deel van die informatie in zich, ongeveer vergelijkbaar met een cel uit een levend wezen, dat via het DNA alle erfelijke informatie van dat wezen meedraagt.

Kristallen zijn regelmatig gerangschikte atomen waarvan de atoomstralen en de elektronenconfiguraties dusdanig zijn dat zij een hechte samenhang vertonen, die zich ook op macroscopische schaal in een kristalvorm manifesteert. Atomen zijn opgebouwd uit een zware kern met daarom heen een wolk van elektronen. Atomen worden dan ook wel eens met ons zonnestelsel vergeleken waarbij de zon de kern is en de planeten in vaste banen daarom heen bewegen. De vergelijking gaat onder andere mank omdat de planeten verschillende massa's hebben, terwijl de (rust)massa van alle elektronen gelijk is. De chemische eigenschappen van een atoom (element) worden bepaald door het aantal elektronen. De atoomkern is opgebouwd uit protonen en neutronen; elektronen hebben een negatieve elektrische lading, protonen een positieve en neutronen zijn ongeladen. Omdat het atoom ongeladen is, is het aantal protonen in de atoomkern gelijk aan het aantal elektronen van het atoom en dus wordt het

element ook bepaald door het aantal protonen. Atomen van hetzelfde element hebben dus hetzelfde aantal protonen, maar kunnen verschillen in het aantal neutronen. Dergelijke atomen worden isotopen genoemd, ze verschillen alleen in het aantal neutronen en derhalve in atoomgewicht.

In de natuur blijken niet alle combinaties van protonen en neutronen voor te komen. Er komen in de natuur geen stabiele elementen voor met atoomgetal (= aantal protonen) Z groter dan 83. Op een na hebben alle kernen met $Z \leq 83$ een of meerdere combinaties met neutronen die een stabiele atoomkern oplevert. Andere combinaties kunnen onder uitzending van kernstraling (de overvloedige energie) in een energetisch voordeliger kern overgaan (vervallen). Dit verschijnsel heet radioactiviteit en een instabiele kern wordt ook wel een radioactieve kern genoemd. De mate waarin de radioactieve kern energetisch onvoordelig is is mede bepalend voor de snelheid waarmee de kern vervalt. Een maat voor die snelheid is de halveringstijd ($T_{1/2}$), de tijd waarna van een oorspronkelijk aantal atomen (statistisch gezien) nog de helft over is. Deze halveringstijd is karakteristiek voor een radioactieve kern.

Sinds het ontstaan van ons zonnestelsel zijn van de toen aanwezige radioactieve kernen slechts de langlevende moederkernen als ^{40}K , ^{238}Th , ^{235}U en ^{238}U nog in aanzienlijke concentraties aanwezig. In alle kaliumverbindingen komt het isotoop ^{40}K voor, dat in een stap vervalt; alle kaliumverbindingen zijn dus van nature radioactief (het massagetal 40 geeft het aantal protonen + aantal neutronen weer, kalium

heeft 19 protonen en dus heeft ^{40}K 21 neutronen; naast ^{40}K komen in de natuur ^{39}K en ^{41}K als stabiele kernen voor). Het verval van ^{232}Th , ^{235}U en ^{238}U gaat via de nodige radioactieve kernen, ieder met hun eigen halveringstijd. Het eindproduct is voor elk van deze vervalreeksen een (ander) isotoop van lood. Deze vervalreeksen zijn extra gecompliceerd door de vorming van kernen van het gasvormige radon, verder ontstaan kernen met steeds andere chemische eigenschappen zodat de gevormde verbindingen kunnen ontsnappen door vermenging met lucht of oplossen in water. Voor ^{238}U is het beeld nog gecompliceerder omdat er voor een ^{238}U -kern een kleine kans is op splijting, het proces waarbij de kern in twee lichtere kernen uiteen valt.

De overvloedige energie die vrijkomt bij het radioactief verval wordt naar gelang de vorm α -, β -, γ -straling of splijting genoemd. Bij de eerste vorm wordt een heliumkern, bij het tweede een electron uitgezonden. Gammastraling is electromagnetische straling en is te vergelijken met zichtbaar licht en radar maar met een veel kortere golflengte. Gammastraling wordt het minst goed door materie geabsorbeerd en is daarom ook goed in de natuur te meten. Met speciale instrumenten kan (vnl. in het laboratorium) de energie van de gammastraling nauwkeurig worden bepaald en omdat de vervalsnelheid en de energie van de straling karakteristiek zijn voor de kern of de reeks, kan uit een gammaspectrum (intensiteitsverdeling van de energie) de sterkte of concentratie van de bron worden afgeleid.

We hebben gezien dat zand een verzameling is van harde, slecht oplosbare mineralen, kristallen van bepaalde chemische verbindingen. Deze kristallen zijn in de natuur zelden zeer zuiver en bevatten doorgaans verontreinigingen. Deze verontreinigingen kunnen in het stollingsproces o.a. ontstaan indien zich in de afkoelende vloeistof atomen van andere elementen bevinden die qua afmeting en chemische eigenschappen overeenkomen met die welke zich bevinden in het kristalliserende mineraal. Deze elementen kunnen dan in het kristal rooster insluipen. Is het element K, Th of U dan is het kristal daarmee radioactief geworden. De mate waarmee deze radioactieve elementen in kristallen worden ingesloten zal afhankelijk zijn van het mineraal en de aanwezigheid (concentratie) van de radioactieve elementen in de vloeistof. Het ene mineraal zal daarom meer radioactiviteit bevatten dan een ander. Kristallen van hetzelfde mineraal kunnen verschillen in radioactiviteit, afhankelijk van het gesteente waarin ze gevormd zijn.

Mineralen hebben een dichtheid die afhankelijk is van de samenstellende atoomsoorten en de ruimtelijke dichtheid van de stapeling. In de praktijk wordt onderscheid gemaakt tussen lichte en zware mineralen afhankelijk of deze mineralen respectievelijk al of niet blijven drijven op een zware vloeistof als bromoform ($r = 2.8 \text{ g.cm}^{-3}$). Tot de lichte mineralen behoren kwarts en veldspaat, tot de zware o.a. epidoot, granaat, ilmeniet, magnetiet, monaziet, rutiel, toermalijn en zirkoon. Zand uit de Nederlandse kuststreken bevat gemiddeld minder dan 1% zware mineralen; op enkele plaatsen komen echter concentraties van meer dan 70% voor. Een aantal zware mineralen heeft een donkere kleur, hierdoor zijn afzettingen met een hogere zwaar mineraal concentratie als donkere vlekken of strepen ook zichtbaar.

In deze bijdrage wordt onderzoek beschreven dat gebaseerd is op de radiometrische eigenschappen van zand. Studies worden belicht waarbij allereerst deze radiometrische eigenschappen in kaart worden gebracht. Daarna wordt uiteengezet hoe deze eigenschappen kunnen worden gebruikt om informatie te verkrijgen over geologische processen waaraan het zand onderworpen is (geweest).

Onderzoekresultaten

1. Specifieke activiteit van mineralen

Om na te gaan hoe groot de radioactiviteit in diverse mineralen van Neder-

lands zand kan zijn, werd een monster zand van Texel (de Hors) geanalyseerd. Het monster dat relatief veel zware mineralen bevatte, werd eerst met bromoform gescheiden in een lichte en een zware fractie; vervolgens werd de zware fractie gescheiden in diverse groepen mineralen met ongeveer gelijke magnetische eigenschappen. Deze bewerkingen werden uitgevoerd in het Instituut voor Aardwetenschappen te Utrecht en stonden onder toezicht van Prof.dr. R.D. Schuiling. Vervolgens werden de monsters in het KVI gemeten op hun gammastraling. Hiervoor werd de lage achtergrond opstelling gebruikt waarin een zeer gevoelige germanium detector staat opgesteld, afgeschermd tegen achtergrondstraling uit vnl. bouwmaterialen door 10 cm oud lood. Met de detector wordt een energiespectrum gemeten, waarbij uit de intensiteit van de gammastraling de concentratie van K, U en Th wordt bepaald. Omdat de gammastraling uit de vervalreeks van ^{238}U optreedt na het verval van het gasvormige ^{222}Rn (radon) wordt slechts radon gemeten dat niet uit de mineralen is ontsnapt.

Uit de resultaten zoals die zijn weergegeven in tabel 1 blijkt dat de groepen van zware mineralen zo'n 20 tot 1000 keer hogere concentratie Rn en Th bevatten dan de lichte mineralen; voor de samenstelling van het Texelse zand is de activiteitsconcentratie in de totale zwaar-mineraal fractie een factor 100 maal hoger dan in de lichte fractie. Het gevolg van deze constatering is dat zand dat slechts 1% zware mineralen

Tabel 1. Samenstelling, relatieve massa en de activiteitsconcentratie (Bq.kg^{-1}) van diverse zwaar-mineraalgroepen in een monster zand van de Hors, Texel.

mineraal groep	samenstelling	relatieve massa in de zwaar-mineraal fractie	Activiteitsconcentratie (Bq.kg^{-1})		
			^{222}Rn	^{232}Th	^{40}K
magnetiet	vnl. magnetiet	0.01	81 ± 8	83 ± 5	110 ± 40
ilmeniet I	bijna zuiver ilmeniet	0.01	189 ± 11	209 ± 10	90 ± 90
ilmeniet II	vnl. ilmeniet, enkele granaten	0.06	92 ± 4	94 ± 5	35 ± 12
granaat	vnl. granaat, nog steeds wat ilmeniet, enkele epidoten	0.66	82 ± 3	133 ± 7	22 ± 4
mengsel I	mengsel van granaat, epidoot, ilmeniet en mogelijk rutiel	0.03	370 ± 20	1930 ± 80	150 ± 20
mengsel II	mengsel van epidoot, stauroliet, toermalijn en andere	0.05	1930 ± 60	5400 ± 300	440 ± 30
rutiel	rutiel, enkele epidoten, toermalijn en diverse andere	0.02	2350 ± 80	4900 ± 300	440 ± 50
zirkoon	overwegend zirkoon	0.17	2180 ± 50	380 ± 30	20 ± 30
totale zwaar-mineraal fractie			581 ± 10	595 ± 17	58 ± 6
lichte mineralen	vnl. kwarts, enkele veldspaten		2.87 ± 0.10	3.15 ± 0.18	148.4 ± 1.2

bevat twee keer meer Rn en Th bevat dan zand dat uitsluitend uit lichte mineralen bestaat.

2. Zwaar-mineraalconcentraties langs de Nederlands kust

Met een draagbare gammastralingsmeter (Scintrex GIS5) bestaande uit een 4x5x5 cm³ NaJ kristal gemonteerd op een fotomultiplicator buis en voorzien van de nodige hulpelectronica, inclusief een éénkanaals-analysator en een teller zijn in het veld metingen verricht. De gevoeligheid van deze meter voor de kosmische straling werd bepaald uit metingen op diep water waarbij de straling van de bodem door de waterlaag wordt geabsorbeerd. Tijdens de metingen wordt de meter gewoonlijk op een hoogte van ca. 1 m gedragen (heup-hoogte); hierdoor wordt globaal over een oppervlak van 3-4 m² rond de persoon gemiddeld.

Uit het voorgaande volgt dat zwaar-mineraalconcentraties op een eenvoudige wijze in kaart gebracht kunnen worden door ter plaatse met een draagbare gammastralingsmeter de straling van het zand zoals dat op het strand ligt te meten. Met de traditionele methode worden monsters in het laboratorium met bromoform gescheiden. Dit is een omslachtige en tijdrovende analyse waardoor slechts steekgroepsgevijs uit een gebied enkele monsters kunnen worden genomen (vaak met onderlinge afstanden van 1 tot enkele kilometers). Zo eenvoudig als dit lijkt is het echter niet doordat er een achtergrond is van kosmische straling en omdat zand de gammastraling absorbeert, waardoor de straling van afgedekte lagen zwakker lijkt dan die van oppervlaktelagen. Globaal kunnen we stellen dat we met een gammastralingsmeter zo'n 30-50 cm diep in het zand kunnen 'kijken'. Het grote voordeel boven de traditionele methode is dat continu en interactief gemeten kan worden, waarbij intensiteitsverschillen over kleine afstanden kunnen worden opgemerkt.

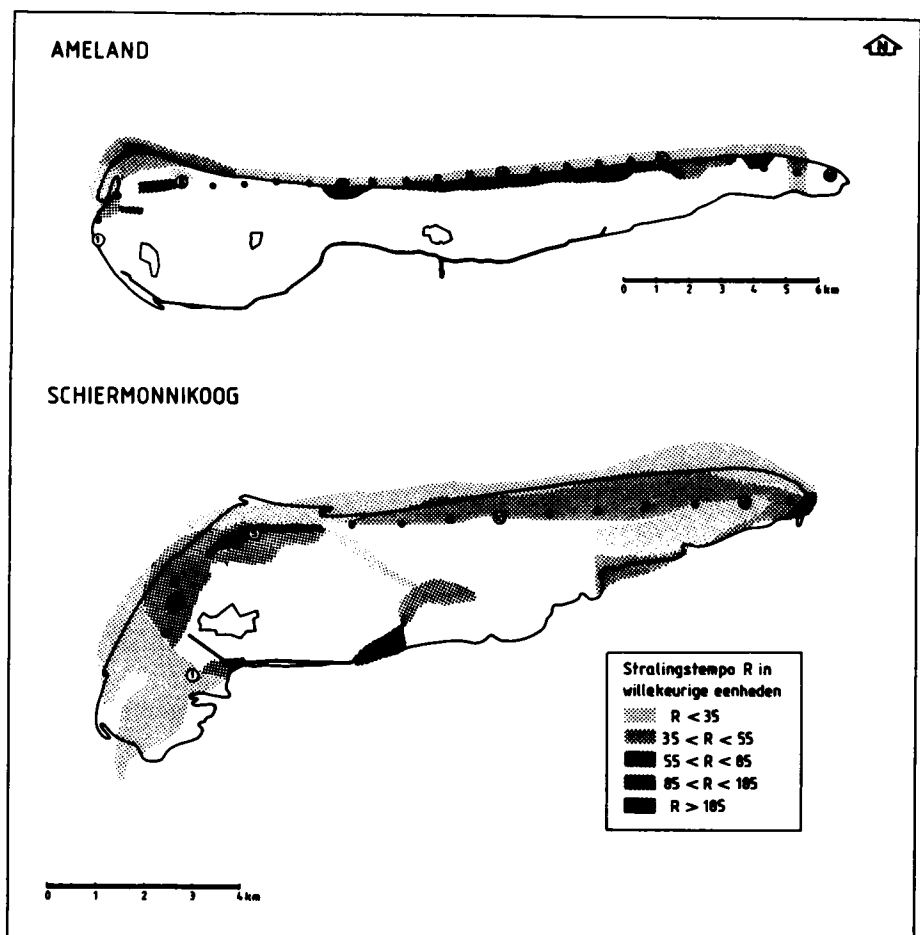
In de periode 1983-1987 is het Nederlandse kustgebied tussen IJmuiden en de grens met de BRD radiometrisch in kaart gebracht. Dit gebeurde door langs de duinvoet iedere 100 m een meting te verrichten; elke kilometer werd een dwarsprofiel gemeten van de waterlijn tot in het duin met de meetpunten om de ca. 25 m.

De resultaten van deze kartering geven aan dat tamelijk lage concentraties (<5%) zware mineralen voorkomen langs de Noordhollandse kust, (met uitzondering van een plek bij Bergen aan Zee) en op de Waddeneilanden Terschelling, Schiermonnikoog, Rottumerplaat en Rottumeroog. Hoge con-

centraties (>5%) werden gevonden op de eilanden Texel, Vlieland en Ameland. In het algemeen kan worden gesteld dat elk eiland zijn eigen karakteristieke patroon heeft. Verder wordt de laagste concentratie aan de waterlijn aangetroffen en neemt de concentratie landinwaarts toe, veelal met een maximum aan de duinvoet. Op diverse plaatsen werden in de duinen hogere waarden gevonden. Na de winterstormen van februari 1990 werden tussen Egmond en Callantsoog en op de eilanden Texel en Ameland grote hoeveelheden zand met hoge concentraties aan zware mineralen waargenomen (Texel 30000-40000 m³). De eilanden Texel, Ameland en Schiermonnikoog zijn in de afgelopen jaren het meest gedetailleerd onderzocht. Deze bijdrage geeft voornamelijk informatie over het onderzoek op deze eilanden. In fig. 1 worden de resultaten van de

huidige Ameland aaneen groeiden. Het stralingsniveau in de Zwanewaterduinen op Ameland is weliswaar het hoogst bekende natuurlijke niveau, het stralingstempo op de dijk aan de zuidkant van het eiland is twee keer hoger door het gebruik van betonblokken met ertsslakken. Diepteprofielen laten zien dat het pakket met hoge zwaar-mineraal concentraties in de Zwanewaterduinen 1 tot 1.5 m dik is.

Op het eerste gezicht lijkt het verschil in zwaar-mineraal concentraties in het zand van Ameland en Schiermonnikoog in overeenstemming te zijn met de algemeen geaccepteerde hypothese dat eroderende kusten een hogere concentratiefactor in zware mineralen vertonen dan stabiele kusten: thans lijdt Ameland aan kustafslag terwijl Schiermonnikoog stabiel is en zelfs aan de westkant in de afgelopen jaren een haak gevormd is. Een nauw-



figuur 1: Gamma-stralingsintensiteit van het strand en de duinen op de eilanden Ameland en Schiermonnikoog.

metingen weergegeven voor de eilanden Ameland en Schiermonnikoog. Het valt op dat de stralingswaarden op Ameland veel hoger zijn dan die op Schiermonnikoog. Op beide eilanden werden hogere waarden gevonden in de duinen dan in de duinvoet. Op Ameland liggen de gebieden met hoge concentraties een paar honderd meter landinwaarts op de plaats waar in de vorige eeuw drie eilandjes tot het

keuriger blik leert echter dat de hoge concentraties op Ameland optreden op plaatsen waar aanlanding heeft plaatsgevonden. Deze constatering zet vraagtekens bij de vaak uit deze hypothese getrokken conclusie dat hogere concentraties zware mineralen wijzen op erosie. Ook bij de stormen van februari 1990 komen op Texel en bij Petten zwaar-mineraalconcentraties voor die niet alleen via erosie te

verklaren lijken.

Afgezien van de 'hot spots' mag geconcludeerd worden dat het bulkmateriaal op Ameland meer zware mineralen bevat dan op Schiermonnikoog. De stralingsgegevens van het zand van de haak van Schiermonnikoog, gemeten in november 1989, wijzen dan ook in de richting van een herverdeling van zand van Schiermonnikoog in plaats van depositie van zand afgeslagen van de Amelandse kust.

Op de vraag waarom het ene eiland een hogere zware mineraalconcentratie heeft dan het andere is geen duidelijk antwoord te geven. Voor de Duitse Waddeneilanden zijn onderwatergebieden met verhoogde concentraties aangetroffen. Het verdient aanbeveling ook voor de Nederlandse kust naar dit soort voorkomens te zoeken. Een mogelijke aanwijzing voor een dergelijk voorkomen is het Bornrif op Ameland waar een plek met verhoogde concentraties voorkomt. Dit gebied ligt tussen de hoog- en laagwaterlijn. Uit de stralingskaart (figuur 1) zou men een verspreiding van mineralen kunnen afleiden. Er is wel geopperd dat dit soort gebieden met verhoogde concentraties relictten zijn van een oude kust die thans door erosie wordt aangesneden. We komen op het belang van deze 'pockets' terug.

3. Herkomst van zand

Voor Nederland zijn er twee primaire bronnen van zand: afzettingen door Rijn, Maas en Schelde ('Rijnzanden') in het Pleistoceen en gletsjerafzetting uit het Saalien. Het eerste type zand domineert de stranden ten zuiden van Bergen; ten noorden van Bergen inclusief de Waddeneilanden domineert de gletsjerafzetting. In de inleiding is al genoemd dat verschil in herkomst zich kan uiten in verschil in radiometrische eigenschappen.

Uit tabel 1 zien we dat voor het monster zand van Texel de Rn en Th activiteitsconcentratie van zowel de lichte als de zware fractie, aan te duiden met respectievelijk A_L en A_Z , zijn bepaald. Als we van een willekeurig monster nu de activiteitsconcentratie A bepalen dan volgt de massafractie α van de zware mineralen uit de triviale vergelijking:

$$A = (1-\alpha) A_L + \alpha A_Z.$$

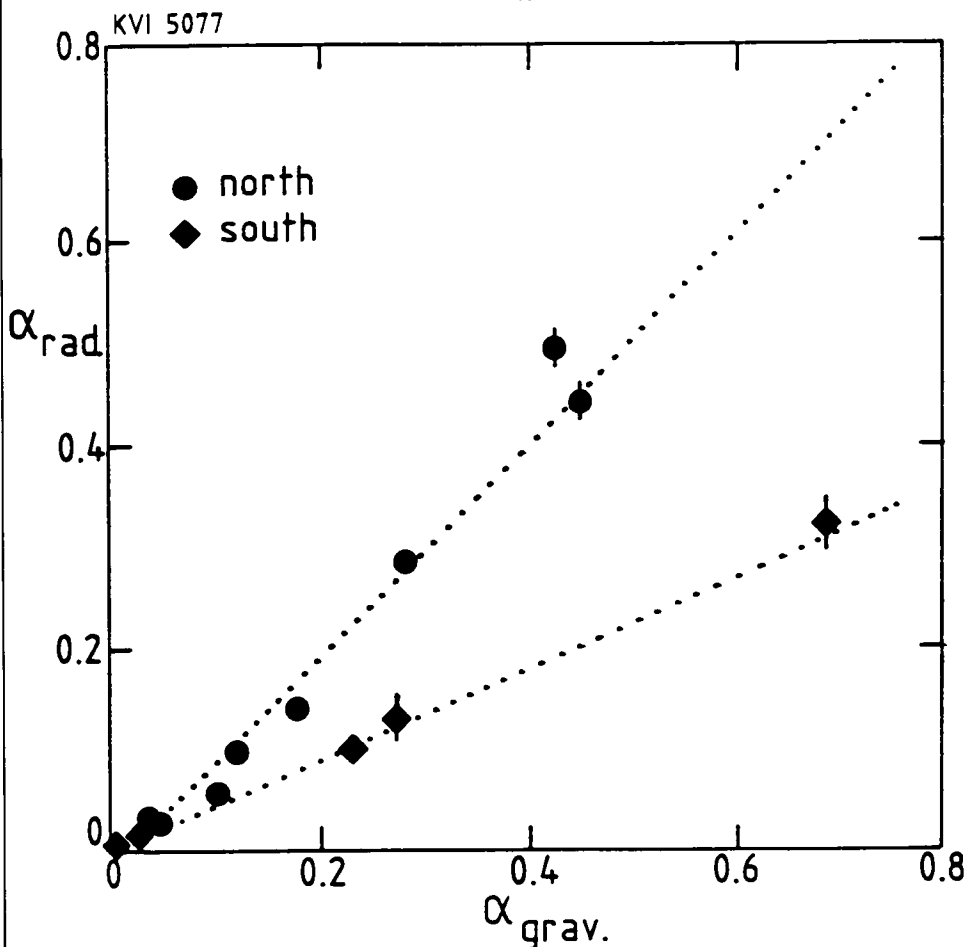
Omdat A_L zo'n honderd keer groter is dan A_Z is deze methode geschikt om bijmengingen van zware mineralen ter grootte van één tot enkele procenten te bepalen. Deze radiometrisch bepaalde waarde van α , aangeduid met α_{rad} kan worden vergeleken met de re-

sultaten van de gravimetrische methode, α_{grav} , gebaseerd op de scheiding met bromoform.

In figuur 2 zijn beide waarden van α tegen elkaar uitgezet waarbij opvalt dat er twee groepen van meetpunten zijn, nl. die waarvan de monsterneming ten noorden en die ten zuiden van het Marsdiep. Voor de goede orde zij daarbij vermeld dat het gaat om monsters strand- of duinzand. Uit de figuur blijkt dat de scheiding tussen de twee groepen heel scherp is: zand van de Noorderhaaks (Razende Bol) behoort tot het noordelijke gebied, dat van Huisduinen aan de zuidkant van de dijk bij Den Helder tot het zuidelijke. Uit de analyse volgt dat zuidelijk zand een ongeveer twee keer lagere activiteitsconcentratie heeft als het noordelijke zand. Uit een analyse van een monster zand uit Bergen, uitgevoerd op dezelfde manier als voor het monster van Texel (de Hors), blijkt dat dit verschil voor een deel is terug te voeren naar een verschil in zwaar-mineraalsamenstelling en voor een deel naar een lagere activiteitsconcentratie in de dominante zwaar-mineraalgroepen. Beide resultaten wijzen op verschil in herkomst. We kunnen ons dus aansluiten bij de eerdere conclusies over de herkomst: nl. dat de zuidelijke en noordelijke zanden verschillen in herkomst.

De zirkoonkristallen in het zware zand bevatten nog een aanwijzing omtrent de herkomst. Zoals in de inleiding reeds is opgemerkt heeft ^{238}U een kleine kans dat bij verval splijting in twee lichtere kernen optreedt. Bij dit proces krijgen de twee brokstukken een deel van de vrijkomende energie in de vorm van kinetische energie mee. De snelheid van deze brokstukken is zo groot dat het een spoor van vernieling in het kristalrooster teweeg brengt. Door de oppervlakken van individuele kristallen te polijsten en te etsen kan men onder een microscoop de sporendichtheid bepalen. Deze dichtheid is een maat voor het product van uraniumconcentratie en de tijd die is verstreken sinds de laatste keer dat het mineraal is uitgekristalliseerd (ouderdom). Door van de kristallen het uraniumgehalte te bepalen kan de ouderdom worden afgeleid.

Bij het Instituut voor Geologisch Onderzoek van de V.U. te Amsterdam zijn een aantal zirkoonkristallen uit het zand van Texel en Ameland op deze manier onderzocht. Hun ouderdom viel in een vrij nauw tijdsinterval van 225-275 Ma (1 Ma = 1 miljoen jaar). Deze ouderdom is veel jonger dan die van het Scandinavisch Plateau (900 Ma), maar stemt overeen met die van bijv. het Eertsgebergte. Betekent dit resultaat dat de zware mineralen, i.e. de



figuur 2: Vergelijking van de zwaar-mineraal massafracties bepaald met de gravimetrische methode, α_{grav} , en de radiometrische, α_{rad} , voor diverse strand- en duinzandmonsters. De aanduidingen noord (north) en zuid (south) hebben betrekking op de locatie t.o.v. het Marsdiep.

zirkonen uit het noordelijke zand met de Elbe zijn meegevoerd en door het ijs uit het Saalien naar het westen is gedwongen af te buigen? We willen deze hypothese in de zomer van 1990 verder testen.

4. Zandverplaatsingen in de kustzone

De winterstormen van 1990 hebben flinke stukken van de Nederlandse kust doen verdwijnen. Economische belangen (gebouwen en toerisme) en kustverdediging hebben Rijkswaterstaat genoopt tot ophoging van de stranden met zand uit zee (strandsuppletie). De maatregel is een tijdelijke, want over een aantal jaren zal deze dure operatie moeten worden herhaald. We hebben namelijk onvoldoende kennis om brongericht i.p.v. effectgericht dit probleem aan te pakken. Beter kennis omtrent zandtransport, zowel qua omvang als qua informatie over de condities waaronder het transport plaatsvindt zijn nodig om tot brongerichte maatregelen te komen. Onderzoek wordt gehinderd doordat metingen bijna uitsluitend onder kalme weersomstandigheden kunnen worden uitgevoerd en zandverplaatsingen zich voornamelijk onder hoog-energetische omstandigheden voordoen.

Zwaar-mineraalconcentraties zouden met radiometrische meetmethoden wellicht inzicht kunnen verschaffen in zandverplaatsingen. We denken hierbij dan aan een concentratiegebied dat als bronterm fungeert en waaruit door metingen van veranderingen van het stralingsniveau de verspreiding van de mineralen kan worden bepaald. Hierdoor hopen we na te gaan of zand voornamelijk door getijdestromen wordt verplaatst of dat zand transport wordt veroorzaakt door een samenspel van golven en stromingen tijdens stormweer.

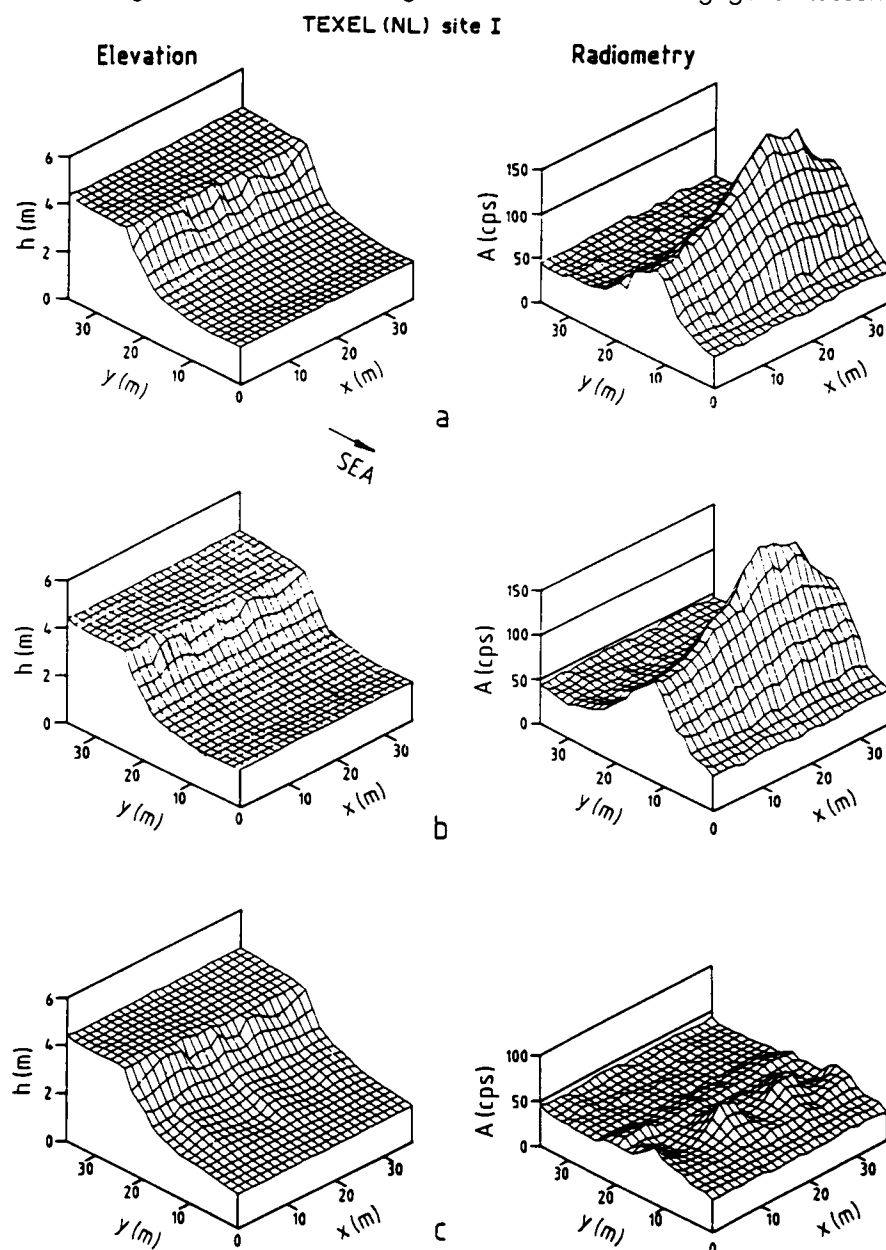
Omdat metingen op zee duur en tijdrovend zijn is een proefexperiment op het strand van Texel uitgevoerd. Hiertoe werden een viertal locaties gekozen, twee (A en B) met een oppervlakte van $20 \times 32 \text{ m}^2$, een (C) met een oppervlakte van $36 \times 36 \text{ m}^2$ en een (D) met een oppervlakte van $120 \times 200 \text{ m}^2$. Veld A en D zijn gelegen bij de zuidwest punt van Texel op een plek waar bij het begin van het onderzoek werd verwacht dat duinvorming zou plaatsvinden. Veld B gelegen bij paal 8.6 werd gekozen als zijnde het strand grenzend aan afkalvend duin. Veld C gelegen bij paal 22.3 werd gekozen op een plaats waar een deel van het suppletiezand door erosie was verdwenen. Het veld omvatte de steile afscheiding tussen de oorspronkelijke suppletie + 4.2 m N.A.P. en het nieuwe strand + 1.6 m N.A.P. De velden werden verdeeld in

roosters met roosterafstanden van 2 m in de velden A, B, C en 20 m in veld D. Naast radiometrische metingen met de Scintrex werd ook op elk roosterpunt de hoogte van het strand gemeten met een waterpasinstrument. Verder werden van ieder veld bij elke meting vier zandmonsters van ca. 1 kg genomen, ongeveer halverwege iedere buitenzijde van het veld. Loodrecht op de kust werd langs een van de zijden van elk veld een meting verricht aan het strandprofiel door tussen de waterlijnen ca. 100 m duinwaarts vanaf de grens van het veld om de 10 m zowel de telsnelheid van de Scintrex als de hoogte te meten. Metingen werden in de regel één maal per maand uitgevoerd.

De metingen aan veld A, B en C werden uitgevoerd tussen 8 juni 1988 en 21 januari 1990; de metingen aan veld D werden later gestart, juli 1989 en werden uitgevoerd om veranderingen

op grotere schaal te bestuderen. De analyse van de gegevens is nog niet afgerond. We beperken ons hier tot twee voorbeelden.

Figuur 3 laat de hoogte en radioactiviteitsroosters zien zoals die zijn gemeten in 1988 op 8 juni (boven), 29 juni (midden) en 27 juli (beneden). Uit figuur 3 blijkt duidelijk een 2 m hoge klif die de overgang aangeeft tussen strand en suppletie. Voor de klif bevindt zich op ca. 20 cm onder het oppervlak een afzetting van zware mineralen, zichtbaar als een rug in de radiometrische gegevens, vermoedelijk ontstaan door afslag tijdens een storm. In de metingen van 27 juli is op het strand door verstuiwing een 20-50 cm laag zand afgezet, die de straling van de mineralen absorbeert en waardoor de rug in de radiometrische data nauwelijks meer aanwezig is. In figuur 4 waar de verandering in hoogte en telsnelheid is weergegeven tussen 27



figuur 3: Vergelijking van de hoogte (Elevation) en de stralingsintensiteit (Radiometry) van proefveld C op het strand van Texel op 8 en 29 juni en 27 juli 1988.

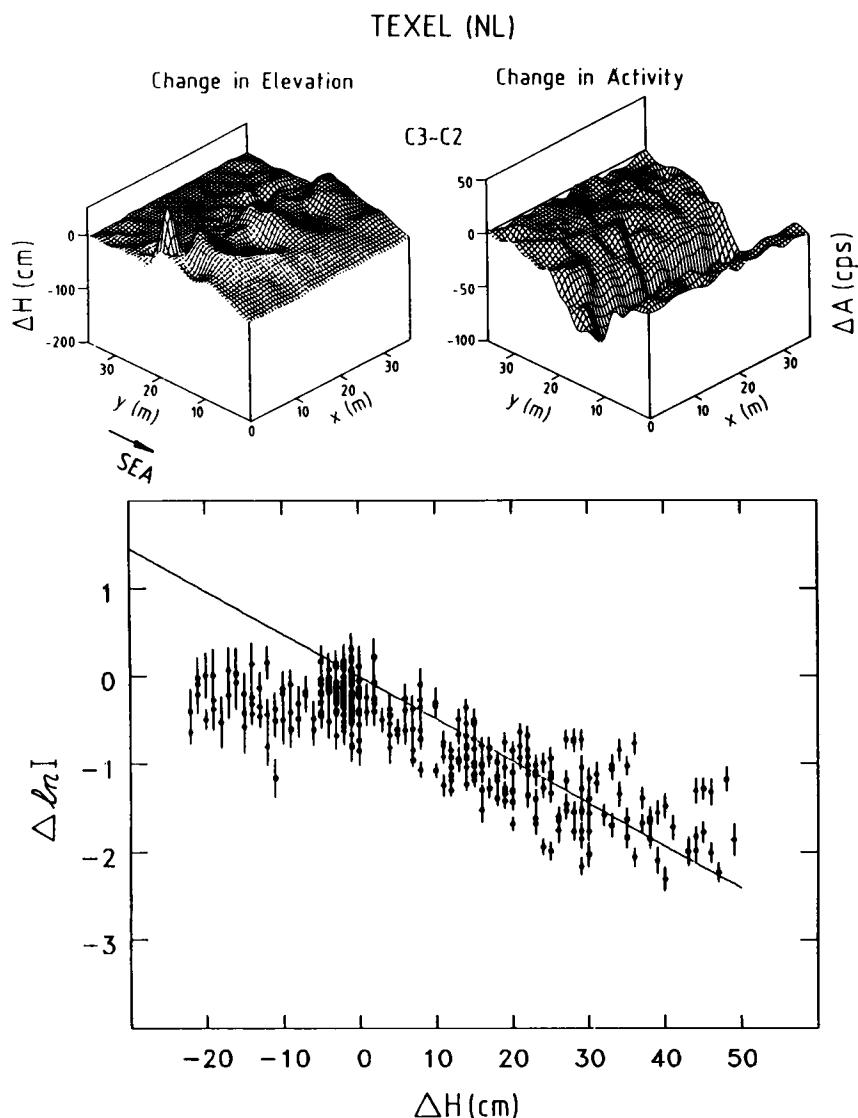
juli en 29 juni is duidelijk te zien dat deze verhoging samen gaat met een vermindering in telsnelheid.

In figuur 4 staat ook de verandering in de logaritme van de netto telsnelheid ($\Delta \ln I$) uitgezet tegen de verandering in hoogte.

Voor een beschrijving van het waarom en de details van de interpretatie van dit soort gegevens wordt verwezen naar Greenfield et al. (1989). De gegevens zijn consistent met de afzetting van lichte, zwak radioactieve mineralen die de straling van de onderliggende radioactieve laag absorbeert. Onder invloed van wind zijn hier selectief de lichte mineralen verplaatst.

De invloed van water blijkt uit gegevens verkregen voor veld A, vóór en na de storm van december 1988. De gegevens zijn in figuur 5 weergegeven als de verandering in hoogte en telsnelheid tussen 30 november en 7 december (boven) en als de verandering in de netto telsnelheid en hoogte (beneden). In het onderste deel van de figuur vormen de punten een driehoek. We delen deze punten ruwweg in in een horizontaal stuk $-60 < \Delta H < 5$ cm; $0 < \Delta \ln I < 0,5$; de rechterzijde $-60 < \Delta H < -20$ cm; $-1,5 < \Delta \ln I < 0$ en de linkerzijde $-150 < \Delta H < -100$ cm; $1,5 < \Delta \ln I < 0,5$. Uit het bovenste deel van de figuur valt op dat aan de uiterste duinkant ($x=30$ m) geen of nauwelijks een verandering in hoogte heeft plaatsgevonden en dat de intensiteit van de straling daar is vergroot. Dit gebied komt overeen met het horizontale stuk. In het gebied $10 < x < 25$ m is het strand zo'n 50 tot 100 cm verlaagd. In dit gebied is de intensiteit van de straling of afgenomen ($x \sim 10$ m) of verhoogd ($x \sim 20$ m). Dit gebied komt overeen met de linkerzijde van de 'driehoek'. Voor de punten met $x < 10$ m is zowel de hoogte van het strand als de intensiteit van de straling lager geworden.

Samen met de waterhoogte kunnen we deze gegevens als volgt interpreteren: het horizontale stuk van de driehoek heeft niet aan golfwerking blootgestaan; de verlaging van het strand is veroorzaakt door windtransport. Uit de verhoogde stralingsintensiteit kunnen we afleiden dat selectief de lichte mineralen zijn weggewaaid waardoor de concentratie van de zware mineralen is vergroot. In het middengebied van het veld is het strand door op- en aflopend water van golven (swash-back wash zone) verlaagd. In het laatste stuk van de uitlopende golf is de snelheidsverandering van het water het grootst. Hier treedt een selectie op van zware en lichte mineralen waarbij uit de stralingsintensiteit blijkt dat naarmate de snelheid lager wordt de lichte mineralen selectiever worden verwijderd. Het gebied met $x < 10$ m komt overeen met



figuur 4: Boven: Vergelijking van de verandering in hoogte (change in Elevation) en de verandering in stralingsintensiteit tussen 29 juni en 27 juli 1988 voor de gegevens in figuur 3. (change in activity) Onder: Dezelfde gegevens maar nu weergegeven als verandering van de logaritme van de netto telsnelheid van de gammadetector als functie van de verandering in de hoogte van het strand.

de turbulente zone waar de golven omslaan. Hier is de energie zo groot dat zowel lichte als zware mineralen worden afgevoerd naar dieper water. Deze interpretatie kon worden gemaakt door een samenloop van omstandigheden zoals het feit dat slechts de bovenste laag van veld A een hoge concentratie mineralen bevatte. De storm zwiepte het water op, zodat zowel brekende golven, uitlopende golven en 'droog' strand in het veld aanwezig waren. Verder was het belangrijk dat kort voor de storm gemeten was (toeval) en dat onmiddellijk na de storm de zee weer rustig werd.

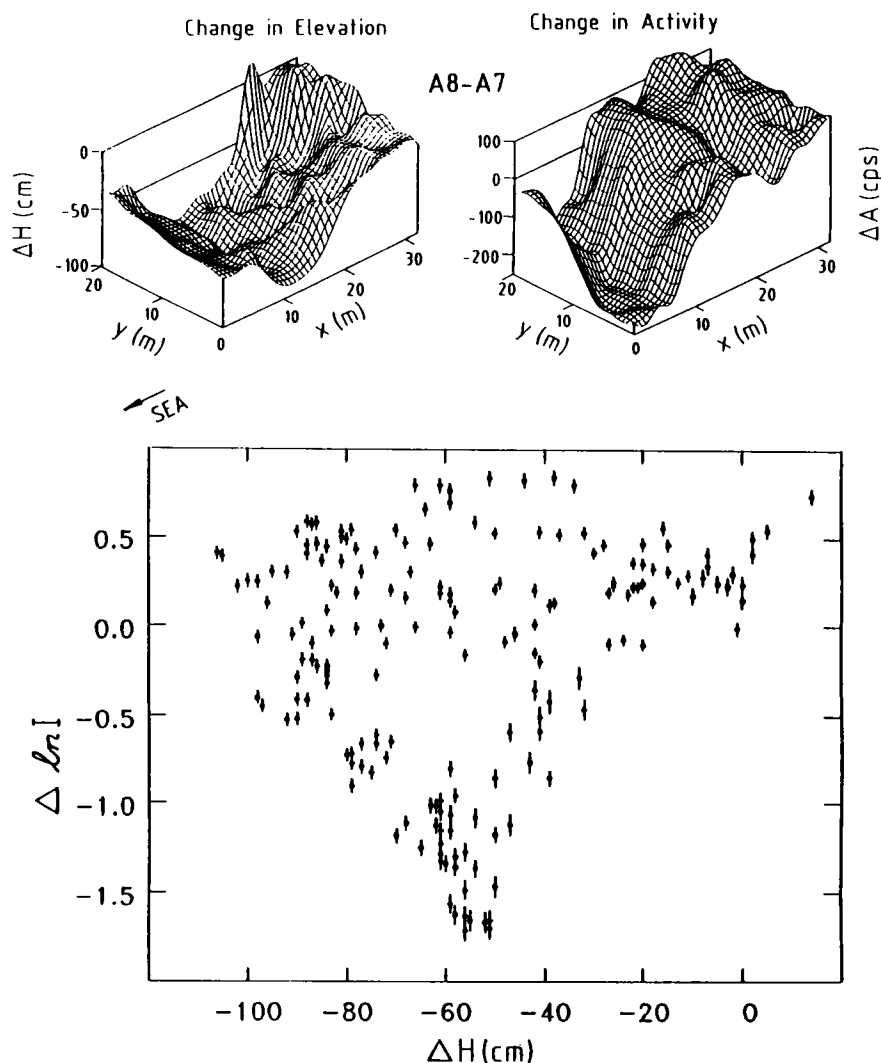
5. Ouderdom van strand- en duinafzetting

Hoewel we kristallen vaak voorstellen als een verzameling keurig gerangschikte atomen blijken in de praktijk onregelmatigheden in deze rangschikking voor te komen. Deze onregelmatigheden kunnen bijvoorbeeld het ge-

volg zijn van radioactief verval waarbij door terugstoot het atoom uit positie is gebracht. Voor de elektronenstructuur betekent dit dat er tussen de valentie- en de geleidingsband posities vrijkomen die door elektronen kunnen worden bezet (Engels: traps). Onder normale omstandigheden gebeurt dat niet maar als er ten gevolge van de afremming van straling elektronen in het kristal worden vrijgemaakt kunnen deze elektronen in zo'n 'trap' worden ingevangen.

Verhitting van de kristallen of blootstelling aan zonlicht leidt er toe dat deze 'traps' worden geleegd waarbij de elektronen onder uitzending van zichtbaar licht naar de valentieband terugvallen. Het proces van verhitting heet dan ook thermoluminescentie en wordt o.a. in de archeologie gebruikt om de ouderdom van aardewerk vast te stellen. Deze methode is normaliter slechts bruikbaar voor ouderdommen van enkele duizenden jaren en ouder. In Groningen zijn we thans bezig na te

TEXEL (NL)



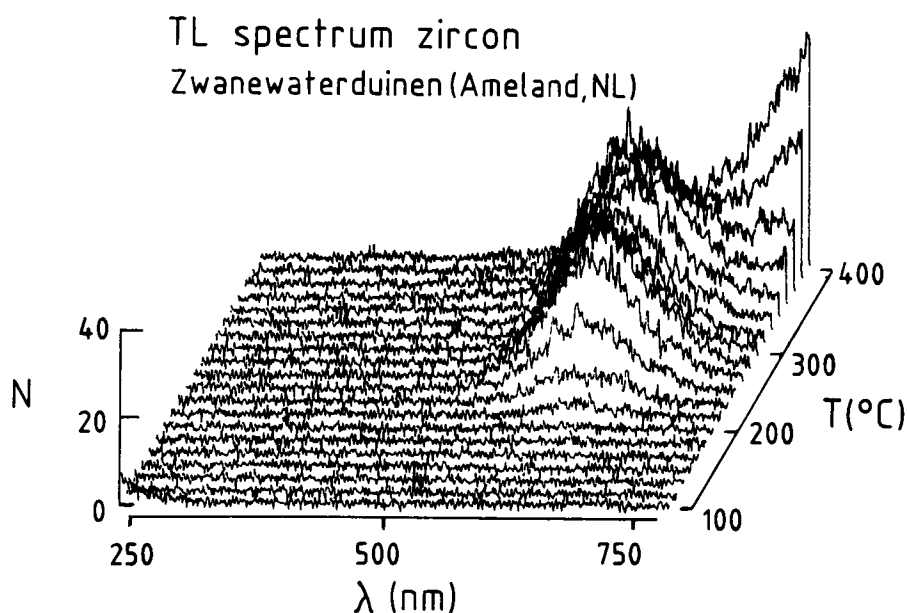
figuur 5: Boven: Vergelijking van de verandering in hoogte en de verandering in stralingsintensiteit tussen 7 december en 30 november 1988 voor het proefveld A op het strand van Texel. Onder: Dezelfde gegevens maar nu weergegeven als de verandering van de logaritme van de nettotelnelheid van de gammadetector als functie van de verandering van de hoogte van het strand.

gaan of we voor strand- en duin-afzetting deze methode kunnen verbeteren zodanig dat ouderdommen in de orde van 100 jaar kunnen worden bepaald. Hiertoe zijn enerzijds de signaalruisverhouding van bestaande apparatuur bij de vakgroep Vaste Stof Fysica met een factor 50.000 verbeterd en anderzijds denken we gebruik te kunnen maken van de relatief hoge concentratie aan uranium in zirkoonkristallen. Zirkoonkristallen hebben daarnaast de gunstige eigenschap transparant te zijn en dus weinig licht te absorberen. Door de insluiting van uranium in het kristalrooster van zirkoon, het feit dat bij het verval van uranium het merendeel van de stralingsenergie wordt uitgezonden met α -straling die praktisch geheel in het kristal wordt geabsorbeerd, lijkt zirkoon uit strand- en duinzand een goede kandidaat voor de bepaling van ouderdommen van afzettingen. Immers het zand zal voor duinvorming enige tijd op het strand aan zonlicht blootstaan waardoor de

'traps' worden geleegd. Nadat het zand in het duin is ondergestoven beginnen de 'traps' zich te vullen tot het moment van analyse. De intensiteit van de lichtopbrengst bij de thermoluminescentie zal een maat zijn voor de hoeveelheid straling waaraan het kristal sinds afdekking werd blootgesteld.

Deze hoeveelheid is evenredig met het uraniumgehalte en met de ouderdom van de afzetting. Het uraniumgehalte kan op eenvoudige manier worden bepaald en dus kan, na ijking, de ouderdom in principe worden afgeleid. In tegenstelling tot de datering van aardewerk waarbij de stralingsdosis nogal wat onzekerheden met zich meebrengt is bij de zirkoonkristallen de stralingsdosis goed af te leiden uit de uraniumconcentratie.

Hoewel nog niet alle problemen zijn opgelost, zijn de ontwikkelingen gunstig zoals blijkt uit de resultaten van een thermoluminescentiemeting aan zirkoonkristallen uit zand uit de Zwane-waterduinen van Ameland zoals die in figuur 6 zijn weergegeven. Uit de figuur blijkt dat het zirkoon tussen 200 en 400°C licht gaat uitzenden in het golflengtegebied tussen 530 en 730 nm. Boven de 375° wordt de intensiteit van het rode licht t.g.v. de verwarming dominant. Nadere bestudering leert dat er twee pieken optreden in het temperatuurverloop (265 en 340°C). De betekenis van deze, reproduceerbare, resultaten is thans nog niet helemaal duidelijk en vormt momenteel het onderwerp van verder onderzoek.



figuur 6: Lichtopbrengst van een monster zirkoonmineralen, gescheiden uit zand van de Zwane-waterduinen van Ameland, als functie van golflengte λ en temperatuur T.

Conclusies

Uit het voorgaande moge duidelijk zijn dat natuurlijke radioactiviteit in mineralen een schat van gegevens bevat die voor een deel met reeds bestaande methoden en apparatuur, deels met in ontwikkeling zijn de methoden inzicht geven in geologische en sedimentologische eigenschappen van onze kust. De grote gevoeligheid die optreedt bij de detectie van gammastraling stelt ons in staat op een interactieve wijze plaatsen op te sporen met een hoge concentratie aan zware mineralen. Zowel de aanwezigheid van deze verhoogde concentraties als de verspreiding vanuit deze gebieden bevat informatie over hoe en onder welke omstandigheden selectieve zandverplaatsingen optreden. Naar onze mening kunnen uit deze verplaatsingen aanwijzingen worden verkregen die wellicht leiden tot een betere kustverdediging. Daarnaast kunnen uitgebreidere gebieden met hoge concentraties economisch winbare hoeveelheden kostbare mineralen opleveren. Naast deze meer dynamische aspecten van het zand zijn er de statische aspecten van herkomst en ouderdom van afzetting. We staan aan het begin van een nieuwe ontwikkeling waarvan we hoge verwachtingen hebben. Onderzoek naar deze aspecten samen met de verbetering en ontwikkeling van meetmethoden zullen moeten laten zien of wij in staat zijn de informatie die in dit deel van de natuur ligt opgeslagen te begrijpen. De overeenkomst tussen deze informatie in zandkorrels en de DNA-informatie in levende cellen ligt voor de hand. Het zal duidelijk zijn dat daarvoor meer onderzoek en dus middelen nodig zijn. Binnen de financiële ruimte van onze groep is thans nauwelijks geld om dit onderzoek met de benodigde kracht en diepte aan te pakken. We hopen dat daar spoedig verandering in komt.

De onderzoeken die wij hebben mogen uitvoeren zijn van een multidisciplinair karakter. Zonder de intensieve samenwerking met het Instituut voor Aardwetenschappen te Utrecht (Prof.dr. R.D. Schuiling), Rijkswaterstaat (Dr. J. Wiersma, Ir. J.H. de Reus en vooral de dienstkringen Texel en Ameland) en de stimulerende interactie met mijn collega's Dr. L.W. Put (KVI), Prof.dr. J.F. Donoghue (FSU, Tallahassee, USA), Prof.dr. M.B. Greenfield (FAMU, Tallahassee, USA) en de studenten Renee van Roode, Hermen Lesscher en Thomas Hantke had dit overzicht niet geschreven kunnen worden.

Abstract

All natural materials are radioactive and radioactivity is a phenomenon as old as the earth. In this paper it is indicated how we think that radioactivity can be a tool to enhance our knowledge on topics like sand transport in coastal zones, provenance of sand, its age and the age of the sediment of which it is a part. This paper reviews the research by our group, carried out in collaboration with various research groups and agencies.

Adres auteur:
Kernfysisch Versneller Instituut (KVI)
Rijksuniversiteit Groningen
9747 AA Groningen

Literatuur

- Eisma, D., 1968: Composition, origin and distribution of Dutch coastal sands between Hoek van Holland and the island Vlieland. Thesis Univ. Groningen-en, zie ook Neth. J. Sea. Res., 4, 124-267.
- Greenfield, M.B., de Meijer, R.J., Put, L.W., Wiersma, J., & Donoghue, J.F., 1989: Monitoring beach sand transport by use of radiogenic heavy minerals. Nucl. Geophysics, 3, 231-244.
- Isbary, G., 1936: Das Inselgebiet von Ameland bis Rottumeroog. Archiv der Deutschen Seewarte, 56 (3), 55 p.
- Lesscher, H.M.E., 1989: Blown with the wind; radiometry of evolving beaches. KVI intern rapport, 157i.
- Meijer, R.J. de, Put, L.W., Schuiling, R.D., Wiersma, J., & de Reus, J.H., 1989: Natural radioactive heavy minerals in sediments along the Dutch coast. Proc. KNGMG Symp. Coastal Lowlands Geol. Geotech. (1987), 355-361, Kluwer Dordrecht.
- de Meijer, R.J. de, Lesscher, H.M.E., Schuiling, R.D., & Elburg, M.E., 1990: Estimate of the heavy-mineral content in sand and its provenance via radiometric means. Nucl. Geophysics in druk.
- van Roode, R.J.E. van, 1989: Thermoluminescence dating of young dune sediments. KVI intern rapport, 154i.
- Schuiling, R.D., de Meijer, R.J., Riezebos, H.J., & Scholten, M.J., 1985: Grain size distribution of different minerals in a sediment as a function of their specific density. Geol. Mijnbouw, 64, 199-203.
- Veenstra, H.J., & Winkelmolen, A.M., 1976: Size, shape and density sorting around two barrier islands along the north coast of Holland. Geol. Mijnbouw, 55, 87-104.
- Wasmund, E., 1938: Die Schwermineralagerstätten der deutschen Küsten. Geol. Rundsch., 29, 237-300.
- Zagwijn, W.H., 1974: The palaeogeographic evolution of The Netherlands during the Quaternary. Geol. Mijnbouw, 53, 369-385.

