

# Zand in beweging

## Het transport van zware mineralen voor de kust van Ameland

door Ronald Koomans

Het zand van de kust van Ameland heeft al menige GEA-donateur tot vervoering gebracht. Niet alleen door de uitgestrekte kustvlakte waar mooie sedimentaire structuren te vinden zijn, maar vooral door de grote concentratie en verscheidenheid van zware mineralen in het sediment (Stemvers - van Bommel, 1995; Stemvers - van Bommel, 1999).

De voornoemde Gea artikelen laten vooral zien dat op microscopische schaal het sediment van Ameland heel erg gevarieerd is. Dit artikel geeft een overzicht van de processen die ervoor zorgen dat grote hoeveelheden zware mineralen voor de kust van Ameland gevonden kunnen worden; het is een samenvatting van delen van mijn promotieonderzoek naar effecten van korrel dichtheid en korrelgrootte op het transport van zand in het kustgebied (Koomans, 2000).

### De kust

Zandige kusten hebben een grote aantrekkingskracht op de mens. Voor velen is het een plaats om vakantie te vieren, voor anderen is de kust een economisch belangrijke plaats of een mooie plaats om te wonen.

Als gevolg van een stijging van de zeespiegel en de plaatsing van infrastructuur werken in zee, treedt erosie op aan de kustlijn en worden vele stranden steeds kleiner. In het ergste geval kan de beschermende duinvoet verdwijnen. Er zijn voorbeelden van huizen en hotels die te dicht bij het strand zijn gebouwd en al in de golven zijn verdwenen of nu de kans lopen in de zee te verdwijnen. Om verlies van de kustlijn tegen te gaan wordt al lang gewerkt aan methoden om het land te beschermen tegen de oprukkende zee. In het verleden is dit gebeurd door "harde" structuren langs de kustlijn te plaatsen (bijvoorbeeld pieren en dijken), maar het blijkt dat deze ingrepen elders langs de kust grote gevolgen kunnen hebben. Daarom is men de laatste decennia tot het inzicht gekomen dat "zachte" oplossingen, zoals het opspuiten van zand op het strand of op de onderwateroever, veel effectiever zijn. Deze zandsuppleties hebben echter slechts een tijdelijk effect.

In Nederland wordt jaarlijks een aantal zandsuppleties uitgevoerd. Om het gedrag van de kustlijn beter te kunnen begrijpen en daarmee de effectiviteit van zandsuppleties te verbeteren, is kennis omtrent de sedimenttransport-processen in het kustgebied essentieel.

### Zand in vormen en variaties

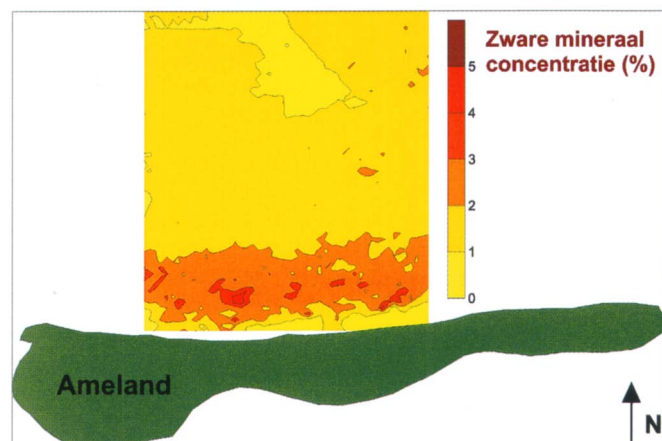
De sedimentsamenstelling langs de kust kan erg verschillen. Strandzand bestaat zelden uit één type sediment. De korrelgrootte kan variëren van klei tot grove keien. De dichtheid van het zand is zelden uniform en ook de vorm van de zandkorrels en ander materiaal op het strand kan erg verschillen. Door deze verschillen worden gelijke typen sediment vaak in groepen gesorteerd. Langs de hoogwaterlijn op het strand liggen bijvoorbeeld schoenen, schelpen en flessen dikwijls bij elkaar. Zand is een erosieproduct van gesteenten. Bij het afbreken van een gebergte worden grote rotsblokken vervoerd door ijs, wind en water en bij dit transport worden de gesteenten afgeslepen en opgebroken. Deze afbraakproducten worden door de Rijn

Nederland binnengebracht en zullen uiteindelijk in zee terechtkomen. De samenstelling van het gesteente bepaalt dus in grote mate de samenstelling van de zanden die de Nederlandse kust vormen. Deze gesteenten verschillen van ouderdom en zijn op verschillende manieren ontstaan, maar het merendeel van het gesteente bestaat uit kwarts. Een klein percentage van het materiaal bestaat uit kristallen die een grotere dichtheid dan kwarts hebben. Mineralen als zirkoon, monaziet, granaat en epidoot zijn voorbeelden van deze "zware mineralen".

Zware mineralen hebben vaak een donkere kleur en zijn daardoor als gekleurde strepen op het strand duidelijk zichtbaar. Op de Nederlandse stranden komen zware mineralen niet in grote hoeveelheden voor. Het was daarom ook verbazingwekkend dat in 1992 na een najaarsstorm een grote hoeveelheid zware mineralen op het strand van Ameland is afgezet. Om te bestuderen waar deze mineralen vandaan kwamen, is een meetsysteem ontwikkeld om de verspreiding van zware mineralen nauwkeurig te kunnen meten (de Meijer, 1998). Dit meetsysteem, MEDUSA geheten, is gebaseerd op de observatie dat de natuurlijke radioactiviteit (gammastraling) van zware mineralen vele malen groter is dan die van "lichte" zanden.

De aarde bevat sinds het ontstaan kleine hoeveelheden natuurlijke radioactiviteit. Door warmte die door deze radioactiviteit geproduceerd wordt, is het binnenste van de aarde gedeeltelijk vloeibaar en kunnen bijvoorbeeld vulkanen bestaan. Bij smelt- en stollingsprocessen in de aardkorst worden kleine concentraties radioactieve elementen geconcentreerd in met name zware mineralen. De intensiteit van de gammastraling in zware mineralen is heel erg laag, maar de gevoelige apparatuur die in het MEDUSA systeem gebruikt is maakt het mogelijk deze verschillen te meten. De gemeten intensiteit van de gammastraling is een maat voor de concentratie zware mineralen.

Het MEDUSA meetsysteem is verpakt in een langwerpige buis, die over de (onderwater) bodem gesleept wordt. Tijdens het slepen wordt continu de gammastraling gemeten en zo ontstaat een beeld van de radioactiviteitsverdeling van de bodem. Deze gegevens kunnen vervolgens "vertaald" worden naar de concentratie zware mineralen in het zand.



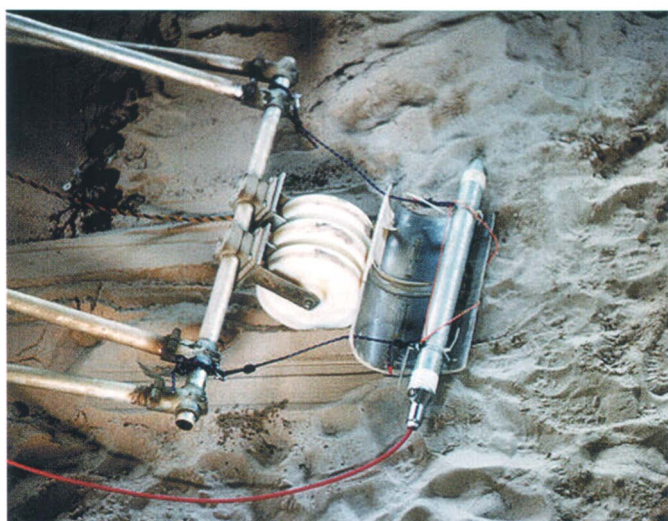
Figuur 1: Zware-mineraalverdeling voor de kust van Ameland.

## Wat zien we op zee?

Metingen met MEDUSA voor de kust van Ameland (Figuur 1) laten zien, dat niet alleen op het strand maar ook onder water zware mineralen worden geconcentreerd. Deze concentraties beperken zich tot twee locaties: in de brandingszone, even landwaarts van de brekerbank en in een gebied in dieper water. Om te begrijpen door welke transportprocessen deze zware mineralen worden geselecteerd (selectief transport processen) en om een beeld te krijgen van het belang van deze selectief transport processen voor de bescherming van de kustlijn zijn een aantal experimenten uitgevoerd. In een voorgaand onderzoek (Tánczos, 1996) naar het selectief transport van deze mineralen is gezien, dat een natuurlijk mengsel van zware en lichte mineralen wordt gesorteerd als golven het sediment bewegen. Deze metingen lieten ook zien dat het transport van het lichte zand kleiner werd doordat de zware mineralen als een soort pleisterlaag over het lichtere zand heen ligt. Deze resultaten geven een beeld op kleine schaal, maar vertellen weinig over de verdeling langs de gehele kust.

## Krassend en stralend zand

Om het selectief transport van zand goed te kunnen beschrijven, zijn precieze meetmethoden nodig. Traditioneel wordt dit onderzoek gedaan door monsters te nemen van de waterbodem. Dit heeft als nadeel dat de bodem wordt verstoord en om een gedetailleerd beeld te krijgen zijn veel monsters nodig. Aangezien het nemen van monsters een tijdrovende en kostbare aangelegenheid is, kan een gedetailleerd beeld vaak niet worden verkregen. Daarom zijn een aantal meettechnieken om de samenstelling van sediment *in situ*, dat wil zeggen onverstoord ter plaatse, te kunnen bepalen ontwikkeld en verbeterd. De zware-mineraalconcentratie in het sediment is nauwkeurig bepaald door de natuurlijke radioactiviteit te meten met het



Figuur 2: Het Medusa systeem in de meetopstelling in de grote golfgoot in Duitsland.

MEDUSA systeem. Figuur 2. Tot op heden was er nog geen techniek om de korrelgrootte van het sediment *in situ* gedetailleerd te bepalen. Het onderzoek laat echter zien dat niet alleen zware en lichte mineralen verschillen in natuurlijke radioactiviteit, maar dat de gammastraling ook van de korrelgrootte afhangt. Deze relatie is gebruikt om het met MEDUSA gemeten signaal te vertalen naar de gemiddelde korrelgrootte van het sediment. Een andere methode om de korrelgrootte te bepalen berust op metingen van wrijvingsgeluid; dit geluid wordt gegenereerd als de MEDUSA detector over de bodem sleept en is vergelijkbaar met het geluid dat men hoort als schuurpapier over een voor-

werp wordt gehaald. De metingen laten zien dat de geluidsterkte lineair toeneemt met toenemende korrelgrootte van het sediment. Met deze technieken om de korrelgrootte en het zware-mineraalgehalte onder water in kaart te brengen, kan gedetailleerd onderzoek worden gedaan naar de verdeling van verschillende soorten sediment op de waterbodem.

## Verdeling van zand dwars op de kust

Om de sedimentverdeling voor de kust van Ameland beter te begrijpen zijn drie experimenten uitgevoerd. In elk experiment is de nadruk gelegd op een ander aspect van zandtransport in de kustzone.

In het eerste experiment in de Scheldegoot (Figuur 3) is gekeken naar het selectief transport van zware mineralen op het ondiepe deel van een kustprofiel. Hiervoor is in een golfgoot een schuin bed van uniform kwartzand neergelegd. Daarna zijn 30 uur lang golven opgewekt door een golfmachine. Deze golven hebben vervolgens het profiel vervormd en het zand over het profiel verdeeld. Na dit experiment is het profiel opnieuw vlak gemaakt en afgedekt met een mengsel van kwarts en *zirkoon*, een bepaald type zwaar mineraal. Ook op dit profiel zijn golven gebruikt om het zand te verplaatsen. In deze experimenten worden de zware mineralen in de brandingszone geconcentreerd teruggevonden. In de literatuur wordt vaak beweerd dat deze concentratie

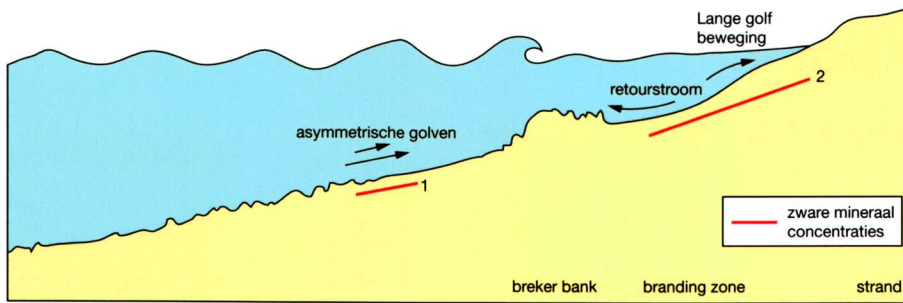


Figuur 3: Meetopstelling in de Scheldegoot.

plaatsvindt doordat de lichte zanden wegspoelen en de zware zanden passief achterblijven. De nauwkeurige metingen met MEDUSA laten zien dat de zware mineralen ook actief worden verplaatst. Een deel van de zware mineralen wordt zeewaarts getransporteerd, net zoals de lichte zanden. Vlakbij de kust “bewegen” de zware mineralen landwaarts tegengesteld aan het lichte zand (zie Figuur 5). De meetresultaten duiden erop dat het landwaarts transport het gevolg is van lange golven.

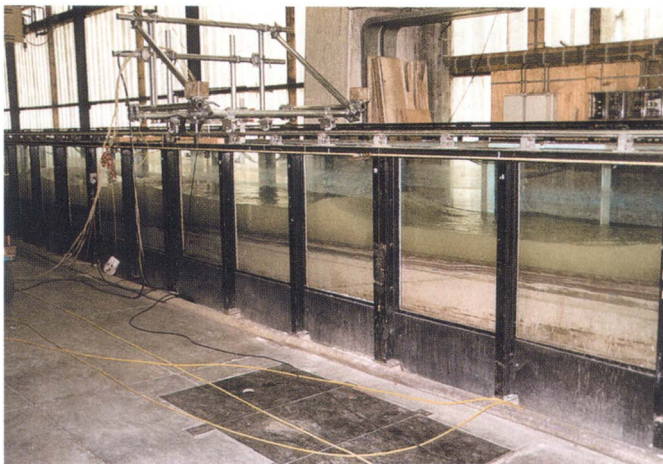
Deze processen kunnen verklaren hoe tijdens en vlak na de storm in 1992, grote concentraties zware mineralen naar het strand gespoeld zijn door de lange golven. Om het effect van de zware mineralen op de sedimenttransport-snelheden te bepalen, zijn de experimenten met uniform kwartzand en met het zandmengsel vergeleken. Deze vergelijking laat zien dat het zand zich anders gedraagt dan verwacht. In het gebied dicht bij het strand is het transport van het lichte zand kleiner dan verwacht, in het gebied vlak naast de brekerbank zijn de transportsnelheden van het lichte zand in het mengsel groter dan verwacht wordt volgens bestaande modellen.

De experimenten in de Scheldegoot zijn uitgevoerd met een onnatuurlijk grote concentratie zware mineralen in het sediment en met een gelijke korrelgrootte voor lichte en zware mineralen. In de natuur zal het sediment uit een mix met verschillende korrelgroottes bestaan; verder is de concentratie zware minera-



Figuur 5: Zware-mineraalverdeling en sediment-transport voor de kust.

len in het algemeen ook veel lager. Om een natuurlijk mengsel van sedimenten te bestuderen zijn experimenten uitgevoerd in een golfgoet in Hannover, Duitsland (Figuur 4). Evenals in de experimenten in de Scheldegoet is hierin een kunstmatig kustprofiel aangebracht en zijn er met een golfmachine golven opgewekt om het sediment te verplaatsen. Tussen de experimenten door is er steeds gemeten met het MEDUSA systeem. De korrelgrootte van het sediment is gemeten met behulp van de natuurlijke radioactiviteit en het wrijvingsgeluid; het zware mineraal gehalte is weer bepaald met behulp van de natuurlijke radioactiviteit. Deze experimenten laten zien dat ook bij heel kleine zware-mineraalconcentraties sorteringprocessen plaatsvinden. Deze zware-mineraalfractie wordt geconcentreerd op een diepte die overeenkomt met de diepste locatie in de metingen voor de kust van Ameland. De omvang van het sedimenttransport wordt tijdens het experiment steeds kleiner omdat het kustprofiel aan de golfwerking wordt aangepast. De korrelgrootte van het sediment blijft echter continu veranderen. Kennelijk betekent een evenwicht in bodemhoogte ("morfologisch evenwicht") niet dat sortering opgehouden is. Bij het bepalen van de bodemhoogte en de samenstelling van het sediment is het dus noodzakelijk om deze gegevens gelijktijdig te meten. Deze informatie is van belang bij het monitoren van de kust en kan helpen bij verbetering van de planning van projecten waar de kust in kaart wordt gebracht.



Figuur 4: De "kust" tijdens een experiment in de grote golfgoet in Duitsland.

De resultaten van het experiment in de grote golfgoet in Duitsland laten duidelijk zien dat de zware mineralen in een gebied zeewaarts van de buitenste brekerbank worden gesorteerd. In dit gebied spelen bijzondere stromingsprocessen een rol, die het gevolg zijn van een vormverandering van de golven. Golven worden gevormd doordat de wind het water beroert; zij zorgen voor een heen en weer gaande waterbeweging. Op open zee zijn deze golven symmetrisch, dat wil zeggen dat de stroming in de richting van de top van de golf even groot is als de stroming in de richting van het dal van de golf. Juist in het gebied net zeewaarts van de brekerbank beginnen de golven de bodem te "voelen". Hierdoor worden de stroomsnelheden beïnvloed. De landwaarts gerichte stroming neemt toe in kracht maar krijgt

een kortere tijdsduur, de zeewaarts gerichte stroming neemt af in sterkte maar gaat langer duren: de op en neer gaande beweging wordt asymmetrisch (gebied 1 in Figuur 5). Als gevolg van dit proces kunnen zandkorrels worden gesorteerd.

Om dit effect gedetailleerder te bestuderen, zijn experimenten uitgevoerd in een oscillerende watergoot (LOWT). De LOWT bestaat uit een van boven afgedichte bak met water, waar met realistische snelheden water op en neer kan worden bewogen. In deze opstelling is weer de concentratie zware mineralen gevarieerd, maar is de korrelgrootte van het zand gelijk gehouden. De metingen tonen aan dat de zware mineralen langzamer in de richting van de kust bewegen dan het kwartszand. Als gevolg van dit proces zullen de zware mineralen op een kustprofiel aan de zee kant van dit gebied geconcentreerd worden. Dit proces zien we ook terug in de metingen in de grote golfgoet in Duitsland. De sediment-transportnelheden van de zware mineralen en het kwartsdeel van het zandmengsel zijn vergeleken met de sediment-transportnelheden van puur kwartszand. Deze vergelijking geeft aan dat het transport van het kwarts kleiner is dan verwacht op basis van algemene modellen en toevoeging van zware mineralen aan het sediment leidt in dit geval tot een verandering van de erosie.

## Praktische toepassingen

Zoals al beschreven is, leveren deze resultaten kennis op die nodig is om het transport in de kustzone beter te kunnen beschrijven. Een deel van deze kennis kan gebruikt worden voor directe toepassingen. Voor een langdurige en efficiënte bescherming van de kustlijn zijn methoden nodig om de efficiëntie van zandsuppleties te verbeteren. De resultaten laten zien dat de keuze van het suppletiemateriaal hiervoor van groot belang is. Als de mogelijkheid bestaat om sediment te gebruiken waarin verhoogde concentraties zware mineralen voorkomen, zal het materiaal minder snel wegspoelen. Als gevolg van extra processen zoals die in de experimenten zijn gezien, zal het effect echter groter zijn dan men in eerste instantie zou verwachten en zal minder kust worden weggeslagen. De verbeterde analysetechnieken voor de bepaling van het zware-mineraalgehalte en het nieuwe instrument om de korrelgrootte met behulp van geluid te bepalen, kunnen helpen om het juiste zand uit te zoeken. Deze ontwikkelingen brengen het duurzaam beheer van de kustzone weer een stapje dichterbij, zodat de kust aantrekkelijk blijft voor velen. Niet alleen voor recreatie, maar ook voor grondige studies naar het voorkomen en de sortering van verschillende soorten zand.

## Referenties

- de Meijer, R. J. (1998) *Heavy minerals: from "Edelstein" to Einstein*. Journal of Geochemical Exploration, **62**(1-3), pp. 81-103.
- Koomans, R. L. (2000) *Sand in motion: effects of density and grain size*. Proefschrift, RuG, Groningen, ISBN 90-367-1338-2.
- Stemvers - van Bommel, J. (1995) *Het donkere zand van Ameland*. Gea, **3**, pp. 95-102.
- Stemvers - van Bommel, J. (1999) *De herkenning van zandmineralen; de zware mineralen van het Zand van Ameland optisch bekeken*. Gea, **2**, pp. 48-52.
- Tánczos, I. C. (1996) *Selective transport phenomena in coastal sands*. Proefschrift, RuG, Groningen, ISBN 90-367-0669-6.

Meer informatie over het MEDUSA systeem kunt u vinden op: [www.MEDUSA-online.com](http://www.MEDUSA-online.com)