

DE DUINEN VAN DE WADDENEILANDEN GEOLOGISCH BEKEKEN

Hemmo Veenstra

Duinen worden in dit blad meestal bekeken vanuit een ecologisch oogpunt. Maar er zijn natuurlijk ook andere invalshoeken mogelijk. Dit artikel behandelt de duinen vanuit een geologisch standpunt: uit welke materialen is het zand van de duinen opgebouwd en waar komen deze materialen vandaan? Kunnen deze materialen bovendien iets vertellen over het ontstaan van de duinen op de Waddeneilanden?

Onze duinen zijn opgebouwd uit zand. De geoloog verstaat onder zand materiaal met een korrelgrootte (diameter) van 0.05 - 2.00 mm. Zand kan bestaan uit mineraalkorrels, zoals in Nederland het geval is, maar er bestaan ook schelpzanden, die uitsluitend uit schelpfragmenten zijn opgebouwd (onder andere voorkomend aan de westkust van Ierland) en koraalzanden, die ontstaan als afbraakproduct van koraalriffen in de tropen. Bij de Waddeneilanden is er een nauw verband tussen het zand van de duinen en dat van het strand en de zeebodem. Men kan dat zelf bij harde wind gemakkelijk constateren als het zand in banen over het strand stuift. Al naar gelang de windrichting worden de zandkorrels naar de duinen toe, van de duinen af of evenwijdig aan de duinen over het strand voortgejaagd totdat ze op hindernissen of water stuiten.

Waar komt het zand van duinen en strand in het Waddengebied vandaan? In ieder geval niet uit de rivieren van het achterland, zoals Lauwers of Ems, want dan zouden zich in deze rivieren ook reusachtige zandbanken hebben ontwikkeld. Dat is niet het geval en de conclusie is dus dat het materiaal van de zeebodem komt. Dan rijst de vraag waar het materiaal van de zeebodem vandaan komt. Om dit vraagstuk op te lossen zullen we de zanden van zeebodem, strand en duin qua samenstelling nader bekijken.

Herkomst

Hoewel we in Nederland gewend zijn aan 'de blanke top der duinen' en 'goudgele stranden', is het goed om zich te realiseren dat ook andere kleuren van stranden en duinen veelvuldig op aarde voorkomen. De kleur van de zanden wordt bepaald door de samenstelling ervan: veelal zijn dit mineralen (van nature voorkomende chemische verbindingen, meestal in kristalvorm). Zo komen witte gipsduinen voor aan de Arabische Golf en zijn bruine of rode (ijzer!) duinen elders op aarde niet zeldzaam. Voor de stranden

geldt hetzelfde, maar hier vormen de zogenaamde 'zwarte zanden' een bijzonder geval. Op IJsland en Stromboli bestaan ze grotendeels uit deeltjes vulkanisch glas, maar het zwarte strand van Travancore (India) bestaat vooral uit zware mineralen, afbraakproducten van nabijgelegen granietgebieden.

Ten gevolge van het op grote schaal zoeken naar aardolie nam de interesse voor sedimenten (afzettingsgesteenten) in de dertigerjaren sterk toe. Daarmee raakte ook de studie van zware mineralen (soortelijk gewicht 2,9) in de belangstelling, omdat men via de analyse hiervan de herkomst van het onderzochte sediment dacht te kunnen bepalen. Deze verwachting is niet geheel uitgekomen, omdat al gauw bleek dat er veelal meer dan één bron van herkomst was.

Uit het onderzoek bleek dat de Nederlandse duin- en strandzanden behoren tot de kwartzanden; ze bestaan voor 90% uit kwarts (SiO_2), voor 9% uit veldspaat en voor 1% uit zware mineralen (o.a. 1,2,3,5,6).

De meest voorkomende zware mineralen in de zeebodem en de strand- en duinzanden van de Waddeneilanden zijn granaat, epidoot en hoornblende. Als gemiddelde samenstelling van de zware mineralenfractie uit de strand- en duinzanden kan gelden: granaat 35%, epidoot 29%, hoornblende 14% en overige doorschijnende zware mineralen 22%. Van de zware fractie maken de opake (d.w.z. ondoorzichtige) korrels 20% uit. Opvallend in de zware mineralen is bovendien het mineraal saussuriet, een verweringsmineraal van epidoot. Het percentage saussuriet kan bij de Waddeneilanden wel 15% bedragen. Dit mineraal komt echter alleen in Rijnzanden voor (1). Voor Rijnzand bij Wageningen geeft Van Andel als samenstelling granaat 34%, epidoot 19%, hoornblende 13% en overige zware mineralen 34%, waarvan 10% saussuriet. Analyses van keileem (grondmorene uit de IJstijd) uit de Noordoostpolder gaven de volgende samenstelling: granaat 26%, epidoot 25%, hoornblende 20% en overige zware mineralen 29% (17). De zware fractie bevatte 23% opake korrels.

Uit de voorgaande beschouwingen kunnen we dus konkluderen dat er voor de zanden van de Waddeneilanden niet één bepaald herkomstgebied valt aan te wijzen. Zowel de Rijnzanden als de grondmorene hebben immers dezelfde zware

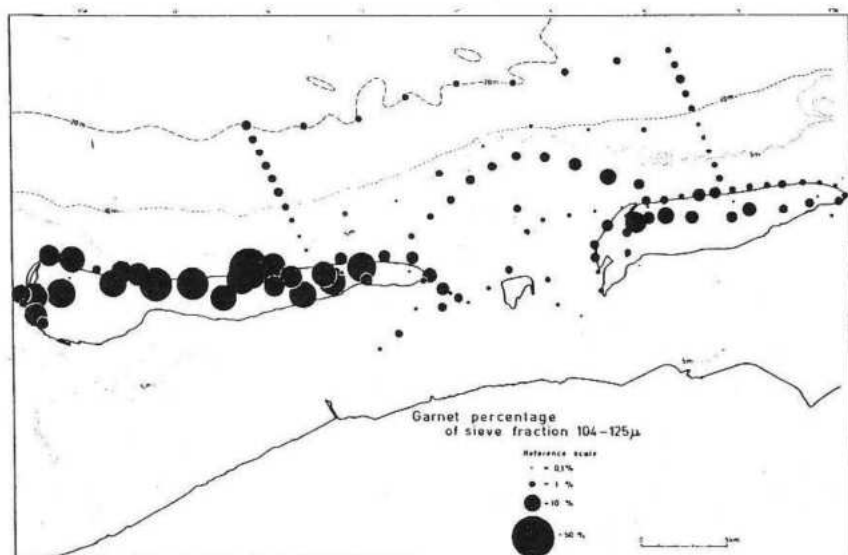


Fig. 1. Granaatpercentages in de korrelgroottefractie 104-125 µm van strand- en duinzanden van Ameland en Schiermonnikoog. Let op het verschil tussen beide eilanden.

mineralen associatie: granaat-epidoot-hoornblende. Geologisch gezien valt dit ook wel te begrijpen, want het zijn soortgelijke metamorfe gesteenten in de Alpen en in Scandinavië, die de zware mineralen hebben geleverd. De oogst van mineralen in de duinzanden is dus erg mager; rode veldspaten kunnen op een noordelijke herkomst duiden, terwijl saussurietkorrels op een vroegere aanvoer uit het Rijngebied wijzen.

Eigenschappen van het zand

Na de bovenstaande mineralogische beschouwingen zullen we nu onze aandacht richten op hardheid, splijtbaarheid, afronding en vorm van de zandkorrels en op de korrelgrootteverdeling van de zanden om te zien of dit nieuwe gegevens voor het ontstaan van de duinen kan opleveren. De **hardheid** van de verschillende zandkorrels is zeer verschillend en is een maat voor de natuurlijke verwerking van de korrels. Onder de meest voorkomende mineralen in de duinzanden is kwarts het hardst, gevolgd door granaat, veldspaat, hoornblende en muscoviet. De splijtvlakken van de mineralen kunnen voor een verkleining van de korrels zorgen als er krachtige druk op wordt uitgeoefend. Dit proces zal kunnen optreden in snelstromende bergstromen, waarin naast fijn materiaal ook grote stenen worden vervoerd. Veldspaten, hoornblendes en glimmers (waaronder muscoviet) hebben een uitstekende splijting. Kwarts en granaat zijn zeer resistente mineralen omdat ze geen natuurlijke splijtvlakken bezitten. We noemen de laatste twee mineralendoorlopers omdat ze verscheidene sedimentatiecycli kunnen meemaken zonder wezenlijk te worden verkleind. Zo'n sedimentatiecyclus kan bijvoorbeeld bestaan uit de afbraak van een graniet, vervolgens het transport van het materiaal door rivieren en tenslotte afzetting van het materiaal in een delta. In een volgende sedimentatiecyclus kunnen de delta-afzettingen tot een zandsteen worden gevormd die tenslotte ook weer door rivieren wordt aangetaast, waarna afzetting in een bekken volgt en er woestijnafzettingen worden gevormd, die tenslotte weer een nieuwe zandsteen maken.

De vorm van een korrel geeft de mate van **afronding** weer. Een slecht afgeronde korrel kan echter goed rolbaar zijn en een goed afgeronde korrel slecht rolbaar. De vorming van de zandkorrels zal in het algemeen meer dan 200 miljoen jaar geleden hebben plaatsgevonden want er zijn kwartskorrels gevonden met restjes Buntsandstein (Trias) er aan vast. We kunnen rustig veronderstellen dat de meerderheid van de zandkorrels van de Waddeneilanden reeds een drietal sedimentatiecycli achter de rug had, bijv. in de Jura, Krijt en Tertiair, voordat ze in het Noordzeebekken werden afgezet (fig. 1). Gezien de lange en afwisselende levensloop van zandkorrels wekte het bij de geologen geen verbazing toen bleek dat

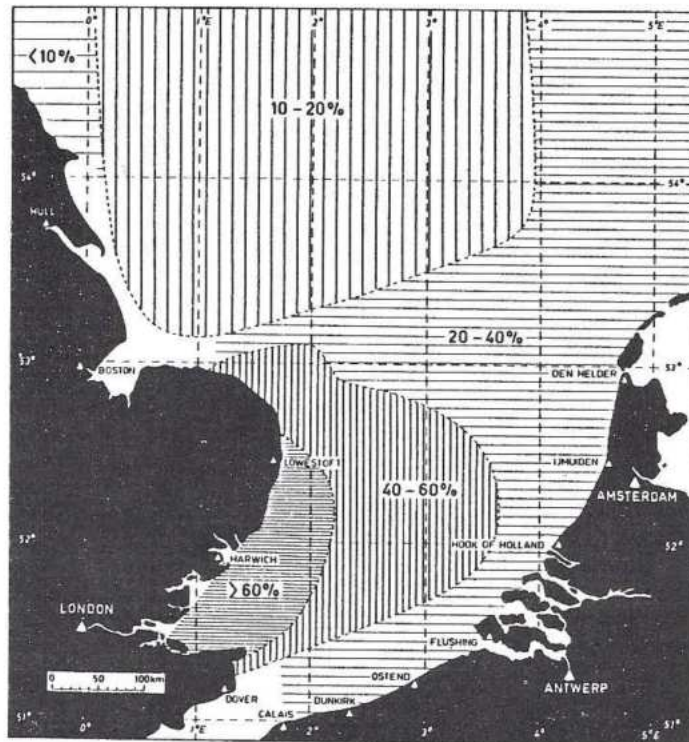


Fig.2. Percentage glanzende kwartskorrels in het zand van de Noordzeebodem (volgens 4).

langs onze kust 30% van de zandkorrels is afgerond (4). Over de oorzaken van de afronding zijn tot op heden tussen de geologen nog aanzienlijke meningsverschillen (fig. 2). Er zijn allerlei mogelijke verklaringen voor de afronding van het zand geopperd, die hierna achtereenvolgens zullen worden besproken.

1. De zeebodem

Het is bekend dat de werking van golven op zee in de regel niet dieper dan 10 m gaat, zodat hierdoor in ondiepe zeeën, zoals de Noordzee, geen zand wordt beïnvloed. Bij zware storm kan de golfwerking echter tot 40 m waterdiepte gaan en dan kan fijn zand worden verplaatst. Door sterke stromingen, zoals getijstromen, kan zelfs plaatselijk grind worden verplaatst. Toch zal, als we een groot zeegebied beschouwen, het meeste sediment op de zeebodem in rust verkeeren, zodat mechanische afronding in zee onwaarschijnlijk is.

2. De branding

Om de werking van de branding op de stenen van grindstranden na te bootsen voerde Kuenen in Groningen verschillende proeven in een kantelgoot uit (11). Hieruit bleek dat de afronding van harde gesteenten, zoals kwartsiet en vuursteen, op grindstranden een langdurig proces is van soms wel enkele eeuwen. Tijdens deze proeven werd het bijgemengde zand niet meetbaar afgerond zodat de conclusie is dat de werking van de branding geen afronding van zandkorrels kan veroorzaken.

3. Het strand

Op het strand gaan in de bovenste zandlaagjes de korrels een paar keer per dag

enkele meters heen en weer. Elke dag echter bestaan de bovenste actieve laagjes weer uit andere korrels. Gezien het negatieve resultaat van de branding lijkt afronding op het veelrustiger strand zeer onwaarschijnlijk. Bovendien bleek er geen verschil in afronding te zijn tussen zandkorrels in de brandingszone en van het strand (16).

4. Rivieren

Proeven (9) met een cirkelvormige stroomgoot, waarin het water door schoepen werd voortbewogen, hadden als resultaat dat kwartszand 1% gewichtsverlies vertoonde na 10.000 km transport. Er zijn echter geen rivieren bekend met een ononderbroken zandtransport over trajecten langer dan 1000 km en zodoende lijkt de mechanische afronding van zand door rivieren onwaarschijnlijk. Wel lijkt het mogelijk dat in met kiezelzuur verzadigde rivieren kwartskorrels iets zouden kunnen aangroeien. De Nederlandse rivierzanden van Maas en Rijn zijn slecht afgerond en vormen het ruwe zogenaamd scherpszand voor de bouwwereld.

5. Estuaria

Het zou kunnen dat in estuaria, zoals de Zeeuwse stromen voor de afdamming, zandkorrels twee maal per dag door de sterke getijstromen 300 m heen en 200 m terug werden vervoerd. Per jaar zou dat ruim 300 km zijn en in 50 jaar (geologisch gezien zeer kort!) zou er dan toch een riviertransport over 15.000 km optreden en er afronding kunnen ontstaan. Estuaria zijn echter op aarde kwantitatief niet belangrijk en ze kunnen dus niet de hoofdbron voor de afronding van zand vormen.

6. Woestijnen

Proeven met kwartzand in een windtunnel toonden aan dat bij korrels groter dan 0,1 mm de afronding over dezelfde afstand als in de bovengenoemde stroomgoot 100 tot 1000 maal zo sterk was (10). Er zou dus in zandwoestijnen afronding kunnen optreden. De kwestie wordt echter gecompliceerder doordat in woestijnen een groot deel van de afgeronde korrels een mat oppervlak vertoont (fig. 3). Deze mattering zou dan een gevolg zijn van de zandstraalwerking van de korrels op elkander. Kuenen en Perdok hebben echter aannemelijk kunnen maken dat de mattering een chemisch proces is, aangezien ook putjes in de korrels geheel gematteerd zijn (12). Vermoedelijk wordt de mattering van de zandkorrels in de woestijn veroorzaakt door een combinatie van de sterke dauw en de felle zonnestraling.

7. De duinen

Wat voor zandwoestijnen geldt, zou ook voor de duinen kunnen gelden. Volgens vele geologie leerboeken zouden de zandkorrels in woestijnen en duinen door windwerking sterk afronden en ten dele een mat uiterlijk krijgen. Aangezien dit proces voor de woestijn al sterk moet worden betwijfeld en de duinen slechts enkele eeuwen op dezelfde plaats liggen, terwijl we in woestijnen processen kunnen verwachten in de orde van miljoenen jaren, moeten we konkluderen dat in de duinen geen afronding of mattering optreedt.

8. Het landijs

Onderzoek door Veenstra (13) van more-

nemateriaal in Noordwest-Europa toonde aan dat de zeeffractie 0,85 - 2,00 mm van het keileem op 100 kwartskorrels gemiddeld 20 goed afgeronde, 50 matigafgeronde en 30 hoekige korrels bevatte. Bij de ronde korrels waren er 10 korrels mat en bij de matig afgeronde korrels 15, terwijl bij de hoekige korrels nooit matte korrels werden aangetroffen. Dit wijst er overigens weer op dat afronding en mattering bijeen horen.

Rondom de Pleistocene ijskappen waren poolwoestijnen aanwezig, waarin op grote schaal zand door de wind werd verstoven. Vaak was dit smeltwaterzand. Kwantitatief zijn deze stuifzanden voor de afronding echter niet van belang. Afronding in de ijskap vindt niet plaats, het materiaal dat door het ijs werd opgenomen was reeds afgerond door andere oorzaken.

9. Bodemprofielen

Onder invloed van regen, humuszuren en grondwater zouden korrels afgerond en gematteerd kunnen worden. Gezien de geologisch betrekkelijk korte tijd, waarin zich bodems kunnen ontwikkelen, lijkt bodemvorming de belangrijkste oorzaak voor afronding en mattering van kwartskorrels. De uit de vochtige tropen bekende laterietvorming, waarbij de kwarts nagenoeg geheel wordt opgelost, geeft steun aan deze gedachte. Waarschijnlijk zal het niet de enige oorzaak van de afronding zijn, omdat er vóór het Devoon van landplanten (en dus humus!) nauwelijks sprake was, terwijl er wel goed afgeronde zandstenen uit de lange geologische tijd vóór het Devoon bekend zijn.

De voorlopige konklusie is dus dat zandkorrels in zee, op het strand en in de duinen niet meetbaar afronden, maar dat de afronding en mattering aan vroegere chemische processen in bodems, zandwoestijnen en wellicht estuaria zijn toe te schrijven.

Voor het transport en het bezinken van zandkorrels is de **vorm** veel belangrijker dan de afronding. Het maakt in principe niet veel uit of de processen zich in lucht dan wel in water afspelen, aangezien de natuurkundige wetten, die de sedimentatie controleren, gelijk zijn. Zo zal een bolvormige kwartskorrel zowel in lucht als water eerder vallen of bezinken dan een plat neerduwrelend muscovietdeeltje. In het Waddengebied bleken de duinzanden minder rolbaar te zijn dan de strandzanden. De duinen bevatten dus meer hoekige en platte korrels dan de stranden. De oorzaak is dat de hoekige en platte korrels beter door de wind worden opgenomen (fig. 4).

Invloed van de wind

Bij geringe windsnelheden (windkracht 4) bewegen zandkorrels zich rollend of schuivend. Er kunnen zich dan windribbels vormen, waarbij de zwaardere korrels, zoals granaat, in de troggen achter-

blijven. Bij windkracht 5 begint het zand in banen over het strand te lopen en vanaf windkracht 8 wordt het een gesloten zanddek. Hierbij botsen de korrels op de ondergrond en tegen elkaar en kunnen daarbij behoorlijk omhoogspringen. Dit heet salteren; in de regel zullen de korrels niet hoger dan 10 cm opspringen, maar bij windkracht 10 is ook wel eens een saltatie van 1 m gemeten. Ten gevolge van frontale botsingen kunnen kwartskorrels sikkelvormige barstjes gaan vertonen. De grootte van deze botskegeltjes is ongeveer 1/10 van de korreldiameter maar ze zijn vele malen groter dan de fijne etsputjes waaruit mattering bestaat. Uit windtunnelproeven is gebleken dat ronde korrels op een vlakke ondergrond veel hoger opspringen dan hoekige korrels. Blijkbaar benadert deze proef de natuurlijke wijze van afzetting niet, want men zou dan kunnen verwachten dat de duinen meer bolvormige korrels zouden bevatten dan het strand en dat is niet het geval. De windribbels zijn opgebouwd uit dunne laagjes korrels, die van de wind afhellen. De grovere zandkorrels liggen op de kammen, want de fijnere en lichtere korrels kunnen gemakkelijker voortgeblazen worden. Een uitzondering vormen de zware mineralen zoals granaat en erts-korrels, die door hun groter gewicht in de troggen van de ribbels blijven liggen. Men ziet dan ook vaak donkere trogopvullingen bestaande uit granaatkorrels (donkerrood) en ertsdeeltjes (zwart). Een kenmerk van windribbels is dat de kammen zich vaak splitsen en vrij vlak zijn. De hoogte van de kammen is meestal 0,5 tot 1,0 cm, de afstand tussen de kammen varieert met de windsterkte en ligt tussen 2,5 en 25 cm, met als gemiddelde 7 cm. Windribbels zijn altijd asymmetrisch in doorsnede en zijn meestal loodrecht op de windrichting gelegen. De bouw van de ribbel houdt op als er net zoveel korrels door de wind worden aangevoerd als er weggeblazen worden.

Duinvorming

Bij hogere windsnelheden wordt het zand in lagen afgezet. Bij geringe hindernissen, zoals planten of takkenschermen, hoopt het zand zich dan op als duintjes of rug-gen. Het oppervlak van deze zandruggen helt aan de loefzijde (naar de wind gekeerde zijde) onder een hoek van 15°. Aan de lijzijde van deze zandophopen staat het zand onder de natuurlijke maximale hellingshoek van los zand. Deze hoek is meestal 30 tot 34°, afhankelijk van het vochtgehalte. De lijzijde is voortdurend aan kleine afglijdingen onderhevig (fig. 5). In feite worden er bij aanhoudende wind steeds weer nieuwe zandkorrels over de bovenrand gestort. Zodoende zal de inwendige bouw van beginnende duinen bestaan uit steile lagen windafwaarts gericht onder een hoek van ca. 30° met het horizontale vlak. Tijdens de verdere opbouw van een duin kan de wind in de loop van de tijd uit verschillende richtingen waaien. Hierdoor zullen de nieuwge-

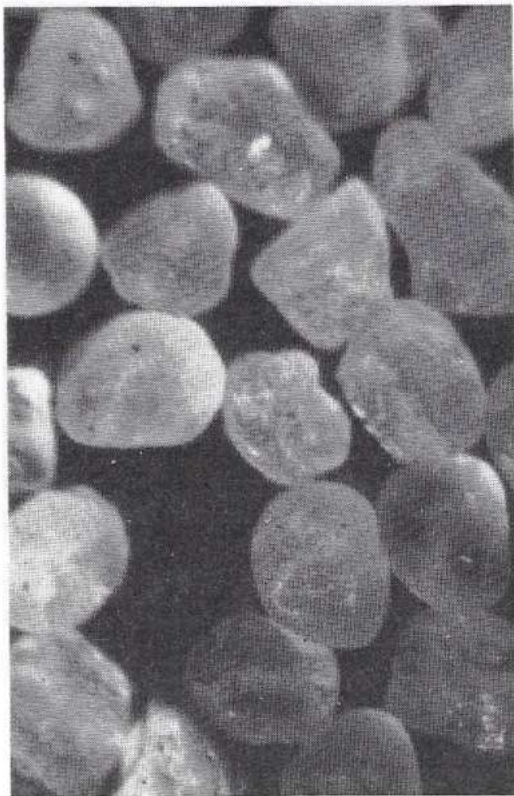


Fig. 3. Goed afgerond kwartzand. Woestijnzand, Sahara.

vormde lagen de oudere lagen onder een hoek afsnijden. Op deze wijze is de ingewikkelde driedimensionale bouw van de duinen te verklaren, die bij duinafslag goed te zien is (fig. 6).

Hoewel bij hogere windsnelheden de korrels van zware mineralen minder goed vervoerd kunnen worden dan de lichtere kwartskorrels, kunnen ze toch in laagjes van enkele mm dikte worden afgezet. Op deze wijze is het ook te verklaren dat er op Ameland en op Texel telkens twee plekken in de duinen gevonden zijn met een verhoogde natuurlijke radioactiviteit. Op Ameland is bij paal 10 in de duinen de gemeten radioactiviteit ongeveer 4 x zo groot als de gemiddelde bodem-radioactiviteit in overig Nederland. De verhoogde radioactiviteit in de duinen wordt toegeschreven aan het zware mineraal monaziet (Ce, La, Th, Nd)PO₄, met thorium (Th) als de veroorzaker. Overigens is deze radioactiviteit veel te gering om gevaarlijk te zijn.

Ontstaan van de Waddeneilanden-

Zo'n 50 jaren geleden was de algemene gedachte dat de Waddeneilanden de restanten waren van een lange schoorwal, die in Noord-Frankrijk aan oudere afzettingen vastzat. Erachter zou dan een haf gelegen hebben, als voorloper van de tegenwoordige Waddenzee. Momenteel vindt men een dergelijk kusttype aan de Oostzee, zoals bijvoorbeeld het Stettiner Haff. Uit talrijke boringen op de Waddeneilanden en in de Waddenzee blijkt echter dat zich onder de eilanden enkele smeltwaterdalen uit het IJstijdvak (Pleistoceen) bevinden, die in het Holoceen waarin we nu nog leven, de plaats van de eerste zeegaten met een diepte van 30 m bepaalden. De hypothese met de schoorwal is dan ook volledig verlaten, zoals het kaartje van Jelgersma (18) laat zien (fig. 7). Het enige wat er nog aan herinnert is de naam Hafdistrict van de botanici, dat door het Waddendistrict en het Duindistrict van de zee gescheiden is. Dat de Waddeneilanden steeds van het vasteland geïsoleerd waren blijkt uit de flora en fauna. Een voorbeeld is o.a. het ontbre-

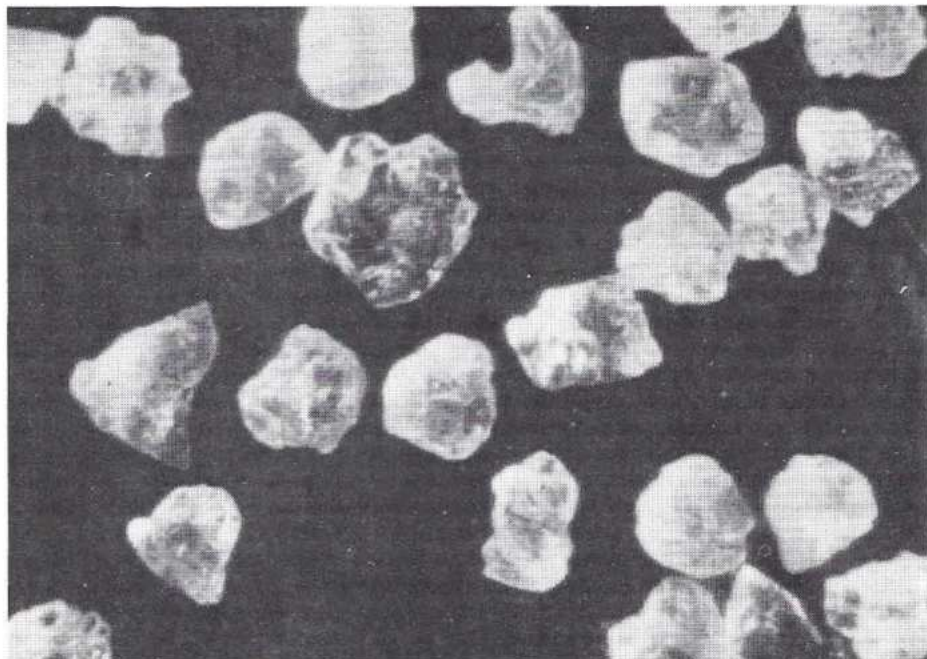


Fig.4. Zeer hoekig kwartzand, in het begin van het Pleistoceen met rivieren aangevoerd uit het Oostzeegebied. Zogenaamd kaolienzand, Sylt.

ken van de mol (op Texel en Schiermonnikoog wel eens gesignaleerd) en van de veldmuis, die alleen op Ameland voorkomt.

Geologische argumenten voor een gescheiden ontwikkeling van de afzonderlijke Waddeneilanden zijn de verschillen in korrelgrootte, zware mineralen en kalkgehalte. We kunnen ons de Waddeneilanden opgebouwd denken uit langgerekte zandruggen op de zeebodem, die voornamelijk door de golven werden opgebouwd en lage duinen droegen. Door de stijging van het zeeniveau na de laatste ijstijd zijn deze strandwallen zuidwaarts verschoven in een soort bulldozerwerking van de zee. In historische tijden hebben de Waddeneilanden zich zuidoostwaarts verplaatst (14), zoals uit zeekaarten van de laatste 400 jaar valt op te maken. Er is alle reden te veronderstellen dat dit proces ook al veel eerder speelde.

Men heeft wel gedacht dat zand van het ene eiland na kustafslag rechtstreeks naar het naburige oostelijker gelegen eiland werd vervoerd. De golven op de Noordzee komen meestal uit westelijke richtingen. Hun energie kan gesplitst worden in twee componenten: één component die de branding veroorzaakt loodrecht op de kust en een andere component die de kustdrift veroorzaakt en dus meestal naar het oosten is gericht. Langs de eilanden zal inderdaad enig zand langzaam naar het oosten worden vervoerd, want ook de getijstroom zijn sterker naar het oosten. Uit bestudering van het zand rondom het zeegat tussen Ameland en Schiermonnikoog bleek echter uit de verdeling van de korrelgrootte en de vorm van de zandkorrels dat een deel van het aangevoerde zand uit het westen in de Waddenzee verdween, een ander deel in de buitendelta voor het zeegat werd opgeslagen en maar een klein deel ten-



Fig.5. Duinvorming vóór de zeereep. Ameland, jan. 1988. De helling van de loefzijde links is 15 graden, de helling aan de lijzijde 34 graden.



Fig.6. Zandlagen worden zichtbaar na duinafslag. Westpunt van Ameland, jan. 1988.

-  Strandwallen
-  Zandplaten
-  Zandbanken
-  Veen
-  Wadden
-  Lagunen
-  Open water zoet
-  Open water zout

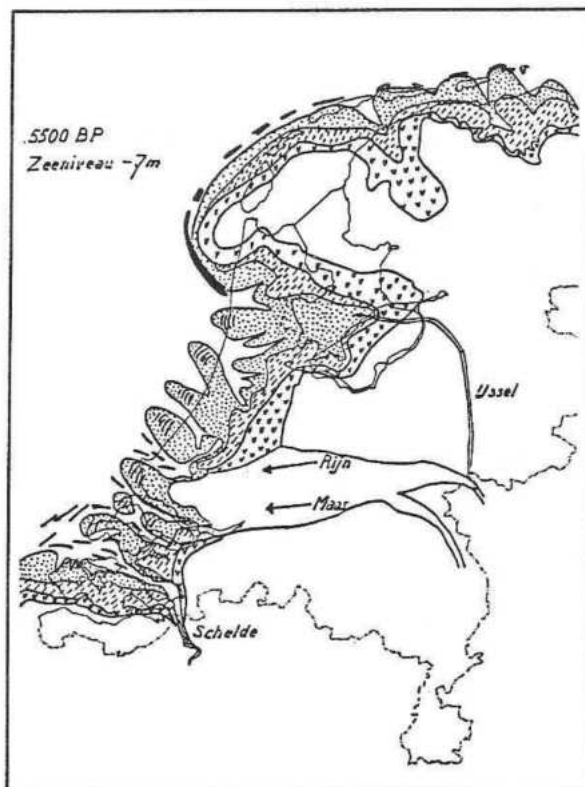


Fig.7. Schetskaart van Nederland 5500 jaar geleden volgens Jelgersma (1985). De Waddeneilanden zijn als strandwallen aangegeven.

slotte op Schiermonnikoog op het strand terecht kwam. (16,19). Onderzoek naar de sedimenten in het zeegat tussen Spiekeroog en Wangerooge gaf overeenkomstige resultaten (7).

Het zand van de Nederlandse Waddeneilanden vertoont een geleidelijke afname in korrelgrootte in oostelijke richting; bij de in het verlengde liggende Duitse Waddeneilanden is er juist een toename in korrelgrootte in oostelijke richting. Dit wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door het materiaal van de zeebodem voor de eilanden. In de grovere zanden zijn vuursteenfragmentjes, rode veldspaat en minuscule granietbrokjes te vinden, die duidelijk afkomstig zijn van glaciële afzettingen zoals het Borkumerrijf en de Wangerooge Grund.

Er kon op geen der eilanden een significant verschil in korrelgrootte of in rolbaarheid worden gevonden tussen de oude duinen en de jonge duinen. De jonge duinen zijn de hoge duinen van de zeeoep en de erachter gelegen duinen. Ze zijn blijkens de vondst van potscherven in westelijk Nederland gevormd vanaf de 12e eeuw, toen het klimaat blijkbaar minder winderig werd en er bovendien voldoende zand in de kuststrook beschikbaar was. De jonge duinen zouden kalkrijker zijn dan de oude duinen omdat ze meer schelpdeeltjes zouden bevatten. Van enig verschil in kalkgehalte tussen oude en jonge duinen op de Waddeneilanden blijkt echter niets, maar wel zijn er aanzienlijke verschillen tussen de verschillende eilanden. Op Terschelling werd in

16 duinmonsters 0.01% CaCO_3 gevonden en op Ameland in 37 duinmonsters 0.5% CaCO_3 . We kunnen dit verklaren door aan te nemen dat de eilanden een verschillende geologische ontwikkeling achter de rug hebben. In het aangehaalde voorbeeld zouden bijvoorbeeld op Terschelling de oude duinen minder snel door de jonge duinen zijn bedekt vergeleken met Ameland, zodat er meer tijd beschikbaar was voor ontgisting door regen en plantengroei.

Dr. H.J. Veenstra was als wetenschappelijk hoofdmedewerker van 1960 tot en met 1983 werkzaam bij het Geologisch Instituut van de Rijksuniversiteit Groningen. Zijn interesse ligt op het gebied van de geologie van het Kwartair.

Literatuur

1. ANDEL, T.J.H. VAN (1950). Provenance, transport and deposition of Rhine sediments, proefschr. R.U. Groningen, 129 p. Veenman, Wageningen.
2. BAAK, J.A. (1936). Regional petrology of the southern North Sea. Proefschrift, L.H. Wageningen, 128 p. Veenman, Wageningen.
3. BAREN, F.A. VAN (1934). Het voorkomen en de betekenis van kalihoudende mineralen in Nederlandse gronden. Proefschrift, L.H. Wageningen, 120 p. Veenman, Wageningen.
4. CAILLEUX, A. (1942). Les actions éoliennes périglaciaires en Europe. Mém. Soc. Géol. France, N. Sér. 21(46): 1-176.
5. EDELMAN, C.H. (1933). Petrologische provincies in het Nederlandsche Kwartair. Proefschr. G.U. Amsterdam, 104 p. Centen, Amsterdam.
6. EISMA, D. (1968). Composition, origin and distribution of Dutch coastal sands between Hoek van Holland and the island of Vlieland. Proefschrift, R.U. Groningen. Neth. Jour. Sea Res. 4: 123-267.

7. HANISCH, J. (1981). Sandtransport in the tidal inlet between Wangerooge and Spiekeroog (W. Germany). In: Holocene marine sedimentation in the North Sea Basin. Spec. Publ. 5, Int. Ass. Sedim.: 175-185.
8. JELGERSMA, S. (1985). Een geologische kijk op de kust. In: Colloquium Kustontwikkeling, verleden, heden, toekomst. Waterloopkundig Laboratorium De Voorst (N.O.P.).
9. KUENEN, Ph.H. (1959). Experimental abrasion 3. Fluvial action on sand. Am. Jour. Sci. 257: 172-190.
10. KUENEN, Ph.H. (1960). Experimental abrasion 4. Eolian action. Jour. Geol. 68: 427-449.
11. KUENEN, Ph.H. (1964). Experimental abrasion 6. Surf action. Sedimentology 3: 29-43.
12. KUENEN, Ph. H. & W.G. PERDOK (1962). Experimental abrasion 5. Frosting and defrosting of quartz grains. Jour. Geol. 70: 648-658.
13. VEENSTRA, H.J. (1963). Microscopic studies of boulder clays. Proefschrift R.U. Groningen, 211 p. Stabo, Groningen.
14. VEENSTRA, H.J. (1969). De verplaatsing van de Waddeneilanden. Waddenbulletin 4(6): 2-8.
15. VEENSTRA, H.J. (1982). Size, shape and origin of the sands of the East-Frisian Islands (North Sea, Germany). Geol. & Mijnb. 61: 141-146.
16. VEENSTRA, H.J. & A.M. WINKELMOLEN (1976). Size, shape and density sorting around two barrier islands along the North coast of Holland. Geol. & Mijnb. 55: 87-104.
17. WAARD, D. DE (1949). Glaciale Pleistoceen. Een geologisch detailonderzoek in Urkerland (Noordoostpolder). Verh. K.N.G.M.G., geol. ser. 15: 71-246. Proefschrift R.U. Utrecht 1947.
18. WINKELMOLEN, A.M. (1969). Experimental rollability and natural shape sorting of sand. Proefschrift R.U. Groningen, 141 p.
19. WINKELMOLEN, A.M. & VEENSTRA, H.J. (1974). Size and shape sorting in a Dutch tidal inlet. Sedimentology 21: 107-126.

Literatuur (van p. 46)

1. BOERBOOM, J.H.A. (1960). De plantengemeenschappen van de Wassenarse duinen. Dissertatie. Wageningen. 135 pp.
2. BOERMAN, M.O. (1975). 10 jaar botanische inventarisatie in de Amsterdamse Waterleidingduinen. Gemeentewaterleidingen Amsterdam. 88 pp.
3. DOING, H. (1962). Systematische Ordnung und floristische Zusammensetzung niederländische Wald- und Gebüschgesellschaften. Wentia. 8: 1-85.
4. RUIGROK, M. (1986). Overzichtskaart van recent en voormalig hakhout in duinwaterwinplaats van Gemeentewaterleidingen Amsterdam. Schaal 1: 10.000. Gemeentewaterleidingen Amsterdam.
5. SCHAMINEE, J., A. LEMAIRE & R. KORSTANJE (1987). Hakhout in de Amsterdamse Waterleidingduinen. Rapport Gemeentewaterleidingen Amsterdam. 75 pp.
6. SLOET VAN OLDENRUITENBORGH, C.J.M. (1976). Duinstruwelen in het Deltagebied. Dissertatie. Wageningen. 112 pp.
7. WEEDA, E.J., R. WESTRA, CH. WESTRA & T. WESTRA (1986). Nederlandse oecologische flora. Wilde planten en hun relatie 1 Deventer. 304 pp.
8. WESTHOFF, V., P.A. BAKKER, G.C. VAN LEEUWEN & E. VAN DER VOO (1970). Wilde planten, flora en vegetatie in onze natuurgebieden, deel 1. Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten in Nederland. 230 pp.
9. WESTHOFF, V. & A.J. DEN HELD (1975). Plantengemeenschappen in Nederland. Tweede oplage. Zutphen. 324 pp.
10. WESTHOFF, V. & E. VAN DER MAAREL (1973). The Braun Blanquet Approach. In: R.H. Whittaker (ed.) 'Handbook of vegetation science. Part V: ordination and classification of vegetation'. The Hague: 619-726.
11. WESTHOFF, V. & J.N. WESTHOFF-DE JONCHEERE (1942). Verspreiding en nestoecologie van de mieren in de Nederlandsche bosschen. Tijdschrift over plantenziekten. 48: 138-212.