

Stenen van de Hollandse stranden

L.M.J.U. van Straaten

In dit derde stukje over de geologische collecties van de Groningse universiteit zal iets worden verteld over stenen, gevonden op de Hollandse stranden. Er zal alleen sprake zijn van natuurlijke stenen, die op natuurlijke wijze op de stranden zijn terechtgekomen. Buiten beschouwing blijven dus bijvoorbeeld bazalt en kalksteen van strandhoofden, zeeweringen, enz., evenals stukken baksteen of beton, ook al zijn die soms onder invloed van watergolven en zanderosie tot fraaie strandrolstenen bijgeslepen. 'Geologisch zuivere' strandstenen zijn er van 4 verschillende categorieën.

De eerste categorie wordt gevormd door de stukken glauconietzandsteen van het strand van Cadzand in Zeeuws-Vlaanderen. Ze zijn afkomstig uit Eocene lagen, die op de zeebodem voor de kust worden geërodeerd. Hoewel ze gesteentekundig zeer interessant zijn (verkitting van het zand door opaal en omzetting van ingesloten fossielen, o.a. van *Cardita planicosta* in chalcedoon) zullen ze hier niet verder behandeld worden, daar ze buiten Zeeland niet worden aangetroffen.

De tweede groep is die van de noordelijke zwerfstenen die aanspoelen, of aangespoeld zijn op het strand van Texel, vooral op de noordhelft van het eiland, inclusief de Slufter. Ze komen uit de keileem op de zeebodem voor het eiland. Tellingen zijn gedaan door H. de Jong (1984), die gemiddeld 53% vuursteen vond, 27% kristallijn en 19% zandsteen en kwartsiet. Een Hese-

mann-telling, uitgevoerd door Zandstra (1971) aan materiaal aan de noordzijde van de uitmonding van de Slufter, leverde het getal 2440 op. Niet vermeld door deze auteurs is de opmerkelijke selectie van materiaal die bij het transport door de golven naar en op het strand heeft plaats gehad. Het zijn nl. praktisch uitsluitend platte stenen die men vindt (foto 1). Men zou zich kunnen afvragen of deze platheid het resultaat is van een speciaal soort slijtage: primair al enigszins afgeplatte stenen zouden bijvoorbeeld door slijtage bij schuifbewegingen steeds platter kunnen worden. Echter is niet in te zien waarom primair niet-afgeplatte stenen, zoals er in de keileem ook algemeen aanwezig zijn en die alleen heen en weer kunnen rollen, ook afgeplat zouden worden. Ook is de slijtage over het algemeen maar matig geweest. Relatief zachte zandstenen zijn langs de smalle kanten weliswaar goed bijge-

rond, maar andere, niet eens zeer harde, platte zandstenen zijn aan de hoeken nog maar weinig afgesleten (zie foto). Bij vuursteen is de slijtage meest zelfs zeer gering. De geringe afslijting is te wijten aan de omstandigheid dat de stenen overwegend geïsoleerd over een zandbodem hebben bewogen. Bij transport over een rotsbodem of over een aaneengesloten stenenplaveisel zouden hun oorspronkelijke hoekigheden veel sneller zijn verdwenen. Het volgt hieruit dat de platheid van deze strandstenen in hoofdzaak het gevolg moet zijn van selectie. Het is trouwens een bekend feit dat platte stenen door golfwerking in het algemeen makkelijker en verder strandopwaarts worden getransporteerd dan ronde (vgl. bijv. Flemming, 1964 en Humbert, 1968). Waar platte stenen geïsoleerd op de strandhelling liggen, worden ze onder invloed van het er over heen stromend water van de golfoploop vaak opgetild (door de 'liftkracht', als bij vleugels van een vogel door de wind): ze komen dan vaak op hun kant te staan en kunnen, hetzij slepend, hetzij rollend over hun smalle kant een flink eind hoger op terechtkomen. Bij de daarop volgende golfterugloop is het transport, mede door de snel verminderende waterdiepte, dan vaak veel minder ver. Bij ronde, rollende stenen is dit verschil tussen golfoploop en golfterugloop veel minder effectief: de stenen rollen even gemakkelijk, of zelfs gemakkelijker, de helling af dan op. In dieper water bestaat naar alle waarschijnlijkheid een dergelijk verschil tussen de reacties van platte en ronde stenen op de asymmetrische (landwaarts sterkere en zeewaarts zwakkere) bewegingen van golvend water. Een stenenmonster, genomen door de schrijver van dit artikel in maart 1991, aan de noordzijde van de uitmonding van de Slufter, op het hoogste deel van het strand (540 stenen) bestond uit: granietgroep: 8,5%; rhyoliet + hälleflint (+ 1 bazalt): 3,3%; gneis (+ glimmerkwartsiet) 11,5%, dolomiet 0,4%, vuursteen (+

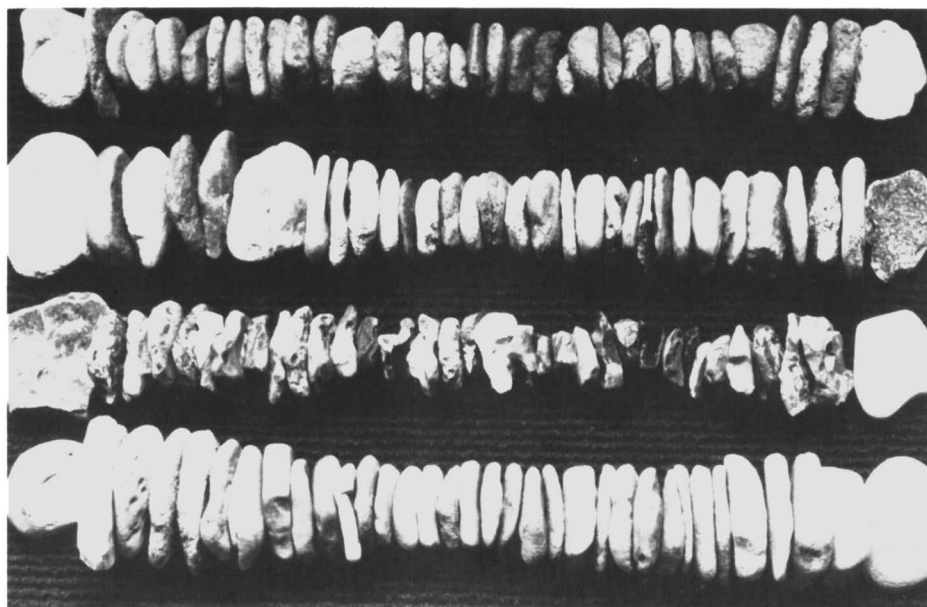


Foto 1. Deel van grindmonster De Slufter, 8-3-1991. Afmetingen van het geheel: 60 bij 38 cm. 1e rij: graniet; 2e rij: gneis; geheel rechts, liggend: amfiboliet; 3e rij: vuursteen; geheel rechts, liggend: dolomiet; 4e rij: zandsteen; geheel links, liggend: Skolithos-zandsteen; geheel rechts, liggend: chiasmazandsteen.

niet vuursteen-achtige verkiezelde Krijt- en Daniënkalksteen, 1,5%): 53,5%; zandsteen: 22,8%. Van alle stenen werd de lengte-as a gemeten; de dwars-as b, d.w.z. de loodrecht op a staande, in het vlak van afplatting gelegen, maximale dwarsdiameter, en de dikte-as c: de maximale diameter dwars op het vlak van de afplatting. Hieruit werden de 'gemiddelde grootte' $D = \sqrt[3]{ab}$, en de afplatting $P = \frac{c}{D}$ berekend. Naar slijtage-graad (afron- ding hoeken) werden 3 klassen onderscheiden: R (rond), RH (matig afgesle- ten) en H (hoekig). Tenslotte werden de modale waarden van D en P, resp. 'MD' en 'MP', per gesteentegroep be- rekend, alsmede het percentage ste- nen van de R-klasse. De zandsteen- groep werd naar mediane korrelgroot- te Md in 3 afdelingen gesplitst, zie Ta- bel 1.

Tabel 1.

	%	MD	MP	%R	a	-	b	-	c
grootste stuk									
Granietgroep	8,5	3,7	2,9	33	8	-	6	-	2
Rhyolietgroep	3,3	3,3	3,4	5	7	-	6	-	1,2
Gneisgroep	11,5	4,2	3,6	36	15	-	7,5	-	4
Dolomiet	0,4	-	-	-	6,5	-	5,5	-	1,5
Vuursteengroep	53,5	3,5	3,0	4	10	-	7,5	-	3
Zandsteen met Md >300 μm	5,7	4,5	4,7	47	14	-	10,2	-	2,5
Zandsteen met Md 300-100 μm	8,7	4,2	3,5	29	12	-	10	-	2
Zandsteen met Md <100 μm	8,3	3,7	3,7	26	7,5	-	7	-	2
Zandsteen, alles samen	22,8	4,0	3,8	30	14	-	10	-	2,5
1 alles cm									

Het sterkst afgeplat is dus de grofkorre- lige zandsteen (4,7), het minst de gra- nietgroep (2,9). De waarden ontlopen elkaar echter niet veel.

In verband met het voorgaande zij hier nog vermeld dat er in de laatste jaren op het Texelse strand ten noorden van de Slufter veel noordelijke stenen lig- gen die, met zand, kunstmatig daar- heen zijn gebracht om kustafslag te- gen te gaan. Een bijzondere soort zwerfsteen, waarvan te Groningen slechts drie stukken van de kust aan- wezig zijn, is barnsteen: één ervan is gevonden op Ameland, één op Schier- monnikoog en één in de Dollart. De stukken zijn vermoedelijk eveneens uit glaciële afzettingen afkomstig, maar doordat ze in zeewater bijna zweven of zelfs drijven (de dichtheid van barnsteen is 1,0 - 1,3), kunnen ze over grote afstanden zijn vervoerd.

Een derde categorie stenen is o.a. be- kend van de oude strandwallen die aangegraven zijn in het duinwaterlei- dinggebied ten zuiden van Zandvoort. Het zijn ook weer sterk afgeplatte ste- nen (zie tabel 2). Een monster, in 1960

door de schrijver genomen, bestaat uit 63 stenen: 4 kristallijn (1 granofier (noordelijk?), 2 Nahe-porfier en 1 an- desiet), 1 kalksteen, 1 ijzerkiezel, 2 kie- zellei, 5 gangkwarts, 1 vuursteen en 49 zandsteen (waarbij 1 Taunuskwartziet, 42 andere Paleozoïsche zandstenen en 6 Bontzandsteen). Een tweede monster, meer westelijk genomen, op circa 1 km binnen de kustlijn, telde 32 stenen, waarbij 1 graniet, 3 gang- kwarts, 1 kiezel, 1 leisteen en 26 zandsteen (met 1 Taunuskwartziet en 1 Bontzandsteen).

De stenen van het westelijke monster zijn veel kleiner dan die van het oostelij- ke, maar de afplatting is dezelfde. In beide gevallen is het typisch 'zuidelijk', vermoedelijk in hoofdzaak door de Rijn aangevoerd materiaal. In een korte mededeling over deze stenen opperde Jelgersma (1961) de mogelijkheid dat

kwartziet, 4 Bontzandsteen en 142 an- dere zandstenen en kwartzieten, deels met kwartsadertjes. Ze vormen dus een Rijn-associatie. De modale diame- ter (MD) is 2,6 cm, de modale afplatting (MP) 4,2.

Intussen is het niet nodig aan te nemen dat dit grind ten tijde van de strandwal- lenvorming regelrecht door de Rijn uit Duitsland is aangevoerd.

Waarschijnlijker is dat het afkomstig is uit Pleistocene Rijngrindafzettingen die in Zuid-Holland door de Holocene Rijn zijn aangesneden op plaatsen waar de rivier-erosie extra diep reikte: in boch- ten en onder invloed van getijdestromen, dicht bij de mond. In de bocht bij Alphen is deze erosie zelfs tot 30 m - N.A.P. gegaan (mondelinge medede- lingen Prof. Dr. W.H. Zagwijn). De 'kuststenen' moeten dus eerst stroom- af tot buiten de riviermond zijn ge- bracht, vervolgens door golfwerking op het naburige strand zijn terecht ge- komen, en tenslotte langs het strand verder noordwaarts zijn ge- transportsceerd.

De vierde categorie bestaat uit stenen die in het Holoceen gevormd zijn. Ze zijn het resultaat van verkitting van strand-en zeebodemsedimenten door koolzure kalk. Twee stukjes, in 1956 ge- vonden bij Wijk aan Zee, bestaan uit crème-keurig zand met fijn schelp- gruis, zoals wel aangetroffen wordt op het hoogste deel van het strand. Ver- moedelijk is de verkitende kalk neer- geslagen uit uittredend zoet grondwa- ter uit de duinen. Voor de overige re- cente stenen is een dergelijke genese om verschillende redenen niet aanne- melijk. Ze zijn overwegend grijs van kleur (de kleur die typisch is voor de 'pyriet-zone' van ondiep-mariene afzet- tingen, gelegen onder de meestal bruinachtige geoxydeerde oppervlak- telaag, zie bijv. Van Straaten (1964). Het zijn deels zandstenen, al of niet met verspreide Noordzeeschelpen, deels bestaan ze uit afwisselende zand- en "klei"-laagjes, of geheel uit "klei". En- kele zijn bijna geheel uit schelpen op- gebouwd (foto 2). Naar samenstelling, structuur en korrelgrootte te oordelen zouden sommige stenen afzettingen van de lagere delen van het strand kunnen vertegenwoordigen. De meeste moeten echter toch wel op de zeebodem voor het strand gevormd

Tabel 2

	MD (cm)	MP	a	-	b	-	c	grootste stuk (cm)
Zandvoort I	4,7	4,7	11	-	7,5	-	0,7	
Zandvoort II	2,9	4,7	6	-	4	-	0,8	



Fig. 3. Ligging van de in de tekst genoemde punten.

C: Cadzand; A: Alphen; K: Katwijk; N: Noordwijk; Z: Zandvoort; IJ: IJmuiden; W: Wijk aan Zee; E: Egmond (aan zee); S: Slufter; B: Buren; H: Holwerd; Ny: Norderney.

zijn, tot op diepten van zeker 5 m. Een groot aantal van deze verkittingen (125 stuks) werd gevonden tijdens één enkele strandwandeling in 1956 tussen Wijk aan Zee en Egmond aan Zee. Ook buiten de provincie Noord-Holland vond de schrijver op Noordzeestranden dergelijke recente stenen: 2 bij Cadzand (1960), 9 relatief grote stukken ten noordoosten van Buren op Ameland (1956) en 1 op Norderney (1960). Verder verzamelde hij in oktober 1968 230 stukken verkit geulbodemsediment, opgebaggerd bij Holwerd, vóór de pier van de veerboot naar Ameland. Over de ouderdom der stenen zijn slechts vage gegevens beschikbaar. Enerzijds zijn er geen resten van menselijke activiteit in aangetroffen, zoals stukjes baksteen, cokes of glas. Ook schelpen van jonge immigranten in de Nederlandse molluskenfauna, zoals *Petricola pholadiformis* (1905) en *Mya arenaria* (16e eeuw) werden niet gevonden¹). Anderzijds wordt een bovengrens van de ouderdom gegeven door een ¹⁴C-bepaling van schelpen in het Noordhollandse materiaal nl. 2400 ± 70 jaar, maar de schelpen zijn verspoeld, dus de afzettingen kunnen veel jonger zijn. Een bovengrens voor de ouderdom is ook gegeven bij de verkittingen in de geul bij Holwerd: uit de geologische situatie volgt dat deze geul niet ouder kan zijn dan 2500 jaar (vgl. bijv. Griede, 1978) en dat hij misschien zelfs pas uit de laatste 1000 jaar dateert.

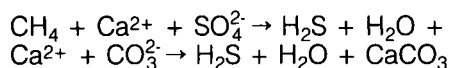
Een mogelijke indicatie met betrekking tot de ouderdom der Amelandse stenen is te halen uit hun schelpeninhoud. Deze wijst op vorming in een Waddenzeemilieu. Eén stuk (16 bij 16 cm) bestaat uit kleiig zand met een groot aantal wadschelpen (zie Van Straaten, 1957). Het zand heeft echter korrelgrootten van 150 - 400 μ m, hetgeen wijst op de nabijheid van een strandwal of zeegat. De meeste andere stukken bestaan uit klei-arm, grofkorrelig zand en vertonen voor een deel grove kraskrasgelaagdheid. Daar het niet waarschijnlijk is dat deze grote stenen de hele reis van het huidige wad om het eiland heen naar het Noordzeestrand bij

◀ Foto 2. Recente stenen van het strand ten noorden van Wijk aan zee (1e en 2e rij) en van de geulbodem bij Holwerd (3e rij). Op 1e rij v.l.n.r.: 1. kraskrasgelaagde zandsteen met boorgaten, 2. grofkorrelige zandsteen (3000-500 μ m), 3. schelpenlaagje met afgerond kleibrokje; 2e rij, links (midden) kleisteen met bladfossielen, rechts grofkorrelige zandsteen met *Spisula subtruncata*; 3e rij v.l.n.r. 1. kraskrasgelaagde, fijnkorrelige (60-150 μ m) zandsteen (16 bij 6½ (10) cm), 2. kleisteen met *Macoma balthica* en 3., zandsteen (60-200 μ m) met afgeronde kleibrokjes en schelpen (*Cerastoderma edule* en *Macoma balthica*).



Buren hebben gemaakt, ligt de conclusie voor de hand dat ze aangespoeld zijn van de voor het strand liggende zeebodem en dat daar dus oude Waddenzee-afzettingen aan erosie hebben bloot gestaan. Deze zouden dan gevormd moeten zijn toen Ameland verder naar het Noorden lag en er mogelijk in de omgeving van het tegenwoordige Buren een zeegat bestond. Dat zou dan wel veel meer dan 1000 jaar geleden moeten zijn geweest. Een uitvoerige beschrijving van het Noordhollandse en Amelandse materiaal is gegeven in Geologie en Mijnbouw (Van Straaten, 1957). Een verklaring van de oorzaak der verkitting kon daarin bij gebrek aan gegevens niet worden geboden. Nu zijn echter in de laatste jaren dergelijke verkittingen gevonden op plaatsen waar methaan (CH₄) uit de zeebodem ontwijkt: o.a. in de noordelijke Noordzee (Hovland et al., 1987) en in het Kattegat (Jørgensen, 1976, 1989). Het merkwaardige is dat waar 14 C-bepalingen van het kalkcement zulke verkittingen gedaan zijn, deze zeer hoge ouderdommen opleveren, veel hoger dan die van de schelpen in het verkitte sediment (bijv. Allen et al., 1969). De koolstof in het CaCO₃ van het cement is blijkbaar hoogstens voor een klein deel afkomstig uit de zee- of poriënwater-oplossing en moet verder in hoofdzaak zijn opgenomen uit het ontwijkend bodemgas zelf. Ook de ¹²C-¹³C-verhouding van de cementkalk wijkt geheel af van die in het CO₂ of CaCO₃ van zeewater en schelpen enz., en wijst duidelijk op een oorsprong van de koolstof uit dit methaan. De oorzaak van de kalkneerslag is dan vermoedelijk de oxydatie van de CH₄ door bacteriën. In de sulfidische zone zijn dit sulfaat-reducerende bacteriën, die de zuurstof voor de oxydatie halen uit de in het poriënwater opgeloste SO₂⁻-ionen.

Als vereenvoudigde reactievergelijking kan dienen: ⁴



Voor zover CH₄ door de sulfidische zone heen diffundeert naar de geoxydeerde oppervlaktelaag kan daarin volgens Hovland et al., door andere bacteriën, met behulp van de in het water opgeloste zuurstof verdere oxydatie plaatsvinden, die eveneens tot kalkneerslag zou kunnen leiden. Het lijkt zeer waarschijnlijk dat ook bij de Nederlandse recente zandstenen ontwijking van bodemgas de oorzaak is van de verkitting.

In navolging van de bovengenoemde onderzoekers werd van een recente zandsteen, gevonden tussen Wijk aan

Zee en Egmond aan Zee, een isotopeanalyse gedaan²⁾. De $\delta^{13}\text{C}$ van het kalkcement bleek $-37,5\text{‰} \pm 0,6$ te bedragen, hetgeen betekent dat meer dan de helft van de koolstof afkomstig moet zijn uit in de bodem opstijgend methaan. Dat er voor de Nederlandse kust methaan in de zeebodem omhoog komt, is op zich zelf niet verwonderlijk. In de polders achter dit deel van de kust wordt, resp. werd het op een groot aantal plaatsen ontgonnen als 'moerasgas' of 'brongas' (zie bijv. Schuiling, 1938, Faber, 1947, 1948). Het gas is aangeboord op diepten van 25 tot 80 m (Reinhold, 1947). Blijkbaar is het opgehoopt onder ondoordringbare klei- en veenlagen van Holocene en (jong)-Pleistocene ouderdom. Dat het op de zeebodem spontaan aan de oppervlakte komt, kan verklaard worden doordat deze afsluitende lagen daar hetzij geërodeerd zijn, hetzij nooit zijn afgezet. Over de oorsprong van het gas is voorlopig nog weinig te zeggen, al is het wel aannemelijk dat deze in Kwartaire formaties gezocht moet worden. Met het diepe aardgas in het Rotliegend heeft het naar alle waarschijnlijkheid niets te maken. Ook in Friesland wordt 'brongas' ontgonnen. De rijkdom aan recente verkittingen in de geulsedimenten bij Holwerd kan het gevolg zijn van de geulerosie zelf: de waterloop heeft zich ingesneden in subboreale veen- en kleilagen en heeft daarbij vermoedelijk de gasvoorraad van de onderliggende zandige sedimenten aangetapt.

Dankwoord

De schrijver betuigt hierbij, voor diverse informatie, zijn hartelijke dank aan mevr. Dr. S. Jelgersma en de heren Dr. R. Kreulen, Dr. C.J. Overweel, Prof. Dr. R.D. Schuiling, Dr. R.T.E. Schüttenhelm, Drs. L. van der Valk en Prof. Dr. W.H. Zagwijn.

Noten

1) De schelpensoorten in het Noordhollands materiaal, met de aantallen stenen waarin ze zijn aangetroffen zijn: *Spisula subtruncata* 71, *Donax vittatus* 24, *Cerastoderma edule* 15, *Lunatia* sp. (deels *catena*) 15, *Angulus* sp 12 (waarbij *Angulus fabula* 8), *Macoma balthica* 3, *Chrysallida decussata* 3, *Littorina littorea* 1, *Hydrobia ulvae* 1, *Mysella bidentata* 1, *Chamelea gallina* 1, *Abra alba* 1, *Scrobicularia plana* 1, *Macra corallina* 1, *Ensis* sp. 1.

2) Door Dr. R. Kreulen in het laboratorium van Prof. Dr. R.D. Schuiling te Utrecht.

Summary

Four main categories of pebbles are washed ashore on the Dutch North Sea beaches:

1. Opal-cemented sandstones, derived from Eocene sediments eroded off the coast of Southwestern Zealand.
2. Northern erratics, washed out from glacial till. They are most abundant on Texel and have generally very flat shapes, due, not to wear, but to selective transport by waves.
3. Rhine gravel, found on the present beach and on old beach ridges north(east) of Katwijk. The stones must have been carried to the sea by the Rhine of Katwijk, after erosion, in the lower river reaches, of earlier, Pleistocene fluvial deposits.
4. Sandstones, claystones and shell rocks, cemented by CaCO₃ on the recent sea floor, probably (and in one case shown to be) the result of oxidation (by bacteria?) methane, escaping from the underlying formations.

Literatuur

- Allen, R.C., Gavish, E., Friedman, G.M and Sanders, J.E., 1969. Aragonite-cemented sandstone from outer continental shelf off Delaware Bay. *J. Sed. Petr.* 39, pp. 136-149.
- Faber, F.J., 1947. Geologie van Nederland. III. Nederlandse Landschappen, 2e druk. Gorinchem, Noorduyt & Zn.
- 1948. Geologie van Nederland, I-II, 3e druk. Gorinchem, Noorduyt & Zn.
- Flemming, N.C., 1964. Tank experiments on the sorting of beach material during cusp formation. *J. Sed. Petr.* 34, pp. 112-122.
- Griede, J.W., 1978. Het ontstaan van Frieslands Noordhoek. Diss. Amsterdam (V.U.), 186 pp.
- Hovland, M., Talbot, M.R., Qvale, H., Olaussen, S. and Aasberg, L., 1987. Methane-related carbonate cements in pockmarks of the North Sea. *J. Sed. Petr.* 57, pp. 881-892.
- Humbert, F.L., 1968. Selection and wear of pebbles on gravel beaches. Diss. Groningen. 144 pp.
- Jelgersma, S., 1961. Het voorkomen van schuifstenen in de duinen. *Geol. Mijnb.* 40, p. 176.
- Jørgensen, N.O., 1976. Recent high-magnesium calcite/aragonite cementation of beach and submarine sediments from Denmark. *J. Sed. Petr.* 46, pp. 940-951. 1989. Holocene methane-derived, dolomite-cemented sandstone pillars from the Kattegat, Denmark. *Marine Geol.* 88, pp. 71-81.

Jørgensen, N.O., Laier, T., Buchardt, B. and Cederberg, T. 1989. Shallow hydrocarbon gas in the northern Jutland-Kattegat region, Denmark. Bull. Geol. Soc. Denmark, 38, pp. 69-76.

Jong, H. de, 1984. Fysisch-geografische streekbeschrijving no. 6: Texel. K.N.A.G. Geografisch Tijdschr. N.R. 18, pp. 26-37.

Reinhold, Th., 1947. Delfstoffen, pp. 21-23 in Hollands Noorderkwarteir. Toel. Geol. Kaart Nederl. No. 2. Den Haag, Staatsdrukkerij.

Schuilings, R., 1938. Nederland. Handboek der aardrijkskunde, Deel 2. 6e druk. Zwolle, Tijl.

Straaten, L.M.J.U. van, 1957. Recent sandstones on the coasts of the Netherlands and of the Rhone delta. Geol. Mijnb. N.S., 19, pp. 196-213.

- 1964. De bodem der Waddenzee, pp. 75-151 in J. Abrahamse et al. Het Waddenboek. Zutphen, Thieme.

Zandstra, J.G., 1971. De zwerfstenen van Texel. Texel, 4e Jrg. pp. 107.

De ontwikkeling van de Hollandse kust; een kwestie van schaal

J. Wiersma

Om inzicht te krijgen in de vorming, het gedrag en de toekomstige ontwikkeling van de Nederlandse kust is sinds eind 1984 de kennis en kunde van een groot aantal disciplines en instituten gebundeld. Deze concentratie vindt plaats in en vormt de grondslag voor het project Kustgenese. Kenmerkend voor de werkwijze is de meer-dimensionale benadering waarbij de tijd als vierde dimensie essentieel is om het grootschalig kustgedrag te kunnen kennen, verklaren en voorspellen. Vandaar het aan Bilderdijk ontleende adagium van het project: in het verleden ligt het heden, in het nu wat worden zal.

In deze bijdrage worden voorbeelden gegeven van de wijze waarop processen en fenomenen op verschillende tijd- en ruimteschalen van invloed zijn op het kustgedrag. Tevens wordt ingegaan op variaties en trends van parameters welke de werking en uitwerking van het kuststelsel bepalen. Dit artikel is een verkorte weergave van een voordracht gehouden op de jaarvergadering van de Nederlandse Geologische Vereniging op 1 juni 1991.

2. Tijdschaal

Processen welke het kustgedrag bepalen spelen zich af en manifesteren zich op een breed spectrum van tijdstappen. In feite tussen milliseconden en millenia. Immers, dat gedrag wordt, in extremo, zowel bepaald door de interactie tussen twee bewegende zandkorrels als wel door zeespiegelstijging over de laatste 10.000 jaar.

2.1 Jonge Duinen

Aan de vorming van de Jonge Duinen en de eraan te ontlelen conclusies met betrekking tot actuele kustvormende processen wordt in deze paragraaf aandacht besteed. Van de totale Ne-

derlandse kustlengte van 350 km wordt ca. 250 km gevormd door Jonge Duinen-afzettingen. Zij vormen het belangrijkste element van de kustverdediging en zijn als zodanig te beschouwen als de ruggengraat van ons land. Desondanks is niet bekend welke processen en initiërende condities aanleiding zijn geweest voor de massale uitstoot van zand vanuit zee. Kustgenese probeert een tipje van deze duistere vorming op te lichten.

Bovendien was het van meet af aan duidelijk dat een meer kwantitatieve benadering van de Jonge Duin-vorming inzicht zou kunnen verschaffen in de verhouding tussen langs- en dwarstransport in de litorale zone en tevens zou bijdragen aan de kustlijnligging omstreeks de 10e eeuw, direct voorafgaande aan deze vorming. De samengevatte studies van Pool en Van der Valk (1988), Pool (1989a) en Zitman (1987) hebben de juistheid van deze stellingen bevestigd.

Volume

Gebruikmakend van recente en oude topografische kaarten en van boorgegevens werd als eerste stap het zandvolume van de Jonge Duinen bepaald.

Als ondervlak voor deze bepaling werd gedefinieerd het grensvlak met de onderliggende Oude Duinen, dan wel met jonge getijde-afzettingen van de Westland Formatie of met Hollandveen. Op de Waddeneilanden waar deze grenshorizonten veelal ontbreken werd de +1 m NAP als een ondervlak gehanteerd (Pool, 1989b). Het berekende volume Jonge Duinzand bedraagt voor de hele Nederlandse kust bijna 3.10^9 m^3 . Hiervan bevindt zich op de Waddeneilanden $0,6.10^9 \text{ m}^3$ en is langs de gesloten Hollandse kust, exclusief de mariene overslaggronden in de kop van Noord-Holland, $1,6.10^9 \text{ m}^3$ zeezand in de Jonge Duinen opgeslagen. Het zal duidelijk zijn dat de regionale spreiding groot is; zo bedraagt het volume in Zeeuws-Vlaanderen slechts $2,9.10^6 \text{ m}^3$, op Walcheren $81,6.10^6 \text{ m}^3$. Van belang is om te berekenen de hoeveelheid zand welke per eenheid van tijd en kustlijn lengte aan het kuststelsel is onttrokken. Hierbij is er vanuit gegaan dat de Jonge Duinen gevormd zijn in de periode 1000-1850 AD. Deze tijdbegrenzingsen zijn enigszins arbitrair omdat, voorafgaand aan het jaar 1000, plaatselijk reeds grote verstuivingen optraden, daarentegen in 1850 de eolische doorvoer vanaf het