Grondboor en Hamer, jrg. 43, no. 2, p. 48-57, 13 fig., april 1989

ZANDKEGELS EN KEGELZANDSTEEN, NADER BEZIEN

A.P. Schuddebeurs*

Het was beloofd. We zouden nog een expert op het gebied van zandkegels aan het woord laten. In zijn relaas komen zowel de zandkegels op het strand als fossiele zandkegels van Bornholm aan bod. Zijn ze hetzelfde of hebben ze verschillende oorzaken?

Zandkegels, zandzuiltjes, zandpaddestoelen, allemaal namen voor hetzelfde verschijnsel. Ruim dertig jaar geleden hebben zowel Mooij (1957) als ikzelf (Schuddebeurs 1957) ze onafhankelijk van elkaar beschreven. De eerste van Terschelling en de tweede van Vlieland. Maar reeds een halve eeuw eerder beschreef Deecke (1906) ze van het Oostzeestrand. In zijn tijd waren de mogelijkheden die de fotografie bood bij lange na niet zo goed als tegenwoordig. Dat zal de reden geweest zijn dat de illustraties bij Deecke's artikel getekend waren (fig.1). Beide wijzen van illustreren hebben hun specifieke voor- en nadelen. Zelfs nu kunnen bepaalde details duidelijker afgebeeld worden door ze te tekenen dan door ze te fotograferen. Hoewel foto's geretoucheerd kunnen worden loopt men bij tekeningen toch meer het gevaar van "hineininterpretieren".

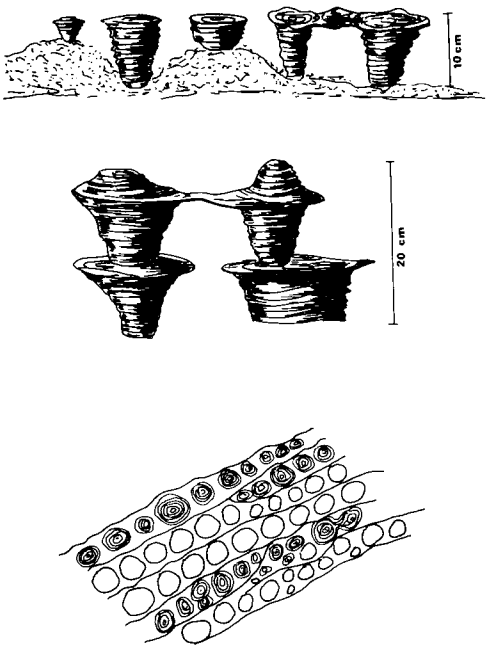


Fig. 1 Zandkegels aan het Oostzeestrand, zoals door Deecke getekend. In werkelijkheid zijn er op het horizontale vlak geen ringsystemen.

Kuenen schreef eens, dat geologen ook mensen zijn en Häntzschel (1975) gaf voorbeelden van gevallen waarin men wel eens meer zag dan er in feite te zien was: tekeningen van fossielen, fossiele levenssporen en andere vormsels in sedimenten werden soms kunstig geretoucheerd om aan de wensdromen van de ontdekker tegemoet te komen. Ik vrees nu dat ook Deecke aan dit euvel mank ging, maar ik moet er direct bij zeggen dat ik vroeger (Schuddebeurs 1957, 1961) Deecke's schetsen kritiekloos heb aanvaard. Wat is het geval? Deecke tekende op het bovenaanzicht van zijn zandkegels concentrische ringen. Maar op geen enkele foto, bij alle artikelen die later over zandkegels aan het strand verschenen, zien we zulke ringen. In de jaren na 1957 zag ik op alle Waddeneilanden af en toe zulke rijen zandkegels. Gripp (1961) beschreef ze van westelijk Sleeswijk-Holstein, maar geen enkele had concentrische ringen op het bovenvlak. Opvallend is dat zowel Gripp als Mooij als Lopes de Leão Laguna aandacht schenken aan voetafdrukken in het zand nabij de kegels. Laatstgenoemde auteur veronderstelde even, dat zand onder voetafdrukken meer samengedrukt zou kunnen zijn dan eromheen en dat dat de oorzaak was. Maar hij liet die veronderstelling direct weer varen omdat de verspreiding van de kegels daarvoor veel te regelmatig is: ze staan op rijen.

Het is duidelijk dat de zandkegels ontstaan terwijl het hen omringende zand corrasief wordt weggeblazen. De kegels bestaan uit vochtig, plakkerig zand, maar het zand eromheen is kurkdroog en vertoont geen enkele samenhang. Op nat zand heeft de wind niet veel vat, maar hoe

* Dennenlaan 2
9331 CK Norg

verklaar je nu dat juist die, soms honderden, min of meer duidelijk op rijen staande kegels uren langer vochtig blijven dan het zand eromheen? Wie zo'n zandkegel voorzichtig doorsnijdt ziet de afzettingsgelaagdheid er in doorlopen, hetzij horizontaal, hetzij kris-kras of hellend. Horizontale gelaagdheid zien we in de schetsen van Deecke, maar ook op de foto's van Schuddebeurs (1957) en Mooij (1960).
Er is gedacht aan verschil in korrelgrootte, dus fijner en grover partijen die bij verschil in windsterkte afwisselend op elkaar afgezet zouden kunnen zijn. Mooij (1960) vond verschillen in korrelgrootte van het paddestoelenzand en het losse zand eromheen. Men zou ook kunnen denken aan verschillen in het mineralenbestand, dus korrels van verschillende dichtheid die overigens wel dezelfde korrelgrootte kunnen hebben. Deecke dacht aan veendeeltjes tussen het zand, maar ook aan kalkstof afkomstig van gecorradeerde schelpen. Zulke fijne deeltjes en organische vezeltjes kunnen zelfs bij heel geringe windsterkte voortgeblazen worden, maar voor zandtransport is volgens Gripp tenminste windkracht 3 nodig. Al die factoren brengen verschillen mee in capillariteit en dientengevolge ook in het vermogen water te absorberen of anderszins vast te houden. Het zal echter duidelijk zijn, dat dit alleen kan resulteren in verschillen in de mate van samenhang van laag tot laag in horizontale zin. Dat kan grote oppervlakten beslaan, maar stevigheidsverschillen in vertikale zin zijn zo niet te verklaren. Mooij (1960) meende van wel, maar herriep dat later (1988) terwijl ik nederig erken zelf de lezers vroeger (1957, 1961) ook wel op dwaalsporen gebracht te hebben.

HET VERBAND MET BARCHANEN

Nu was het Deecke al opgevallen dat het middelpunt van de kegelsystemen - die hij verrassenderwijs "Ringsysteme" noemde - steeds in de dalen van intussen verwaaide windribbels ligt. Ook Gripp zag dat verband. Op het strandoppervlak dat als het ware omsloten wordt door de armen van een barchaan (= sikkelduin) komen windribbels voor. Naarmate ze verder verwijderd zijn van de barchaan verlopen die ribbels rechtlijniger en meer parallel aan elkaar. Als het begint te regenen stroomt het water eerst oppervlakkig naar de dalen tussen de ribbels en zakt daar de bodem in. Dit wegzakken gebeurt echter niet gelijkmatig over de gehele geullengte, maar plaatselijk als taps toelopende kegels of trechters. In zo'n geval is de hoeveelheid regenwater te klein om het gehele oppervlak van zandribbels te kunnen bevochtigen en aan elkaar te plakken. Op sommige plaatsen kunnen de kegels diep genoeg gereikt hebben om diepere vochtige laagpakketten of zelfs het grondwater te bereiken. Dan ontstaan er cilinders uit de kegels. Maar of het kegels of zuiltjes worden: in beide gevallen is nat, plakkerig zand omgeven door los, droog zand.

Op stranden verlopen de barchanen in de lengterichting van het strand. Dit komt doordat er alleen dan voldoende zand verstuift om tot barchanen opeen te hopen. Als de wind draait verwaait de barchaan snel. Het tevoren slechts oppervlakkig doorregende zanddek boven aan de windribbels volgt al spoedig daarna, maar het vochtiger zand in de dalen der windribbels blijft langer staan. Daar vertonen zich ronde, natte schijven of koeken. Bij voortgaande deflatie komen de zandkegels allengs duidelijker tevoorschijn. Voor de deflatie begint staan ze het diepst, maar aan het eind ervan juist het hoogst ten opzichte

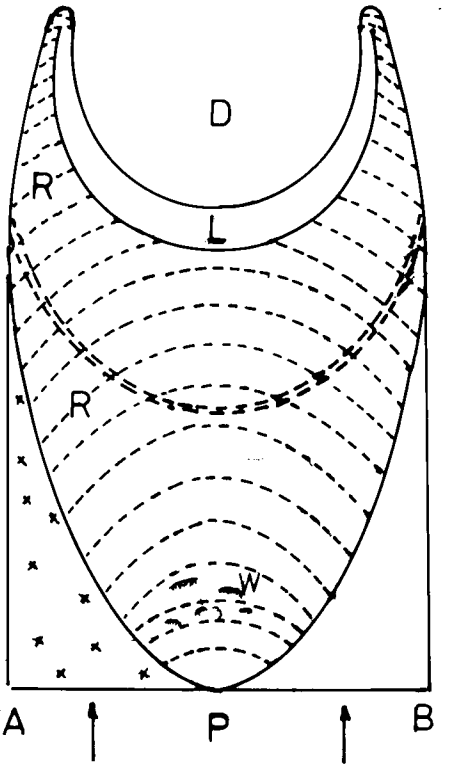


Fig. 2 Schematische weergave van een barchaan (naar K.Gripp).
A-B = grootste breedte, tevens de breedte waarover zand wordt opgevangen.
W = kleine uitgeblazen kommen.
R = windribbels.
L = lijzijde waarlangs zand bezinkt onder een hoek van max. 34°.
d = vlakte met windribbels waaruit zich eventueel zandkegels vormen.

van de naaste omgeving. Een lang bestaan is hen echter niet beschoren want binnen een etmaal zijn ze weggewaaid.

(Intussen noemden Hendrickx et al (1988) meer finesses van het verschijnsel 'preferente stroombanen', die mij niet bekend waren bij het schrijven van het voorgaande. Ieder kan hiermee gemakkelijk op kleine schaal experimenteren, bijvoorbeeld door een plastic bloempot met lang uitgedroogde grond in een bak water te plaatsen maar net niet onder te dompelen. Het duurt uren voor de grond doordrenkt is. Langs de rand van de pot gaat het sneller dan in de kern).

Het is een van de vele verdiensten van de befaamde Karl Gripp het verband tussen barchanen, windribbels en zandkegels te hebben aangetoond. Voor het ontstaan van zandkegels is het echter niet noodzakelijk dat barchanen hun optimale ontwikkeling met hoogten van 0,5 à 1 m bereiken. Windheuveltjes van 8 à 10 cm hoogte, door Gripp "Barchan-Embryonen" genoemd, zijn al voldoende.

FOSSIELE ZANDKEGELS

Ik citeer hier vooral Gripp, maar ook Deecke had het snel uiteenvallen van de rijen zandkegels al opgemerkt. Niettemin leek het Deecke vanzelfsprekend, dat ze gemakkelijk zouden kunnen fossiliseren. Hij wees op de kegels in de Balkazandsteen aan de zuidrand van Bornholm, een formatie die tot het complex Nexözandsteen behoort. Balkazandsteen op zichzelf bevat veel Ondercambrische levenssporen. Daardoor onderscheidt deze zich van de oostelijker gelegen steriele zandsteen van Nexö, die ongeveer 30 miljoen jaar ouder is.
Die kegels in de Balkazandsteen vertonen een eigenaardige opbouw. Hun uiterste diameter varieert tussen 25 en 120 mm, terwijl de grootste hoogte tussen 35 en 125 mm ligt. In bovenaanzicht zien we een per specimen verschillend aantal concentrische, cirkelronde ringen, die de begrenzing markeren van een aantal steeds kleiner wordende kegels met afgeronde spitsen. Die begrenzing bestaat soms uit biotietschubjes die evenwijdig aan de kegelwanden liggen. In dat geval kan het lukken om de kegels er los en gaaf uit te kloppen (fig. 3). In andere exemplaren zien we glaukonietkorrels in plaats van biotiet. Er komen er ook voor waarin dichte kwartsietische ringen worden afgewisseld door licht geel-bruine, waarin de zandkorrels nog enigszins te onderscheiden zijn. Die zitten wel zo stevig in elkaar dat de kegels er niet gaaf uitgeklopt kunnen worden. In een blok zijn meestal kegels van verschillende grootte te zien. Ze staan altijd met de grootste

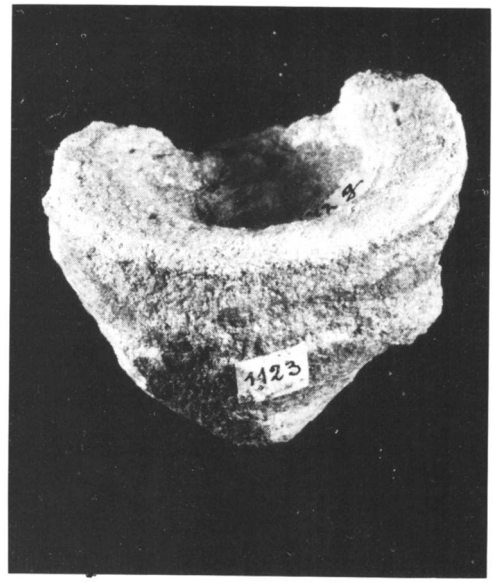


Fig. 3 Uit kegelzandsteen genomen kegel. Moedergesteente van Stroby, Bornholm. Verz. Stad- und Kreismuseum Fürstenwald a/d Spree, DDR. Leg. W.Bennhold. Foto Dr. W. Zwenger.

diameter naar boven, dus rustend op hun sterk afgeronde top. In tegenstelling tot de recente zandkegels aan onze stranden vertonen deze fossiele kegels geen spoor van afzettingsgelaagdheid (fig. 4, 5, en 14).

DRUKKEGELS OF LEVENSSPOREN?

De oude Deense onderzoekers meenden dat de kegels door hoge druk veroorzaakt waren. Ze lijken een beetje op de in elkaar staande kegels in de "Tutenmergel" of tutenkalk. Die staan echter laagsgewijs met de scherpe, niet afgeronde, spitsen naar elkaar toe gekeerd, zodat er kruisvormige figuren ontstaan. Overdwars zijn ze gerimpeld. Hun spitsen zijn zo scherp dat ze in Duitsland ook wel Nagelmergel (= spijkermergel) genoemd worden. Als zwerfsteen komen ze in Nederland maar zelden voor. In het laboratorium worden kegelvormige lichamen gevormd, wanneer men de drukvastheid van gesteenten test voor bouwkundige doeleinden. Juist voor de breukgrens wordt overschreden ontstaat dan het zg. lijnenstelsel van Mohr, waarlangs bij verder opgevoerde druk platen of schilfers van de drukkegels afsplijten. Ook hierbij is net als bij tutenkalk een dubbel stel kegels of pyramiden het resultaat. De spitsen staan daarbij tegen elkaar zoals bij een speelgoeddiabolo.
De veronderstelling dat het bij kegelzandsteen om drukverschijnselen ging trok ik al eerder in

twijfel (Schuddebeurs 1969). Het leek me veel waarschijnlijker dat het hier fossiele levenssporen betreft; woonholten van dieren die voor het bekleden van hun verblijf korrels van bepaalde grootte, schelpfragmenten of plantaardige resten kozen. Ook nu zijn er legio organismen die dat plegen te doen. Maar ik wist geen verstandig woord te zeggen over de vraag wat voor beesten dergelijke bouwsels als in de kegelzandsteen gemaakt zouden kunnen hebben.

Er is wel verondersteld, dat fossiele woonholten van in kolonies levende dieren elkaar kunnen raken, maar niet zullen doorsnijden. Ik zie echter geen bezwaar om voor elkaar doorsnijdende vormingen evengoed bioturbatie als oorzaak aan te nemen (fig. 4, 5). Een nieuwe woonholte kan immers best gegraven worden op of door de plaats die kort tevoren door een ander individu verlaten werd.

Een jaar na mijn publikatie uit 1969 beschreef Wetzel (1970) een kegelzandsteen die bij Kiel was gevonden door Dr. Bock van het Geologisches Landesamt te Kiel (fig. 5). Deze zwerfsteen werd bewaard in de verzameling van het Paleontologisch Instituut van de Universiteit van Kiel. Dankzij de buitengewoon vriendelijke medewerking van Dr. Bock en van Dr. Christa Kabel, beiden te Kiel, kon ik deze vondst enkele jaren geleden in de hand nemen.



Fig. 4 Moedergesteente van Stroby, Bornholm. Kegelzandsteen. Verz. Stad- und Kreismuseum Fürstenwald a/d Spree, DDR. Leg. W. Bennhold. Foto Dr. W. Zwenger.



Fig. 5 Kegelzandsteen, zwerfsteen van Kiel, Sleeswijk Holstein, Verz. Pal. Instituut Univ. Kiel. Foto Dr. W. Bock.

De grootste afmeting van het blok is ± 50 cm. Er zijn acht kegels zichtbaar. Twee ervan vormen een acht, twee anderen zijn wat excentrisch. Aan één zijde is er een 25 mm hoog fragment van een kegel uitgenomen, die volkomen gladde wanden naliet, glad als het paarlemoer aan de binnenkant van een schelp en zonder enig relief. De korrelgrootte is zeer gelijkmatig. Zeer verspreid zijn enkele minuscule glimmerblaadjes te zien, maar niet op de grensvlakken van de kegels. De diameter van de kegels is 5 à 6 cm en hun hoogte nog minder. Blijkbaar zijn alleen de ronde toppen nog aanwezig die Wetzel als halve bollen beschreef. Hij kon er een uithalen waarna bleek dat deze een heel fijne bekleding heeft van een glimmende groene klei, waarin ook wat kooldeeltjes voorkomen.

BERGAUERIA

Wetzel verwees naar een ontdekking van Prantl (1945) die in het Midden-Ordovicium van Tsecho-Slowakije fossiele woonholten vond, die

hij ter ere van Dra. Bergauer beschreef als *Bergaueria*. De diameter van de bolletjes van Wetzel is het dubbele van die van de Tsjechische *Bergaueria*, maar als dat verschil bezwaarlijk zou blijken dan zouden misschien de grotere Noordamerikaanse *Bergaueria's* gelijksoortig kunnen zijn. Wat is er over die *Bergaueria's* bekend? Prantl schreef in het voor mij onleesbare Tsjechisch, maar Dr. Z. Gàbga te Sumperk was zo vriendelijk essentiële gedeelten van Prantl's geschrift voor mij in het Duits te vertalen. *Bergaueria perata* Prantl lijkt van opzij gezien op een rij omgekeerde cilindrische gewelven met een U-vorm, ongeveer 25 mm hoog en breed. Ze staan in kolonies bij elkaar. Het zijn opgevulde holten in mariene sedimenten, waarbij pakketten fijn zand worden afgewisseld door pakketten klei, elk van 3 à 6 cm dikte. Prantl vermoedde dat ze veroorzaakt zijn door Anthozoa. Van de dieren zelf is nooit iets gevonden (fig. 6).

Howell en Hutchinson (1958) vonden in de staat Washington overeenkomstige levenssporen in de Eagle Mountain Sandstone van Stevens County , een Paleozoische formatie. Dit spoor is ± 1½ maal groter dan *B. perata Prantl* en werd daarom *Bergaueria magna* genoemd. Ook deze auteurs vermoeden dat het gaat om graafsporen van Anthozoa (Bloemdieren, klasse Holtedieren), bijvoorbeeld skeletloze koralen, wellicht ook zeeveerachtige Bloemdieren (hoewel fossiele zeeveren eerst vanaf het Trias bekend zijn). Of het zijn zeepennen, dieren die eveneens het ondereind van hun staafvormige lichaam in door henzelf gegraven holten verbergen. Al deze dieren kunnen zich met behulp van spieren en waterdruk via kanalen die tot in de voet of steel reiken ingraven. Worden ze blootgespoeld, dan graven zij zich opnieuw in. Zulke zeeanemonen komen ook levend in onze Waddenzee voor. Behalve

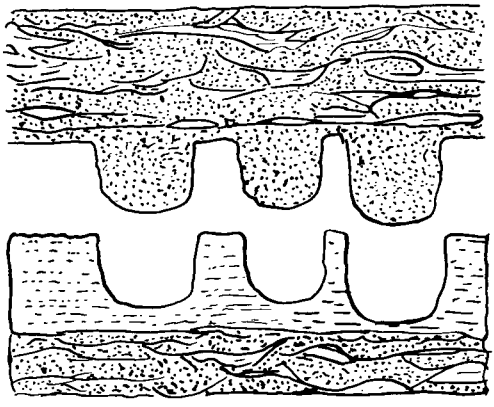


Fig. 6 Doorsnede door een kolonie van *Bergaueria perata* Prantl 1946. Naar Prantl.



Fig. 7 *Bergaueria* radiata Arai en Mc. Gugan 1969. De onderzijde vertoont radiale ribbels waarin weer secundaire ribbels. Diameter vrijwel altijd ± 26 mm. Naar Alpert (1973).

zulke rechtopgaande poliepenkolonies zijn er ook platliggende, zoals het Surinaams zeeviooltje. Van deze kolonies steken alleen de bovenste uiteinden van de poliepen met hun tentakels boven de modder uit. Keus genoeg dus, maar geen zekerheid. Een variatie op ons thema werd door Apert (1973) *Bergaueria radiata* genoemd. Deze vorm is kleiner, meer in de breedte en ondieper ontwikkeld dan *B. perata*. De holten zijn in fijn zand gegraven en een dunne laag leisteen of schalie omhult de groenachtige vullingen terwijl het zand taankleurig geel-bruin is. Deze eerder schotel- dan cilindervormige holtevullingen staan in groepen bijeen en raken elkaar net of net niet. De onderkant is centraal wat ingedeukt en heeft opvallende uitstekende ribbels, radiaal verspreid. Daartussen kunnen nog verscheidene kleine secundaire ribbels liggen. Aan de buitenzijde van het spoor verloopt een concentrische verdieping (fig. 7).

Tussen 1948 en 1973 werd *Bergaueria* in diverse variaties op vier plaatsen in de Verenigde Staten, maar ook in Canada, New Foundland, Polen, Wales en Noord-Spanje gevonden. Maar al deze vormen komen maar heel weinig overeen met de struktuur in de Bornholmer kegelzandsteen die wel drie maal zo hoog en breed kan zijn. Verder bezitten *Bergaueria's* een struktuurloze vulling met een dikwijls gesculptureerde buitenomtrek, maar nooit een "kegel in kegel" struktuur. Kortom: Wetzels advies, de kegelvormige sporen te vergelijken met *Bergaueria* leidde ons op een dwaalspoor.

MONOCRATERION

Intussen kwamen de levenssporen van de Balkazandsteen opnieuw in de belangstelling en wel van de Deen Bruun-Petersen (1973). Het gaat hier om een zandsteencomplex, dat dicht bij de kust, net buiten de getijdenzone werd afgezet. Er zijn verschillende Ondercambrische fossiele levenssporen in gevonden, zoals *Skolithos linearis* Haldeman, *Monocraterion tentaculatum* Torell en *Diplocraterion parallelum* Torell. Voor ons is vooral *Monocraterion* van belang. Dat levensspoor vertoont een cilindervormige buisopvulling, meestal 3 à 4 mm dik, die door een aantal trechters loopt, welke als regel 10 à 12 mm breed zijn. Aangenomen wordt dat de bovenste trechter aan het oppervlak van de zeebodem uitmondde. Iedere nieuwe sedimentatie vulde die trechter en noodzaakte de bewoner een etage hoger een nieuwe trechter te maken (fig. 8). Die bewoner was waarschijnlijk een worm, maar van het dier zelf is nog nooit iets gevonden. Zo'n opeenvolging, waarbij het dier gedwongen was zich naar boven, althans vooruit, te verplaatsen werd door Seilacher (1954) een retrusieve bouw genoemd. Andersom komt ook voor: dat een dier zich verder moet ingraven als er sediment wordt weggespoeld. Dan ontstaat een protusieve bouw (fig. 9). Als regel zal zo'n verhuizing langzaam plaatsvinden, maar er kan ook wel eens bekwame spoed gewenst zijn, bijvoorbeeld bij sterke stroming of als er een rover nadert. In zulke omstandigheden gaat het er allicht wat onordelijker aan toe. Een voorbeeld van zo'n vluchtspoor zien we m.i. in figuur 10. Het is een sterk vergrote uitgave van *Monocraterion* waarvan de buisdikte ± 10 mm is en de grootste diameter van de trechter ± 70 mm. Waar de buis eindigt is slechts één trechter te zien en daarbinnen ligt een uiterst onordelijk door elkaar gesmeten hoeveelheid zand. Aan de bovenkant is de tamelijk goed ronde buitenomtrek van de buitenste trechter wel te volgen, maar daarbinnen zien we geen doorsneden meer van andere concentrische ringen. In plaats daarvan tekent zich een rechthoek af. Toegegeven, men zou zich duidelijker voorbeelden kunnen voorstellen, maar daar dit de enige zwerfsteen van dit type is die ik ooit vond lijkt enige clementie hier op zijn plaats. In Zweden is tweemaal een zwerfsteen met zo'n grote *Monocraterion* gevonden. Verdere vondsten zijn mij evenmin bekend als de plaats van het moedergesteente.

Een andere variatie op het thema *Monocraterion* schijnt alleen in de Balkazandsteen voor te ko-

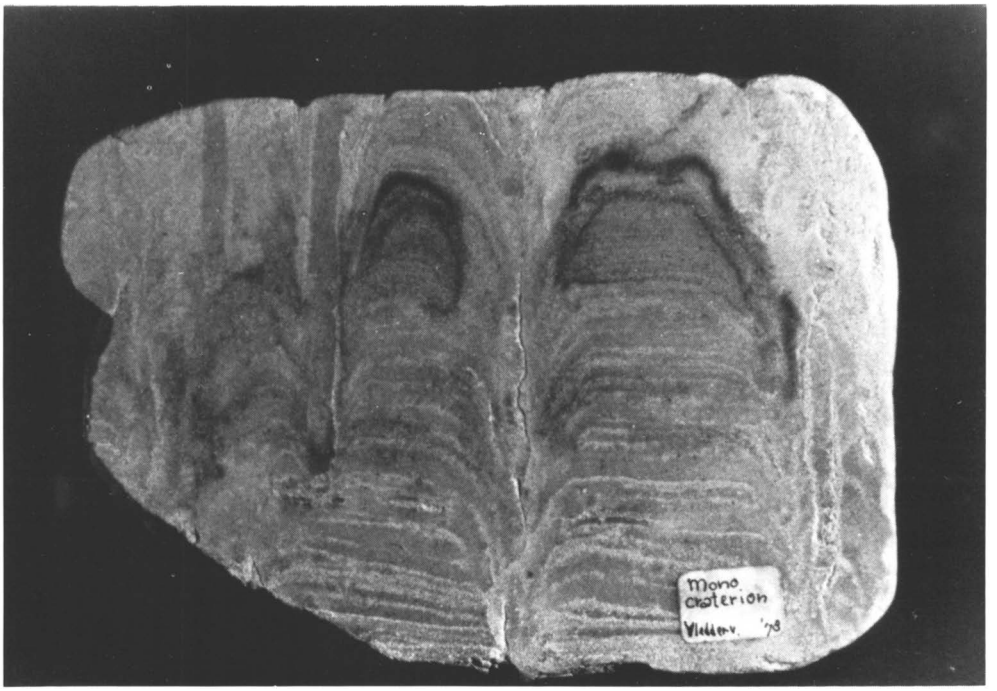


Fig. 8 Zwerfsteen van Vledderveen (Dr.), met het levensspoor *Monocraterion tentaculatum* Torell 1870. Slijpvlak. Verz. en foto H. Jager.

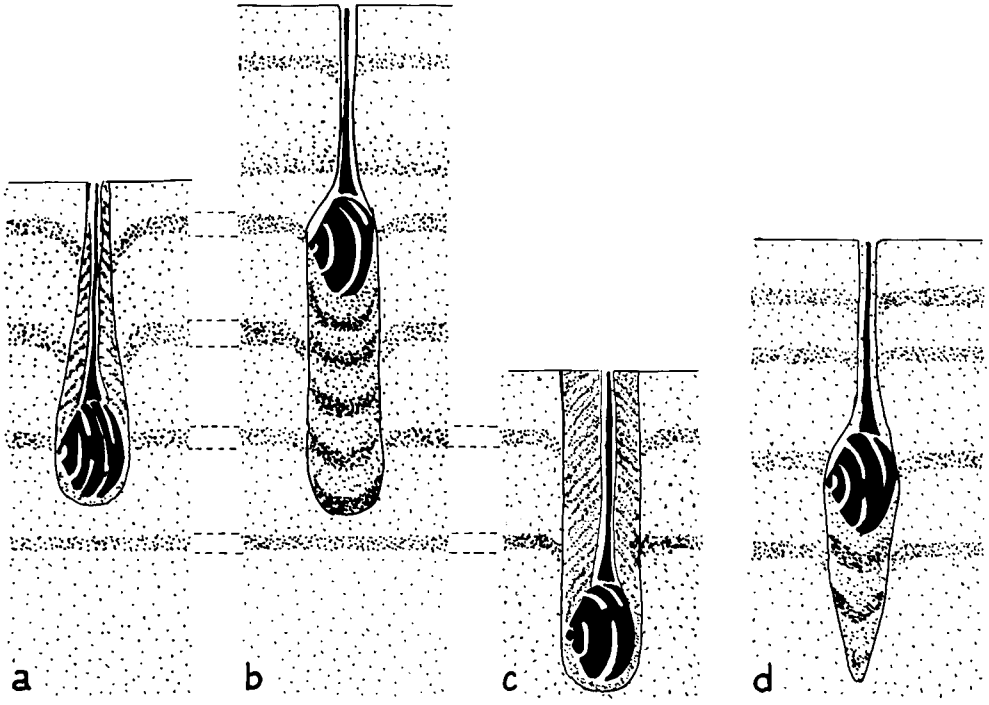


Fig. 9 Woelsporen van een in de zeebodem levend schelpdier, bijv. *Mya arenaria* (Slijkgaper), als aanwijzingen voor het zich verplaatsen.
a. Geen echte verplaatsing. Een groeiend dier graaft zich dieper in. Het naar boven kegelvormig vernauwde woelspoor ligt boven de schelp.
b. Snelle sedimentatie. Het dier woelt zich omhoog en een woelspoor van gelijkblijvende breedte ligt onder de schelp.
c. Erosie. Het dier graaft zich dieper in en een woelspoor van gelijkblijvende breedte bevindt zich erboven.
d. Zeer langzame sedimentatie. Een groeiend dier past zich aan bij de hoger wordende oppervlakte van de zeebodem. Het zich naar boven kegelvormig verwijdende woelspoor ligt onder het schelpdier. Naar Reineck (1958).

men (fig. 11). Dit levensspoor werd door Stehmann (1935) als *Lepocraterion* beschreven. Hij schreef dat de zwarte lagen, tussen de normaal lichtgeelbruine van de zandsteen, hun kleur danken aan koolstof, wellicht afkomstig van algen of zeewier. Stehmann nam aan dat de worm plantedeeltjes gebruikt had om de wand van zijn huis te bekleden. Inderdaad zijn er legio voorbeelden bekend van recente dieren die materiaal selecteren en dat met door henzelf afgescheiden slijm aan de wanden van de woonholte bevestigen.

Bruun-Petersen vond bij Boderna op Bornholm een los blok Balkazandsteen waarin hij een aantal verschijnselen waarnam waarmee we nu bezig zijn. Het gaat om een kegelzansteen als in figuur 4 en 5. Van één der kegels maakte hij een doorsnede die hij als volgt beschrijft: de buitenste kegel heeft een scherpe grens tegen de omringende



Fig. 10 Zwerfsteen van Langelo (Dr.). Zijaanzicht met o.a. twee Monocraterionachtige buizen van 10 mm dikte. Foto H. Jager.



Fig. 11 Zwerfsteen met *Lepocraterion Stehmann* (1935) (= *Monocraterion tentaculatum* Torell 1870). Met donkere materie (koolstof?) op laagvlakken en als bekleding van de woonholten. Vindpl. Damsdorf, Sleeswijk-Holstein. Verz. en foto H. Jager.



Fig. 12 Gepolijst zaagvlak door de middelpunten van twee ringsystemen van de zwerfsteen van fig. 5. Twee ordelijke "kegel in kegel" strukturen duiden op geleidelijke aanpassing aan de sedimentatie. Foto F. Willemsen.

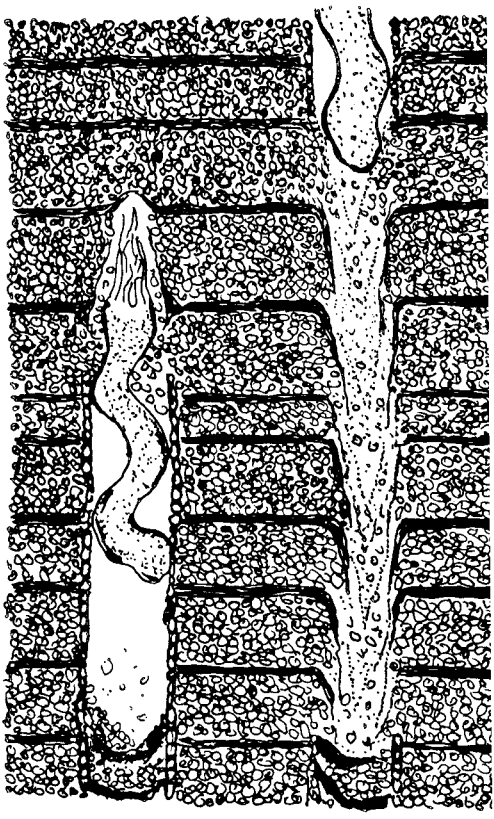


Fig. 13 Voorbeeld van een vluchtspoor van een zeeanemoon *(Cerianthus),* die bij herhaling door sediment werd bedekt. De oude woonplek werd verlaten en het dier bewoog zich geleidelijk naar boven.

zandsteen waarin een zwarte substantie aanwezig is, hetzij een fijnkorrelige ferrioxyde, dan wel een of andere organische stof. Bruun-Petersen onderzocht die stof niet, maar overeenkomst met de koolstof in de Balkazandstenen van Wetzel en Stehmann lijkt mij evident. Naar het midden en omhoog zet zich de vorming voort, eerst met een nog net herkenbare conische vorm, maar nog hoger ligt een vaag trechtervormige warboel van chaotisch zwart zand. In dit gebied is geen centrale buis te vinden en evenmin een voortzetting van een buis eronder, zoals bij *Monocraterion.* Bruun-Petersen concludeert dat het een vluchtspoor is. Dat lijkt me in dit geval de juiste gevolgtrekking: dit dier vluchtte haastig. Zowel Wetzel als Bruun-Petersen beschikten over slechts één specimen, hetgeen hun inzicht in deze materie beperkte. Als regel zijn immers meer exemplaren van een soort of type nodig om een relevante interpretatie te kunnen geven van de waargenomen verschijnselen. De vondst van Bruun-Petersen wijst naar mijn mening op een uitzonderingstoestand, want meestal zitten de kegels heel ordelijk in- en boven elkaar. In verscheidene gevallen kunnen ze gaaf uit het gesteente genomen worden. De veroorzakers van het levensspoor hebben zich wel herhaaldelijk naar boven verplaatst, maar deden dat op hun gemak.

De zwerfsteen als afgebeeld op figuur 5 werd doorgezaagd over de middelpunten van twee ringsystemen. Het gepolijste zaagvlak toont twee regelmatige "kegel in kegel" strukturen, geen doorgaande buizen en beslist geen chaotische doormenging van sediment (fig. 12). Hoewel niet volkomen is er toch een duidelijke overeenkomst met het door Schäfer (1972) afgebeelde spoor van de zeeanemoon *Cerianthus* (fig. 13), die zich door periodieke bedekking met sediment genoodzaakt zag zijn woonholte herhaaldelijk omhoog te verplaatsen.

Zo blijkt de kegelzandsteen van Bornholm geen afzetting te zijn van fossiele zandzuiltjes, maar van een fossiel levensspoor. De naam van dit fossiele levensspoor kan nu worden vastgesteld. Dit zal gebeuren in een aansluitend artikel, waaraan gewerkt wordt.

DANKZEGGING

Dankzij veler hulp kon dit artikel geschreven worden. Na herhaalde oproep in Grondboor & Hamer aan vinders van kegelzandsteen meldde zich als enige in Nederland de heer Laarhuis te Rossum. Een oproep in Geschiebekunde Aktuell werd beantwoord door Dr. W. Zwenger te Furstenwalde in de DDR. Dr. W. Bock en Dra. Christa Kabel stonden mij toe het Kieler exemplaar te bezien en hielpen mij aan in Nederland niet aanwezige literatuur. Dr. Z. Gába te Sumperk hielp mij met Tsjechische literatuur. Het bestuur van het museum te Fürstenwalde en Dr. W. Bock te Kiel stelden foto's ter beschikking. Prof. Dr. G.J. Boekschoten las het manuscript kritisch door. Verdere medewerking verleenden de bij hun foto's genoemde fotografen. Mevr. K. van Schalkwijk-von Henning verzorgde het typewerk, de heer R. Smakman de tekeningen en de heer H. Pijlman de vertaling van de samenvatting. Hen allen zeer hartelijk dank!

ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Artikel werden fossile Lebensspuren aus dem unterkambrischen Balkasandstein von der Insel Bornholm beschrieben. Als Geschiebe kommen sie in den Niederlande und Deutschland selten vor. Es handelt sich um kegelförmige Strukturen in Ablagerungen, die in einer untiefen See gerade außerhalb der Gezeitenzone entstanden. Die früher wohl angenommene Übereinstimmung mit Sandkegeln die durch bevorzugte Strömungsbahnen (preferential pathways) zwischen Windrippeln am Strande entstehen können, erwies sich als nicht haltbar. In einem anschließenden Artikel werden diesen fossilen Lebensspuren benannt werden.

LITERATUUR

ALPERT, S.P., 1973: Bergaueria Prantl (Cambrium and Ordovicium), a probable actinian trace fossil. Journal of paleont., Vol.47, nr.5:919-924.

ARAI, M.N., 1968: A problematical Coelenterate(?) from the Lower Cambrian, near Moraine Lake, Banf Area, Alberta. Journal of paleont., Vol.42,nr.1:205-209.

BRUUN-PETERSEN, J., 1973: "Conical structures" in the Lower Cambrian Balka Sandstone, Bornholm (Denmark), and in the Lower Devonian Coblenz Sandstone, Marburg, (Western Germany). Neues Jahrbuch f. Geol. und Paleont.:513-528.

DEECKE, W., 1906: Einige Beobachtungen am Sandstrande. Centralblatt für Mineral. Geol. und Paläont. Jhrg.1906:721-727.

GRIPP, K., 1961: Ueber Werden und Vergehen von Barchanen an der Nordsee-Küste Schleswig-Holsteins. Zeitsch. für Geomorphologie, Neue Folge, Bd.5:24-36. Berlin.

HÄNTZSCHEL, W., 1975: Treatise on invertebrate paleontology Part W. Trace fossils and problematica. Univ. of Kansas and Geol. Soc. of Am.:1-296. Kansas.

HENDRICKX, J.M.H., L.W. DEKKER en P.A.C. RAATS, 1988: Het ontstaan van zandzuiltjes. G.& H.nr.6:173-175. Oldenzaal.

HOWELL, B.F. & R.M. HUTCHINSON, 1958: New lower paleozoic Coelenterate from Washington. Bull. of the Wagner Inst. of Science. Vol.33,nr.2:13-15. Washington.

MOOIJ, J., 1957: Eolische destructievormen op een zandstrand. G.& H.nr.1:14-18. Oldenzaal.

MOOIJ, J., 1960: Cohesie van zandstrand. G.& H.nr.6:186-191. Oldenzaal.

MOOIJ, J., 1988: Zandzuiltjes (2). G.& H.nr.5:144. Oldenzaal.

REINECK, H.-E., 1958: Wühlbau-Gefüge in Abhängigkeit von Sediment-Umlagerungen. Senckenbergiana,nr.1/2:1-23. Frankfurt/Main.

SCHÄFER, W., 1962: Aktuo-Paläontologie nach Studien in der Nordsee:1-666. Frankfurt/Main.

SCHÄFER, W., 1972: Ecology and palaeoecology of marine environments:1-568. Edinburgh.

SCHUDDEBEURS, A.P., 1957: Kegelzand en zandsteen. G.& H.nr.2:15. Oldenzaal.

SCHUDDEBEURS, A.P., 1961: Nog iets over zandkegels en zandpaddestoelen. G.& H.nr.10:281-285. Oldenzaal.

SCHUDDEBEURS, A.P., 1969: Fossiele levenssporen. G.& H.nr.4/5:125-216. Oldenzaal.

SEILACHER, A., 1960: Lebensspuren als Leitfossilien. Geol. Rundschau. Bd.49/1:41-50. Stuttgart.

STEHMANN, E., 1935: Über Wurmröhhren im Nexösandstein auf Bornholm. Zeitsch. für Geschiebekunde. Leipzig.

WETZEL, W., 1970: Paläozoische Geschiebe mit Wohnbauten fossiler Tiere. Der Geschiebesammler, nr.5, 1:13-21. Hamburg.