

onderwerpen werden nogal willekeurig gekozen. Er werd niet naar gestreefd, de lezers stelselmatig te informeren over actuele zaken. Vooral onderwerpen die toch wel in de gewone krant stonden misten daardoor de boot, zoals de meteoriet "Glanerbrug" of grote vulkaanuitbarstingen.

Het aantal boekbesprekingen is legio. De recensenten toonden zich niet altijd tevreden. Zelfs (of juist?) op werk van medeleden werd soms ongezoeten kritiek geleverd. Als voorbeeld even deze slotzin: "Al met al een boek dat, mede gelet op de exorbitant hoge prijs, noch voor de beginner noch voor de gevorderde is aan te bevelen."

Het lijkt wel of er aan de onderwerpen nauwelijks iets valt toe te voegen.

Toch ligt er hier en daar nog een veldje braak, zeker wanneer we korte berichten als de Geovaria even buiten beschouwing laten. Hoewel er vijf geologische reizen naar Tsjechië zijn georganiseerd, ontbreekt een artikel over dit reisdoel. Over de Vogezen werd meer dan eens geschreven maar bij mijn weten nog nooit over het Zwarte Woud of de Kaiserstuhl. Vergeefs zocht ik naar literatuur over ofiolieten en ook over vulkanisme werd ik weinig gewaar. Aan het onderwerp evolutie heeft haast niemand zich gewaagd en wie zich wil verdiepen in paleo-anthropologie kan ook maar beter andere bronnen raadplegen. Vreemd is ook, dat vrijwel niets is te vinden over paly-nologisch onderzoek. En wie vindt eens wat conodonten of doet eens onderzoek aan fossiele zeepokken?

Niettemin bieden de publicaties van de NGV een schat aan informatie. Zo lang ik lid ben, heb ik alle jaargangen van Grondboor & Hamer en alle Starlingia's dan ook met zorg bewaard. Alle voorafgaande jaargangen - ook van de Publicaties - kon ik nog op de kop tikken. De oudste banden ruiken nog naar de sigaren van Ligterink, de daaropvolgende bevatten aantekeningen van dr. Spiker en aan de jaargangen vanaf 1970 bewaar ik tal van persoonlijke herinneringen. Een kostelijk bezit.

Adres van de auteur

P. Venema
Magnoliastraat 20
7552 AX Hengelo



Sedimentaire bekkens in Centraal-Scandinavië

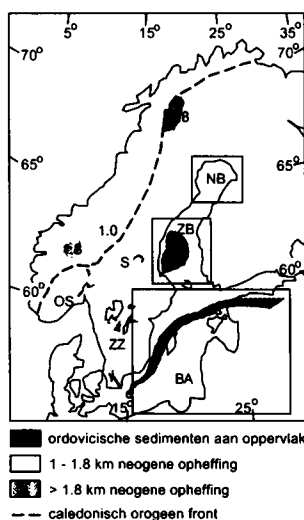
Over de herkomst van noordelijke sedimentaire zwerfstenen en fossielen

R.T. van Balen

Dit artikel gaat over de geologie van de voornaamste herkomstgebieden van noordelijke sedimentaire zwerfstenen en fossielen, te weten de intrakratonische bekkens onder de huidige Botnische Golf en de Oostzee. Zij herbergen drie potentiële herkomstgebieden van de Oost-Nederlandse verkieselde ordovicische fossielen. De geologische relatie tussen rapakivigranieten en de bekkens wordt behandeld. Verder wordt het effect van de neogene opheffing van grote delen van Scandinavië op zwerfsteentransport besproken.

Inleiding

Dankzij hun fossielinhoud vormen sedimentaire gesteenten van noordelijke herkomst een belangrijk onderdeel van de in Nederland verzamelde zwerfstenen. In grindgroeves van Midden- en Oost-Nederland worden verkieselde losse fossielen en verkieselde kalkstenen van noordelijke herkomst aangetroffen, terwijl zich in Noord-Nederland fossielrijke kalkstenen en schalies bevinden in keileem. Met name de rode schollenkeileem is rijk aan deze gesteenten. In literatuur over de herkomst van noordelijke gesteenten wordt vooral aandacht geschonken aan magmatische en metamorfe gesteenten, omdat op het vasteland van Scandinavië de sedimentaire gesteenten relatief weinig voorkomen, maar de kristallijne gesteenten vrijwel overal aan het oppervlak bestudeerd kunnen



Figuur 1. Schematische kaart van Scandinavië met daarop aangegeven de voorkomens van ordovicische sedimentaire gesteenten, de neogene opheffingsgebieden en de locatie van figuren 2, 3 en 4. NB = noordelijke Botnische Golf-bekken, ZB = zuidelijke Botnische Golf-bekken, BA = Baltische bekkens, ZZ = Zuid-Zweden (Vänern, Vättern, Zuidoost-Skåne), OS = Oslo slenk, S = Siljan meteorietkrater.

worden. Voor de sedimentaire gesteenten is men wat ontsluitingen betreft aangewezen op de relatief kleine voorkomens in Zuid-Noorwegen, Midden- en Zuid-Zweden, de eilanden langs de kusten van de Oostzee alsmede de eilanden en het vasteland van de Baltische staten.

Vanwege de genoemde ontsluitingen in de kuststrook en op eilandjes in de Oostzee gaat men er al lange tijd van uit dat de bodem van de Oostzee uit paleozoïsche en mesozoïsche sedimentaire gesteenten bestaat. Daarom wordt de herkomst van ordovicische en silurische zwerfstenen en fossielen meestal gezocht in een nauwe zone, lopend van Bornholm via Gotland naar Estland (figuur 1). Op basis van zwerfsteenvondsten in Midden- en Zuid-Zweden wordt sinds het begin van deze eeuw vermoed dat ook onder de

Botnische Golf over een groot areaal fossielhoudende sedimentaire gesteenten voorkomen. Seismisch onderzoek, uitgevoerd sinds eind jaren zeventig, bevestigt deze vermoedens. Enkele boringen in deze gebieden en zwerfsteen-onderzoek in de gebieden eromheen geven een indruk van de voorkomende typen gesteenten (zandstenen, kalkstenen, etc.).

De seismische gegevens laten zien dat de precambrische en paleozoïsche sedimenten in Centraal-Scandinavië voorkomen in ovale, schotelvormige depressies in de continentale aardkorst. Zulke bekkenstelsels worden intrakratonische bekken genoemd. Een recenter voorbeeld van zo'n depressie is het Noordzee-bekken. In totaal worden in Centraal-Scandinavië drie verschillende intrakratonische bekken onderscheiden: het noordelijke Botnische Golf-bekken, het zuidelijke Botnische Golf-bekken en het Baltische bekken in de Oostzee (figuur 1).

De vorming van de bekken

De bekken zijn in aanleg gevormd na de svecofennische gebergtevorming. Er is een causaal verband tussen rapakivigraniet-intrusies en de bekkenvorming (Stel et al., 1993). In de bekken zijn grote hoeveelheden klastische sedimenten afgezet, waartoe onder andere de jotnische zandsteen behoort.

De tweede en waarschijnlijk belangrijker bekkenvormingsfase vond nog in het Precambrium plaats en wel gedurende het laatste deel van het Vendian. De initiële vorming van de lapetus Oceaan ten westen en ten zuiden van het Baltisch Schild was verbonden aan deze tektonische fase. In deze oceaan zijn de sedimenten van de Caledoniden afgezet. Deze bekkenvormingsfase heeft niet alleen de Botnische Golf-bekken en het Baltische bekken beïnvloed, maar heeft ook kleine bekken in Zuid-Zweden (Vänern, Vättern, Zuidoost-Skåne) doen ontstaan.

De drie Centraal-Scandinavische bekken vallen geografisch ongeveer samen met de huidige Botnische Golf en Oostzee. Dit is beslist geen toeval: tijdens de vergletsjeringen van Scandinavië gedurende het Plio- en Pleisto-

ceen kon het landijs zich gemakkelijk een weg banen door de relatief zachte gesteenten in de Centraal-Scandinavische bekken en die weg eroderen. Door het stijgen van de zeespiegel tijdens het smelten van de ijskap zijn de uitgesletten plekken opgevuld met zeewater.

Resultaten van analyses van radioactieve omzettingen in apatiet geven aan dat de oorspronkelijke verspreiding van paleozoïsche sedimentaire gesteenten in Zuid-Noorwegen en Zuid-Zweden veel groter geweest is dan heden (Zack et al., 1988). Deze gesteenten zijn ooit afgezet op een continentaal plat van de lapetus Oceaan. De thans resterende paleozoïsche sedimenten in Zuid-Zweden en Zuid-Noorwegen (Oslo-slenk, Vänern, Vättern, Zuidoost-Skåne) bevinden zich in bekken-depressies, en waren daarvoor beschermd tegen latere grootschalige erosie.

Evolutie van de drie Centraal-Scandinavische bekken

Het noordelijke Botnische Golf-bekken

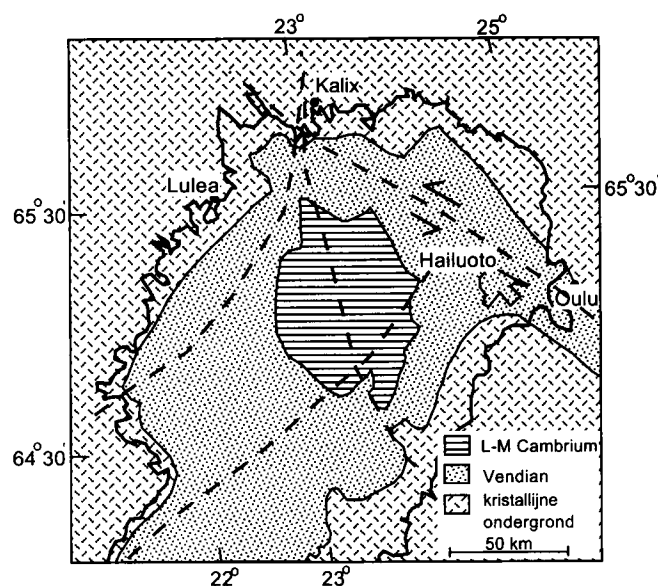
De hieronder volgende uiteenzetting is gebaseerd op Wannäs (1989).

Bij dit bekken gaat het om een klein, laat-proterozoïsch bekken, gelegen in het noorden van de Botnische Golf en het aangrenzende vasteland van Finland (figuur 2). De sedimenten in het bekken zijn van precambrische tot (waarschijnlijk) midden-cambrische ouderdom. De precambrische sedimenten komen aan de oppervlakte op een klein eilandje (Hailuoto) en in de omgeving van Oulu (Finland). Op het aangrenzende vasteland van Finland zijn de precambrische sedimenten verder aangetroffen in een 1 km diepe, 10 km brede en 65 km lange slenk die tektonisch gezien

deel uitmaakt van het bekken in het noorden van de Botnische Golf. De cambrische sedimenten zijn niet in situ aangetoond maar hun aanwezigheid wordt verondersteld op basis van zwerfsteenvondsten en geofysische kenmerken (seismische snelheden en reflectie-kenmerken). Er zijn geen aanwijzingen voor het voorkomen van ordovicische en silurische gesteenten in dit bekken.

De gemiddelde totale dikte van alle sedimenten is ongeveer 200 m en loopt lokaal op tot maximaal 700 m. De gemiddelde dikte van de veronderstelde cambrische sedimenten alleen is slechts 80 m. De sedimentatie werd kort voor het begin van het Cambrium onderbroken, waarbij grootschalige erosie van precambrische sedimenten plaats vond. Daardoor is het scheidingsvlak tussen de cambrische gesteenten en de precambrische serie een erosief-contact (discordantie). In het noordelijke Botnische Golf-bekken worden de cambrische sedimenten bedekt door kwartaire afzettingen, 20 tot 100 m dik, bestaande uit glaciële kleien, zanden en keileem.

Radiometrische dateringen van precambrische sedimenten in de Finse slenk geven een ouderdom van 1,3 tot 1,4 Ga (1 Ga = 1000 miljoen jaar). Deze uitkomsten geven aan dat (een deel van) deze gesteenteserie van jotnische ouderdom is. De gesteenten op Hailuoto daarentegen dateren uit



Figuur 2. Geologisch schetskaartje van het noordelijke Botnische Golf-bekken (naar Wannäs, 1989).

het Vendian. De precambrische sedimenten bestaan uit klastische afzettingen. Als fossielen worden alleen acritarchen uit het Vendian beschreven; deze zijn afkomstig uit boorkernen van Hailuoto. De ouderdom van deze microfossielen ligt tussen 1,2 tot 0,6 Ga. De cambrische zwerfstenen (aangetroffen op de westkust van Hailuoto) bestaan uit lichtgrijze, fijnkorrelige zandstenen met ichnofossielen (*Monocraterion* en *Diplocraterion*).

De tektonische geschiedenis van dit bekken wordt gekenmerkt door horizontale verplaatsingen lang een NW-ZO georiënteerde zwaktezone in de aardkorst, parallel aan de zuidgrens van het archeicum in Noord-Finland. De zwaktezone stamt in aanleg uit de svecofennische orogenese. Doordat deze zone waarlangs de bewegingen plaats vonden niet perfect recht verloopt, hebben de horizontale verplaatsingen veroorzaakt, dat de aardkorst als het ware lokaal uit elkaar getrokken werd. Hierdoor ontstonden depressies in het aardoppervlak, die samen het noordelijke Botnische Golfbekken vormen. Het bekken is tijdens en na de vorming opgevuld met sedimenten. Zoals hiervoor is aangegeven zijn er twee episodes geweest waarbij horizontale verplaatsing - en dus bekkenvorming - plaats vond: de eerste tijdens de sveconorvegische orogene fase (1,2 - 0,9 Ga), de tweede tijdens het Vendian (circa 600 miljoen jaar geleden).

Gedurende de caledonische orogenese zijn de cambrische sedimenten verder naar beneden verplaatst langs de breuken in de zwaktezone. Zodoende werden zij beschermd tegen latere erosie.

Het zuidelijke Botnische Golfbekken

In het zuiden van de Botnische Golf, ten noorden van de Ålandseilanden, ligt eveneens een precambrisch bekken (figuur 3). Gesteenten, afgezet in dit bekken, bevinden zich aan de oppervlakte op het aangrenzende vasteland van Zweden (Gävle), de Ålands-eilanden (Lumparfjärden) en het aangrenzende vasteland van Finland (bij Pori - in een kleine slenk met een NW-ZO oriëntatie - en bij Vaasa)(Winterhalter, 1972; Axberg, 1980; Lehtovaara, 1982). De sedimenten in het bekken

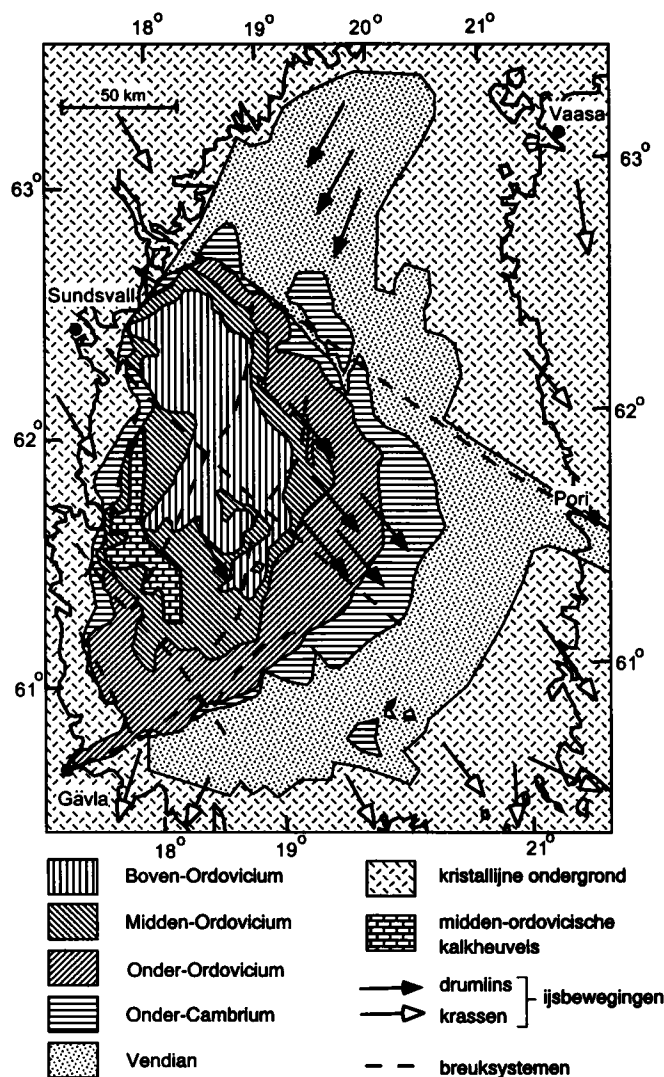
zijn van precambrische tot ordovicische ouderdom.

De vormingsgeschiedenis van dit bekken is minder goed bekend dan die van het noordelijke Botnische Golfbekken. Zeker is, dat er tektonische activiteit was tijdens afzetting van de jotnische zandsteen. Verschuivingen vonden plaats langs NW-ZO en ZW-NO gerichte, steile breuken (Winterhalter, 1972; Axberg, 1980), vergelijkbaar met de situatie tezelfdertijd in het noordelijke Botnische Golfbekken. Tijdens de breukverplaatsing trad er intrusie op van doleriet (gangen en platen) en rapakivigraniet-batholieten. De breuken zijn gereactiveerd tijdens of vlak voor het Onder-Cambrium (Axberg, 1980).

De precambrische sedimenten, afgezet in dit bekken, bestaan voornamelijk uit rode zandsteen, maar bevatten ook conglomeraten, siltstenen, schalies en vulkanische afzettingsgesteenten. Dit pakket gesteente heeft een gemiddelde dikte van 1 km (Winterhalter, 1972; Axberg, 1980). De ouderdom ervan is Midden-Riphean, dezelfde als die van de rapakivigranieten rondom het bekken (Åland, Gävle, Rödön, Nordringå, Viborg) en de bovengenoemde doleriet (Axberg, 1980; Korja & Heikkinen, 1995). Vóór de afzetting van de paleozoïsche gesteenteserie heeft grootschalige erosie plaatsgevonden, waarbij een schiervlakte onstond (Winterhalter, 1972; Axberg, 1980) en waarbij grote hoeveelheden sedimenten zijn verwijderd (Winterhalter, 1972).

De paleozoïsche gesteenten in het Zuid-Botnische bekken zijn maximaal 375 m

dik (Axberg, 1980). De onder-cambrische sedimenten bestaan uit klei, siltsteen, zandsteen, schalie, arkose en conglomeraat, met een totale maximale dikte van 165 m (Axberg, 1980). In de Söderfjärden (voor de kust van Vaasa) is de onder-cambrische gesteenteserie ruim 240 m dik. De gesteenten bestaan hier uit conglomeraat, schalie, zandsteen en grauwwackes. De zandstenen zijn overwegend licht gekleurd (wit, lichtgrijs); de schalies zijn meest groen en bevatten veel pyrietconcreties en fosforietknollen (Lehtovaara, 1982). De onder-cambrische gesteenteserie in het westelijke deel van het bekken bestaat ook uit groen gekleurde schalies en zandstenen met inschakelingen van siltsteen (Thorslund and Axberg, 1979). Ook hier komen pyrietconcreties voor in de schalies. Een deel van de zandstenen bevat verticale graafgangen (*Scolithos*?). Tijdens het Midden- en Boven-



Figuur 3. De geologische ondergrond van het zuidelijke Botnische Golfbekken (naar Winterhalter, 1972; Axberg, 1980).

Cambrium zijn geen sedimenten afgezet in het zuidelijke Botnische Golfbekken (Thorslund and Axberg, 1979; Axberg, 1980).

De gesteenteserie uit het Onder- en Midden-Ordovicium bestaat voornamelijk uit fossielrijke kalksteen. In boringen in het westelijke deel van het bekken wordt de basis van het Ordovicium (Tremadoc) gevormd door aluinschalie, zandsteen en (stinkende) kalksteen (*Dictyonema-Obolus* beds). Deze gesteenten bevatten o.a. brachiopoden en graptolieten (Thorslund en Axberg, 1979). De rest van de onder-ordovicische sectie (tot en met Llanvirn) wordt gekenmerkt door rode en grijze kalkstenen met een rijke trilobietenfauna (Tjernvik and Johansson, 1979). Lagen bentoniet (klei van vulkanische oorsprong; leverancier van kwarts voor verkiezelingsprocessen) zijn afgezet in het Onder-Ordovicium (Arenigian) en mogelijk ook in het Midden-Ordovicium (Axberg, 1980).

Op seismische profielen van het zuidelijke Botnische bekken wordt het Midden-Ordovicium gekenmerkt door heuvelvormige structuren, die zijn geïnterpreteerd als rifen (carbonate mounds) (Winterhalter, 1972) en, meer algemeen, als kalkheuvels gevormd door organismen (biohermen) (Axberg, 1980). Deze structuren komen zelfs aan de oppervlakte in het noordelijk deel van het bekken (figuur 3). Ze vormen daar nu op de zeebodem verhevenheden met een cirkel- tot ellipsvormige omtrek en een gemiddelde hoogte van 30 m. Bodemonsters leverden groene mergelige kalksteen op met fossielen van ostracoden, bryozoën, brachiopoden en crinoiden (Axberg, 1980). Anthaspiddellide sponzen (bijvoorbeeld *Aulocopium*) leefden in dit soort rif-achtige biotopen, hoewel ze ook daarbuiten voorkwamen (Van Kempen, 1981).

Het boven-ordovicium van het bekken is vertegenwoordigd door de zogenaamde "Baltic limestone", een rode tot groene, harde kalkslibsteen. Een uitgebreide paleontologische studie van een deel van een boring door deze gesteenteserie in het westelijk deel van het bekken wordt gegeven door Tjernvik en Johansson (1980). Ze beschrijven onder andere tientallen soorten trilobieten, conodonten, brachio-

poden en stekelhuidigen. Een boring in de ordovicische gesteenteserie in Lumparfjärden (Ålandseilanden) leverde 35 m lichtgrijze tot witte "Ostsee-Kalkstein" met ingeschakelde mergels op. Daaronder werd ruim 20 m grijze en rode klei (Cambrium?) aangetroffen (Martinsson, 1956).

Indirecte, maar uitgebreidere aanwijzingen over de gesteente- en fossielinhoud van het bekken worden gegeven door de zwerfstenen langs de west- en zuidkust van de Botnische Golf. In Zuidwest-Finland, langs de kust ten zuiden van Turku, is een grote hoeveelheid jotnische zandsteen en ordovicische zwerfstenen gevonden, voornamelijk bestaande uit geelgrijze tot groengrijze kalkslibsteen (Martinsson, 1955, 1956). De fossielen in de kalksteen zijn vaak verkiezeld. Losse verkiezelingen en kiezelconcreties komen ook voor. Genoemd worden o.a. trilobieten, algen (*Cyclocrinus*, *Coeleospheeridium*), ostracoden, brachiopoden, gastropoden, koralen en andere anthozoën, graptolieten en scolecodonten. In mindere mate is sprake van fossielrijke, grijze kalkzandsteen. Vele kalkzwerfstenen van de Zweedse kuststrook van het zuidelijke Botnische bekken en het aangrenzende gebied zijn beschreven door Wiman (1905, 1908). De fossielinhoud van deze zwerfstenen beslaat het hele scala aan zwerfsteenfossielen uit de Nederlandse keileem (Kruizinga, 1918; Schuijf en Boelens, 1949; Huisman, 1974a,b). Het is ondoenlijk om een opsomming te geven. Verder zijn sponzen, waaronder één herkenbare *Aulocopium* (niet vermeld wordt of deze sponzen al of niet verkiezeld zijn) aangetroffen door Wiman (1908) in de kuststrook grofweg halverwege Gävle en de Ålandseilanden.

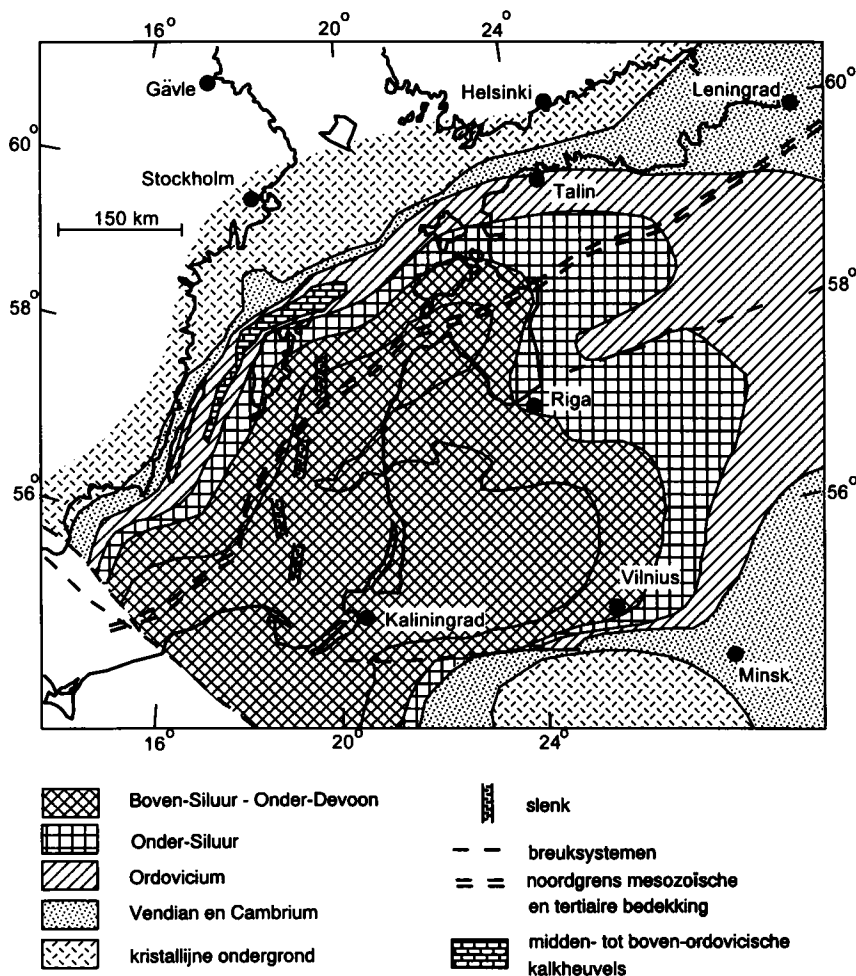
Het Baltische bekken

De hieronder volgende beschrijving is voornamelijk gebaseerd op Flodén (1980) en Ulmishek (1990). Het Baltische bekken is een ovale depressie, gelegen op het meest westelijke deel van het Russisch Schild (het zuidelijke vervolg van het Baltisch Schild). Het bekken omvat de zuidoostkust van Zweden (Skåne), de eilanden Bornholm, Öland, Gotland, Saaremaa en Hiiumaa, het noordoosten van Polen, Estland, Letland, Litouwen en aan-

grenzende delen van Wit-Rusland en Rusland (figuur 4). Het is gevuld met sedimenten van precambrische tot recente ouderdom. Het bekken wordt aan de zuidwestrand door de Teyse-re-Tornquist breukzone gescheiden van de Deens-Poolse Trog, een bekken uit het Perm/Trias. De begrenzing aan de noordwest- en noordrand wordt gevormd door het Baltisch schild. Het Letse Hoog vormt de oostgrens van het bekken en scheidt het van het bekken van Moskou (van gelijke ouderdom). De zuidrand van het bekken valt samen met een grote breukzone die de grens vormt met het Wit-Russische Mazury Hoog.

De tektonische geschiedenis van dit bekken is complex. In aanleg is het bekken midden-proterozoïsch. Sedimenten van Riphean-ouderdom zijn aangetroffen in een kleine slenk die ongeveer halverwege Stockholm en Gotland ligt (Flodén, 1980) en zouden aanwezig kunnen zijn in de centrale slenk(en?) tussen Gotland en Estland (Ulmishek, 1990). Vervolgens heeft dit bekken, evenals de Botnische Golfbekkens, een belangrijke ontwikkelingsfase ondergaan tijdens de eerste openingsfase van de Iapetus Oceaan. Door de Caledonische orogenese (met gelijktijdige sluiting van de Iapetus Oceaan) onstond er een gebergte pal ten zuiden van dit bekken: de O-W lopende tak van de Caledonische gebergtegordel, die nog aanwijsbaar is in de ondergrond van Noord-Duitsland en Polen. Tijdens de vorming van dit gebergte veranderde het bekken van karakter: het werd een voorlandbekken waarin de erosieve afbraakproducten van het Caledonisch gebergte werden afgezet. Bovendien werd een belangrijk deel van de bekensedimenten door breuken gedeformeerd (inversie). Deze situatie duurde van het Siluur tot en met het Carboon. Tijdens het Perm en Trias werd een nieuw intrakratonisch bekken gevormd, behorende bij een O-W slenkstelsel dat doorliep tot in het Noordzeebekken (Deens-Poolse Trog). In dit bekken zijn mesozoïsche, tertiaire en kwartaire sedimenten afgezet.

De oudste gesteenten in het Baltische bekken bestaan uit tuffen, zandstenen (onder andere jotnische zandsteen) en kwartsieten uit het Onder- tot Midden-



Figuur 4. Schetsmatige geologische kaart van het Baltische bekken in de Oostzee (naar Flodén, 1980; Ulmishek, 1990).

Riphean. Zij zijn daarmee even oud als de intrusies van de rapakivigranieten in het noorden (Ålandseilanden, Zuidwest-Finland) en oosten (Golf van Riga, zuidelijk deel van Saaremaa) van het bekken (Flodén, 1980). Dan volgt een serie klastische sedimenten uit het Vendian tot en met Onder-Cambrium, met een gezamenlijke maximale dikte van 480 m (Ulmishek, 1990). De gesteenten bestaan uit conglomeraten, zandstenen en schalies en zijn voornamelijk afgezet in een N-Z lopende slenk, gelegen tussen Letland en Gotland. Midden-cambische sedimenten bestaan vooral uit zandsteen, afgewisseld met schalie en glauconietrijke lagen. De maximale dikte van de midden-cambische sedimenten bedraagt 300 m (Noordoost-Polen). Met uitzondering van een relatief klein voorkomen daarvan tussen Bornholm en Gotland, ontbreken sedimenten uit het Boven-Cambrium dan wel zijn deze zeer dun ontwikkeld (Flodén, 1980; Ulmishek, 1990). De boven-cambri-

sche gesteenten bestaan uit aluinschalies (Flodén, 1980).

De ordovicische gesteenten bestaan voornamelijk uit kalksteen, schalie en mergel. Er worden drie O-W georiënteerde faciës-zones onderscheiden: een noordelijke grijze kalksteenzone (Estland - Noord-Gotland), een middelste mergelzone (Zuidoost-Zweden, Öland, Zuidoost-Gotland) en een zuidelijke zone met zwarte graptolietenschalies (Zuidwest-Zweden). Deze zones representeren de naar het zuiden toenemende paleo-waterdieptes in het bekken (Flodén, 1980). Ten noorden en westen van Gotland komen in de sedimenten van het Midden- en Boven-Ordovicium 20-30 m hoge en 500 m brede kalkheuvels (rif-achtige structuren) voor (Flodén, 1980). Deze zelfde organische bouwsels zijn ook waargenomen op structurele opduikingen in Estland (Ulmishek, 1990). De maximale dikte van ordovicische sedimenten bedraagt iets meer dan

200 m. Bentonietlagen komen veelvuldig voor in het midden- en boven-ordovicium en onder-siluur. In het zuidelijk deel van het bekken zijn tijdens het Siluur zwarte schalies met graptolieten afgezet. Deze diepwater-afzettingen gaan naar de randen van het bekken toe over in ondiepwater-afzettingen, voornamelijk bestaande uit kalkstenen en mergels. In de kalksteenseries van de omgeving van Gotland en Estland komen uitgebreide rifsysteem voor (Flodén, 1980; Ulmishek, 1990).

Paleozoïsche fossielen uit het Baltische bekken zijn in diverse Nederlands- en Duitstalige publicaties beschreven. Aangetroffen worden o.a. brachiopoden, ostracoden, sponzen, trilobieten, koralen en graptolieten (Jaanusson, 1956; Huckle, 1967; Männil, 1988; Rhebergen, 1993). De zeer fossielrijke boven-ordovicische Lyckholm-etage in Estland wordt beschreven door Jaanusson (1956). De kalksteen van deze etage bevat een zeer uitgebreide fauna, bestaande uit o.a. koralen (*Halysites*, *Sarcinula*, *Heliolites*), trilobieten, sponzen, brachiopoden en stromatoporen. In de rif-achtige kalksteenheuvels wordt het hele scala aangetroffen (onder andere de spons *Aulocopium*).

Vondsten van verkiezelde zwerfsteen-sponzen uit het westen van het Baltisch bekken worden beschreven door Boekschoten (1958). Door kusterosie zijn uit afzettingen van het Weichselien of Eemien van Gotland tientallen verkiezelde sponzen te voorschijn gekomen (o.a. *Aulocopium* en *Astylospongia*). Omdat voor de noord- en westkust van Gotland tevens een onderzees gebied voorkomt met midden- tot boven-ordovicische rif-achtige structuren zou het kunnen zijn dat deze fossielen daar vandaan komen. Echter, omdat in de afzettingen ook vele kristallijne gesteenten van Finland en de Ålandseilanden voorkomen, kunnen de fossielen ook afkomstig zijn uit het zuidelijke Botnische bekken.

De laat-tertiaire opheffing van West- en Noord-Scandinavië

Er zijn verschillende aanwijzingen voor een jonge grootschalige opheffing van grote delen van Scandinavië. Het is

deze opheffing die voor het huidige reliëf van West- en Noord-Scandinavië heeft gezorgd. Als gevolg van die opheffing is transport van zwerfstenen naar zuidelijker gebieden door rivieren en ijsmassa's mogelijk geweest.

Gedurende het Krijt kwamen er steeds minder erosieproducten van het vasteland van Noorwegen in de bekkens langs de Atlantische kust terecht (Rohrman et al., 1996). De resultaten van analyses van radio-actieve omzettingen in de kristalroosters van apatietkristallen geven bovendien aan dat de erosiesnelheid op het aangrenzende vasteland van Zuidwest-Noorwegen meer dan tien maal lager was tijdens het Krijt en het Paleoceen dan daarvoor. Deze gegevens, gecombineerd met het voorkomen van paleogene diatomeeën-sedimenten in Zweden en Finland, geven aan dat Scandinavië tijdens het jongste deel van het Krijt en het Paleoceen geen reliëf van betekenis meer had en ten dele onder zeeniveau lag: de Caledonische gebergteketen was vrijwel tot op zeeniveau geërodeerd. Uit de analyse van radioactieve omzettingen in apatiet-kristallen volgt verder dat het huidige reliëf van Zuid-Noorwegen het resultaat is van een opheffing die begon in het Boven-Oligoceen. Een soortgelijke opheffing vond plaats in het noorden van Noorwegen en Zweden (figuur 1; Riis and Fjeldskaar, 1992).

De neogene opheffing van delen van Scandinavië en soortgelijke opheffingen aan de oostkust van Groenland en in de Barentszee hebben ervoor gezorgd dat zich meer ijs op land kon verzamelen en dat er meer zonlicht werd teruggekaatst de ruimte in (en weerkaatst meer zonlicht dan anderszins). Zodoende zouden de neogene opheffingen bijgedragen kunnen hebben aan het kouder worden van het klimaat en het ontstaan van de ijsstijden tijdens het Pliocene en Pleistocene (Cloetingh et al., 1992). Het mechanisme van de opheffingen is nog niet eenduidig vastgesteld.

De neogene opheffing van het noorden van Noorwegen en Zweden zal het afwateringspatroon sterk beïnvloed hebben. Zo zijn er aanwijzingen dat sinds het Boven-Oligoceen meer rivierwater door de Botnische Golf naar het zuiden gestroomd is, wat een

versnelde erosie van de paleozoïsche gesteenten tot gevolg had (Winterhalter, 1972). Hierdoor kan verklaard worden dat paleozoïsche sedimenten en fossielen reeds tijdens het Boven-Oligoceen en het Mioceen naar o.a. Noord-Duitsland (o.a. Lausitz) getransporteerd zijn (Anderson, 1953; Krueger, 1994, Rhebergen, 1996).

Ook Rhebergen (1993) suggereert dat de neogene opheffing van Noord-Noorwegen en Zweden van invloed kan zijn geweest op het transport van ordovicisch zwerfsteenmateriaal. Op grond van de huidige gegevens moet geconcludeerd worden dat ordovicische gesteenten in dit noordelijke gebied alleen afgezet konden worden in het noordelijke Botnische Golf-bekken dat een neogene opheffing heeft ondergaan van iets minder dan 400 m (Riis and Fjeldskaar, 1992). Er zijn echter geen directe aanwijzingen dat dit bekken ooit ordovicische sedimenten heeft bevat.

Gevolgtrekkingen met betrekking tot de vondsten in Nederland

In het zuidelijk deel van de Botnische Golf bevindt zich een bekken gevuld met paleozoïsche sedimenten die waarschijnlijk overeenkomen met alle in keileem aangetroffen sedimentaire zwerfstenen met bijbehorende fossielen, terwijl dit bekken ook is geassocieerd met rapakivigranieten. Uit vondsten van verkiezelde fossielen rondom dit bekken mogen we concluderen dat het zeker een brongebied is geweest voor een deel van de verkiezelde fossielen uit de Oost-Nederlandse grindgroeves.

Seismische profielen van het gebied ten noorden van Gotland en het westelijk deel van het zuidelijke Botnische Golf-bekken laten heuvelvormige structuren zien in midden- en boven-ordovicische kalksteenafzettingen die toegeschreven kunnen worden aan rifbouwende organismen. Anthaspiddellide sponzen zoals *Aulocopium* hadden onder andere rif-achtige bouwsels als biotoop (Van Kempen, 1981). Nabij beide lokaties zijn incidenteel verkiezelde sponzen gevonden. Rifvormige structuren in de Lyckholm-etage in Estland zijn lokaal geassocieerd met sponzen (als koralen afwezig zijn; Jaanusson, 1956).

Derhalve kan geconcludeerd worden dat er drie mogelijke herkomstgebieden zijn voor de ordovicische zwerfsteensponzen van Oost-Nederland, Sylt en Noord-Duitsland:

de zuidelijke Botnische Golf (ten noorden van Gävle),
de westelijke Oostzee (ten noorden en westen van Gotland)
en de oostelijke Oostzee met het aansluitende vasteland van Estland.

Er zijn geen aanwijzingen voor een herkomstgebied van ordovicische sponzen in Lapland of het vasteland van Finland zoals voorgesteld door Rhebergen (1993) en Krueger (1994).

Door de opheffing van grote delen van Scandinavië sinds het Laat-Oligoceen is er (meer) afwatering naar het zuiden ontstaan waardoor zwerfstenen en zwerfsteenfossielen naar Sylt en verder naar het zuiden getransporteerd konden worden. De opgeheven gebieden vormen een waterscheiding tussen de Atlantische kuststrook en het binnenland van Scandinavië, waardoor de voorkomens van paleozoïsche gesteenten in de buurt van de Noordkaap (Tarangerfjord, Varangerfjord) en in de Caledonische gebergtegordel geen leveranciers kunnen zijn geweest van zwerfstenen en zwerfsteenfossielen. De opheffing kan verder hebben bijgedragen aan de plio-pleistocene vergletsjering, en daardoor tevens aan het transport van zwerfstenen en hun fossielen in keileem naar het zuiden.

Dankwoord

Veel dank ben ik verschuldigd aan Michel Heeremans, Freek Rhebergen en Harry Stel voor discussies en literatuur. De redactie van Grondboor en Hamer heeft veel werk verzet om de tekst van dit artikel toegankelijker te maken, waarvoor mijn dank.

Abstract

In this paper the geology of the source areas for erratic, Paleozoic sedimentary boulders and fossils found in the northern parts of the Netherlands is discussed. The boulders and fossils are found in glacial tills and fluvial deposits of Quaternary age. The source areas are located in the present day

Botnian Gulf and Baltic Sea. These areas constitute three intracratonic sedimentary basins which developed during Riphean (Proterozoic) and Vendian (Precambrian) extensional tectonic phases.

Starting in Late Oligocene, Scandinavia was uplifted from a position of about sea level to its present day elevation (the actual uplift is larger if Neogene erosion is taken into account). The maximum amount of uplift, occurring along the Norwegian coast line, is 1.8 km. The uplift caused an increased fluvial drainage towards the south (northern Netherlands and Germany) and will also have contributed to the glaciation of Scandinavia. Both effects induced transport of erratic boulders and fossils towards the Netherlands.

Using evidence from shallow seismics and reports of finds of erratic sponges and corals, it is argued that in total three source areas of Ordovician corals and sponges exist: 1) the southern Botnian Gulf, north of Gävle, 2) western Baltic Sea, north and west of Gotland and 3) the eastern Baltic Sea and the well known area in western Estonia.

Adres van de auteur

Dr. R.T. van Balen
Faculteit der Aardwetenschappen
Vakgroep Sedimentaire Geologie
Sectie Structurele Geologie/Tektoniek
Vrije Universiteit Amsterdam
De Boelelaan 1085
1081 HV Amsterdam

Literatuur

- Anderson, W.F., 1953.
Lavendelblauwe verkiezelingen van Silurische ouderdom als zwerfsteen in Nederland en Duitsland. Publ. Ned. Geol. Ver., 14, 286-292.
- Axberg, S., 1980.
Seismic stratigraphy and bedrock geology of the southern Bothnian Sea, northern Baltic. Stockholm contributions in Geology, 34, Univ. Stockholm, Dep. Geology, 154-213.
- Boeschoten, G.J., 1958. Lavendelblauwe verkiezelingen op Gotland. Grondboor & Hamer, 74-76.
- Cloetingh, S., P. Reemst, H. Kooi, & S. Fanavoll, 1992. Intraplate stresses and the post-Cretaceous uplift and subsidence in northern Atlantic basins. Norsk Geol. Tidsskr., 72, 229-236.
- Flodén, T., 1980.
Seismic stratigraphy and bedrock geology of the central Baltic. Stockholm contributions in Geology, 35, Univ. Stockholm, Dep. Geology, 2-240.

Siluur		410-439
Ordovicium	Ashgill	439-443
	Caradoc	443-464
	Llandeilo	464-469
	Llanvirn	469-476
	Arenig	476-493
	Tremadoc	493-510
Cambrium	Laat-Cambrium	510-515
	Midden-Cambrium	515-540
	Vroeg-Cambrium	540-570
Proterozoïcum	Vendian	570-610
	Sturtian	610-800
	Riphean/Jotnian	800-1650
	Animikean	1650-2500

Figuur 5. Tijdsindeling van het Proterozoïcum t/m Siluur. Ouderdommen in miljoenen jaren geleden (bij benadering).

- Hucke, K., 1967.
Einführung in die Geschiebeforschung. Nederlandse Geologische Vereniging, Oldenzaal, pp. 132.
- Huisman, H., 1974a.
Noordelijke zwerfsteenkoralen (1). Grondboor & Hamer, 2-29.
- Huisman, H., 1974b.
Noordelijke zwerfsteenkoralen (5). Grondboor & Hamer, 119-136.
- Jaanusson, V., 1956.
Untersuchungen über den oberordovizischen Lyckholm-Stufenkomplex in Estland. Bull. Geol. Inst. Uppsala, 36, 369-398.
- Kempen, Th.M.G. van, 1981.
Anthaspidelliden (sponzen) uit het Oostzeegebied. Grondboor & Hamer, 156-174.
- Krueger, H.-H., 1994.
Die nordische Geröllgemeinschaft aus der Lausitz (Miozän) und deren Vergleich mit Sylt. Brandenburgische Geowiss. Beitr., Kleinmachnow, 84-89.
- Kruizinga, P., 1918.
Bijdrage tot de kennis der sedimentaire zwerfstenen in Nederland. Verh. Geol. Mijnb. Gen. Ned. Kol. 6, Mouton en Co, 's-Gravenhage, pp. 271.
- Krul, H., 1954.
Zwerfsteenfossielen van Twente. Ned. Geol. Ver., Thieme en Cie, Zutphen, pp. 125.
- Larsen, B.T., R.H. Gabrielsen, S. Olausen, J.F. Bockelle & D. Worsley, 1992.
Oslo graben tectonics and sedimentation, field guide to excursion of the meeting of the Task Force on the Origin of Sedimentary Basins. The International Lithosphere Program, Sunvollen, Norway, 1-156.
- Lehtovaara, J.J., 1982.
Stratigraphical section through the Lower Cambrian at Söderfjärden, Vaasa, western Finland. Bull. Geol. Soc. Finland, 54, 35-43.
- Männil, R.M., 1988.
Entwicklungsgeschichte des Baltischen Beckens im Ordovizium (vertaald uit Russisch door H. Heidrich). Der Geschiebesammler, 22, 65-84.
- Martinsson, A., 1955.
Die ordovizischen Geschiebe im Schärengbiet von Hangö und Ekenäs im südwestlichen Finnland. Bull. Geol. Inst. Uppsala, 35, 175-189.
- Martinsson, A., 1956.
Neue Funde kambrischer Gänge und ordovizischer Geschiebe im südwestlichen Finnland. Bull. Geol. Inst. Uppsala, 36, 80-102.
- Rhebergen, F., 1993.
Ordovizische zwerfstenen in het Twents-Duitse grensgebied, over herkomst en transport. Grondboor & Hamer, 132-140.
- Rhebergen, F. & U. von Hacht, 1996.
De ordovizische sponzenfauna uit Nederland en het Duitse grensgebied en de vergelijking ervan met de sponzen van Sylt, de Lausitz en Gotland. Grondboor & Hamer, 83-94.
- Riis, F. & W. Fjeldskaar, 1992.
On the magnitude of the Late Tertiary and Quaternary erosion and its significance for the uplift of Scandinavia and the Barents Sea. In: Structural and Tectonic Modelling and its applications to Petroleum Geology, R.M. Larsen, H. Brekke, B.T. Larsen and E. Talleraas (eds.), NPF Special Publication 1, Elsevier, 163-185.
- Rohrman, M., P.A. van der Beek, P.A.M. Andriessen & S. Cloetingh, 1995.
Meso-Cenozoic morphotectonic evolution of southern Norway: Neogene domal uplift inferred from apatite fission-track thermochronology. Tectonics, 14, 704-718.
- Schuijff, P. & B. Boelens, 1949.
Fossielen uit noordelijke zwerfstenen. Ned. Uitg. Mij. N.V., Leiden, pp. 140.

- Spjeldnaes, N., 1957.
The Silurian/Ordovician border in the Oslo district. Norsk Geologisk Tidsskrift, 37, 355-371.
- Stel, H., S. Cloetingh, M.H. Heeremans & P. van der Beek, 1993.
Anorogenic granites, magmatic underplating and the origin of intracratonic basins in a non-extensional setting. Tectonophysics, 226, 285-299.
- Thorslund, P., & S. Axberg, 1979.
Geology of the southern Bothnian Sea, part I. Bull. Geol. Inst. Uppsala, 8, 35-62.
- Tjernvik, T.E., 1956.
On the early Ordovician of Sweden stratigraphy and fauna. Bull. Geol. Inst. Uppsala, 36, 111-159.
- Tjernvik, T.E. & J. V. Johansson, 1980.
Description of the upper portion of the drill-core from Finngrundet in the South Bothnian Bay. Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala 8, 173-204.
- Ulmishek, G., 1990.
Geologic evolution and petroleum resources of the Baltic Basin. In: Interior Cratonic Basins, M.W. Leighton et al. (eds.), Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 51, Tulsa, 603-632.
- Wærn, B., P. Thorslund & G. Henningsmoen, 1946.
Deep boring through Ordovician and Silurian strata at Kinnekulle, Västergötland. Bull. Geol. Inst. Uppsala, 32, 337-424.
- Wannäs, K.O., 1989.
Seismic stratigraphy and tectonic development of the Upper Proterozoic to Lower Paleozoic of the Bothnian Bay, Baltic Sea. Stockholm contributions in Geology, 40, Univ. Stockholm, Dep. Geology, 82-167.
- Wiman, C., 1905.
Studien über das Nordbaltische Silurgebiet, I. Bull. Geol. Inst. Uppsala, VI, 12-76.
- Wiman, C., 1908.
Studien über das Nordbaltische Silurgebiet, II. Bull. Geol. Inst. Uppsala, VIII, 73-168.
- Winterhalter, B., 1972.
On the geology of the Botnian Sea, an epeiric ocean that has undergone Pleistocene glaciation. Geol. Surv. Finland Bull., 258, 1-66.
- Zandstra, J.G., 1988.
Noordelijke kristallijne gidsgesteenten. E.J. Brill, Leiden, pp. 469.
- Zeck, H.P., P.A.M. Andriessen, K. Hanssen, P.K. Jensen & B.L. Rasmussen, 1988.
Paleozoic paleo-cover of the southern part of the Fennoscandian shield - fission track constraints. Tectonophysics, 149, 61-66.

Geovaria

Fred Rabe

Het volgende Hawaiï -eiland?

Tweeëndertig kilometer uit de kust van Big Island werd deze zomer onder de oceaan een niet eerder vertoond gerommel waargenomen. Dit gerommel was het gevolg van vulkanische activiteit op een geweldige schaal vanuit de magmabron, die ook de Mauna Loa en de Kilauea op Big Island voedt. Het kondigt de geboorte aan van een nieuw eiland vanuit de Loihi, Hawaiï's jongste vulkaan, in een van de komende eeuwen. Science, 30 augustus 1996.

Aardbevingen bedreigen dam in Lesotho

Sinds het vollopen van het Katse-stuwmeer in oktober 1995 een aanvang nam, is dit gebied een aantal malen door aardbevingen getroffen. De ernstigste seismische activiteit tot nu toe had een sterkte van 2,5 op de Richter-schaal en veroorzaakte een scheur met een lengte van 1,5 kilometer en breed genoeg om er een bezemsteel in kwijt te kunnen. De Katse-dam is 185 meter hoog en moet in de toekomst Lesotho en Zuid-Afrika van water en stroom voorzien. De dam is erop gebouwd om aardbevingen tot 6,5 op de Richterschaal te kunnen doorstaan.

De discussie spitst zich erop toe of dit gebied een zuidelijke uitloper van de

grote Afrikaanse slenk is en of er in dit gebied wel of niet aardbevingen met een sterkte van 7,2 op de Richter-schaal kunnen voorkomen, die de dam zeker zullen vernietigen. De plaatselijke bevolking verklaart de aardbevingen als de wraak van de riviervlang, die de rivier niet meer op en af kan zwemmen. Nature, 21 maart 1996.

Literatuur

Dinosaurussen zijn in, en in veel tijdschriften en boeken kan men over dit populaire onderwerp lezen. Zo bevat Scientific American van juni 1996 het artikel 'The Art of Charles R. Knight (1874-1953)' over het werk van deze dinosaurus-illustrator en maakt Alan Charig in Nature (13 juni 1996) onder de titel 'Dinosaurs for Grown-ups' melding van het verschijnen van het boek 'The Evolution and Extinction of the Dinosaurs' geschreven door David E. Fastous en David B. Weishampel. Ook National Geographic verzorgt regelmatig artikelen over dino's. In aflevering 5 van 1996: 'The Great Dinosaur Egg Hunt' van Philip J. Currie, in aflevering 6: 'Africa's Dinosaur Castaways', geschreven door Paul C. Sereno en in aflevering 7: 'Dinosaurs of the Gobi' door Donovan Webster.

National Geographic bevat ook regelmatig artikelen over de evolutie van de

mens. Aflevering 1 van 1996 bevat het artikel 'Neandertals' van Rick Gore en aflevering 3 het artikel 'Face-to-Face with Lucy's Family' van Donald C. Johanson.

Heropening American Museum of Natural History in New York

Na een opknappbeurt van zeven jaar is in juni 1996 te New York het Museum voor Natuurlijke Historie heropend. In de prachtige hallen liggen zo'n 600 fossielen te pronken. Hiervan is 85% echt en geen afgietsel. Zo valt een exemplaar van 'Priscacara oxyprion' te bewonderen, één van de honderden baarsachtige vissen die ongeveer 50 miljoen jaar geleden de meren van Noord-Amerika bevolkten. Nature, 11 juli 1996

Adres van de auteur

Drs. F.J. Rabe
Rolklaar 17
7422 RD Deventer

Rectificatie

In het vorige nummer zijn de foto's van fig. 4 en 5 op blz. 100 tot onze spijt verwisseld.