



# Baksteenkalk in taphonomisch perspectief

PERCY VAN KEULEN  
PSFVANKEULEN@GMAIL.COM

Zwerfkeien van baksteenkalk zijn nog altijd te vinden op de storthopen van zandzuigerijen in het WWW-gebied (genoemd naar de dorpen Wilsum, Wielen en Westerhaar) en elders in noordoost-Nederland. De oorsprong van het gesteente ligt op de bodem van de ondiepe zee die het paleocontinent Baltica, 455 miljoen jaar geleden, bedekte. In die periode lag Baltica op ca. 40° zuiderbreedte (ZB). Tussen de hedendaagse vindplaatsen van baksteenkalk op ca. 55° noorderbreedte (NB) en de marine omgeving waarin baksteenkalk in het Boven-Ordovicium is ontstaan, is de afstand in ruimte en tijd enorm. Het traject van transformatie en transport dat het gesteente sedert zijn ontstaan heeft afgelegd, is navenant complex. In dit artikel wil ik stilstaan bij de eerste etappe van dit traject, bestaande uit de zeebodem waar zich het sediment opeenhoopte dat naderhand versteende tot baksteenkalk.



## Baksteenkalk nader omschreven

Baksteenkalk is een volledig verkiezelde kalksteen, daterend uit het Sandbian, het vroegste Boven-Ordovicium. Ongeveer 70% van de ordovicische verkiezelde kalken [hierna OVK] van het WWW-gebied bestaat uit baksteenkalk (Afb. 1). De diverse soorten OVK kennen alle een onverweerde en een uitgeloopte verschijningsvorm. De onverweerde vorm bestaat steeds uit een massieve, vuursteenachtige verkiezeling, waarvoor de naam ‘hoornsteen’, als aanduiding van palaeozoïsche vuursteen, van toepassing is. Vrijwel alle stukken OVK vertonen uitloging, die zich soms voordoet als een witte, poreuze korst aan de rand, maar vaak ook de gehele steen omvat. Tussen de verschillende soorten OVK varieert de mate van uitloging sterk. Bij baksteenkalk zijn massief verkiezelde keien erg zeldzaam en overheersen de sterk uitgeloopte stukken. Dergelijke, witte tot vaalgele, poreuze stukken doen enigszins aan gele baksteen denken. Deze gelijkenis vormt echter niet de oorsprong van de naam. ‘Baksteenkalk’ is de vernederlandsing van ‘Backsteinkalk’, een glaciële verkiezelde kalk uit het noordoostelijk deel van Duitsland van vergelijkbare ouderdom, die zijn naam te danken heeft aan de platte, rechthoekige vorm van veel keien. Ofschoon er zeker verwantschap is tussen beide gesteenten, zijn ze wat betreft stratigrafisch bereik en fossielinhoud toch weer zo verschillend dat ze onderscheiden moeten worden. Baksteenkalk is dus geen Backsteinkalk!

Zoals bijna alle kalksteen is baksteenkalk een zogenaamde bioklast, een gesteente opgebouwd uit resten van organismen. Die resten bestaan voornamelijk uit gruis van (verkiezelde) kalkschalen en –korsten. In poreuze stukken is het fijne skeletmateriaal (< 0.5 mm) onder de microscoop duidelijk te onderscheiden. Verspreid hierin liggen grotere fossielen. De verscheidenheid daaraan is verbluffend: inmiddels zijn meer dan 150 soorten herkend. Ze getuigen van een rijke marine levensgemeenschap met een soortensamenstelling die tot dusver niet uit vaste formaties bekend is. Al dit fossielmateriaal, inclusief sporenfossielen, vormt een bron van informatie over wat zich na de dood van organismen op de zeebodem afspeelde: begravingprocessen, bioturbatie, hergebruik van organische resten door epibionten (organismen die de resten van andere als substraat gebruiken) e.d. De wetenschap die dergelijke post-mortem-processen, die belangrijke aanwijzingen opleveren over het verloop van de sedimentatie, bestudeert, is de taphonomie (< Grieks τάφη, begraving; Seilacher & Gishlick, 2015). In dit artikel staat de taphonomie van baksteenkalk centraal. Daarbij krijgen sporenfossielen en epibionten – belangrijke taphonomische indicatoren – bijzondere aandacht.

Bij taphonomisch onderzoek van een sedimentair gesteente is het belangrijk om te weten in wat voor omgeving het is ontstaan. Voor een deel zijn die gegevens te ontleen aan het gesteente zelf, maar externe gegevens vanuit het bredere



AFBEELDING 2. | Schematische kaart van het stroomgebied van de Eridanos.

kader van de paleogeografie zijn voor de duiding van verschijnselen evenzeer van belang. Bij zwerfstenen zoals baksteenkalk loopt men dan tegen de moeilijkheid aan, dat deze uit hun oorspronkelijke context zijn losgeraakt. Toch is het mogelijk om die context bij benadering vast te stellen.

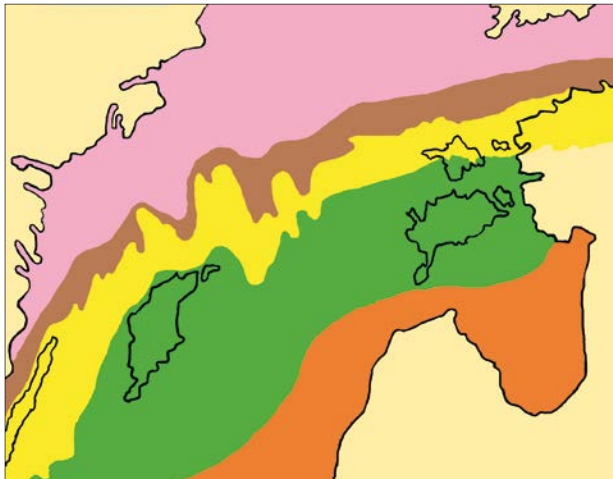
## Van het WWW-gebied naar Baltica

De OVK worden aangetroffen in de formatie van Appelscha, een pakket rivierzanden uit het Vroeg-Pleistoceen (Menapien). Het rivierstelsel dat deze zanden in Noordoost-Nederland deponeerde, heette vroeger de (Oude/ Jonge) Baltische Stroom, maar wordt tegenwoordig als ‘Eridanos’ aangeduid (Afb. 2). Gedurende ruim 40 miljoen jaar voerde dit enorme systeem de

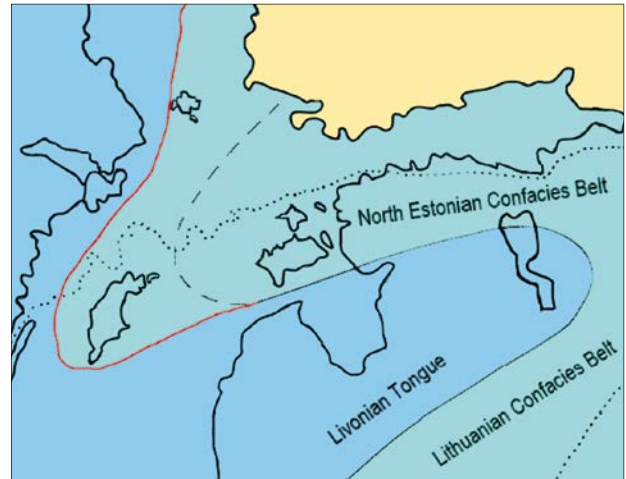
ouderdom	tijdvak			blauw		bruin/grijs			
	wereldwijd serie	Estland serie	etage	losse verkiezelingen	verkiezelde kalksteen	verkiezelde kalksteen	losse verkiezelingen		
443 MA	Hirnantian	Harju	Porkuni F2						
447 MA	Upper Katian		Pirgu F1c	blauwe sponzen tabulaten stromatoporen trepostomate bryozoën	Lavendelblauwe Pirgu-hoornsteen	Öjlemyr- flint-/ kalksteen Wielener type	Bruine Pirgu- hoornsteen	sponzen tabulaten	
448 MA	Lower Katian	Viru	Vormsi Nabala Rakvere Oandu	caesuur					
453 MA	Upper Sandbian		Keila D2	blauwe sponzen knikkeralgen	Lavendelblauwe Haljala-hoornsteen	Baksteenkalk			knikkeralgen receptaculieten
455 MA			Haljala C3-D1						

AFBEELDING 1. | Chronologisch overzicht van in het WWW-gebied voorkomende soorten ordovicische verkiezelde kalksteen en daarmee geassocieerde los gevonden fossielen.





AFBEELDING 3. | *Palaeozoïsche sedimenten op de Oost-zeebodem van zuidelijk Baltica. Bruin: Precambrium en Cambrium. Geel: Ordovicium. Groen: Siluur. Oranje: Devoon. Roze: metamorfe gesteenten. Formaties op het vasteland zijn niet ingetekend, met uitzondering van het Ordovicium in Estland.*



AFBEELDING 4. | *Confacies Belts in Baltica, naar Jaanusson, 1976 en 1995. De rode lijn geeft de westelijke begrenzing aan van de North Estonian Confacies Belt volgens Jaanusson, 1976. In 1995 is deze grens door Jaanusson oostelijker gesitueerd (onderbroken lijn).*

afbraakproducten van de Scandinavische gebergten en het Fennoscandisch schild naar het zuidwesten af. Geleidelijk verlegde het zijn delta westwaarts, van Oost-Polen in het Eoceen naar Oost-Nederland in het Vroeg-Pleistoceen. Gedurende deze tijdspanne veranderde het klimaat ingrijpend. In het Pliocceen ging de temperatuur omlaag; er traden meerdere koude perioden op die gevolgd werden door warmere episoden. Ruim twintig van zulke cycli zijn bekend (Rhebergen *et al.*, 2001). In koude perioden raakten verweringsproducten, waaronder grote keien, vastgevroren in grondijs van de Eridanos. In Scandinavië ging het vermoedelijk om morenemateriaal. Bij invallende dooi raakte het grondijs los van de rivierbodem en werd het in de vorm van ijsschotsen stroomafwaarts getransporteerd. De stenen dooiden onderweg uit en kwamen in de rivierbedding terecht (Hucke, 1928). Dit is in een notedop het scenario dat verklaart hoe in de fluvio-glaciale zanden van het WWW-gebied hoekige keien, waaronder blokken en platen tot 50 cm lengte, kunnen voorkomen. Ook van baksteenkalk zijn zulke grote blokken bekend.

Langs welke route en in welke perioden de ordovicische verkiezelingen naar het WWW-gebied zijn getransporteerd, is een complexe kwestie die buiten het kader van dit artikel ligt. Voor een reconstructie verwijst ik naar Van Keulen *et al.* (2012) en de daar

vermelde literatuur. Ik beperk mij hier tot de opmerking dat de Baltische herkomst van deze gesteenten boven elke twijfel verheven is. In het stroomgebied van de Eridanos komen ordovicische formaties namelijk alleen voor in en rond de Oostzee, de Botnische en de Finse Golf. Vanaf het zuiden van Öland tot aan het Ladoga-meer in Rusland loopt een strook met palaeozoïsche, waaronder ordovicische, sedimenten (Afb. 3) en in het zuiden van de Botnische Golf ligt een bekken met voornamelijk ordovicische gesteenten. Het ligt in de rede om te veronderstellen dat zich onder deze ordovicische sedimenten de leveranciers van de OVK bevinden. Hier stuit men evenwel op het probleem dat geen van de verschillende typen OVK die in het WWW-gebied voorkomen terug te vinden is onder de uit het Balticum bekende ordovicische gesteenten: de fossielgezelschappen zijn niet identiek en geheel verkiezelde ordovicische sedimenten ontbreken bijna geheel in Estland en Zweden. Wellicht zijn de moedergesteenten van OVK ter plekke verdwenen als gevolg van erosie door de Eridanos en meerdere glaciaties.

In geval van baksteenkalk zijn er goede gronden om het herkomstgebied ervan ergens ten noordwesten van Estland te situeren; belangrijke overwegingen



AFBEELDING 5. | *Concentratie van fossielen in baksteenkalk, type 1. Te herkennen zijn ondermeer de algen *Apidium pygmaeum*, *Hoegonites kringla*, *Coelosphaeridium sphaericum* en een *gastropode*. Itterbeck. Beeldbreedte 36 mm.*



hierbij zijn zowel de geologie van de Oostzeebodem als de verwantschap die het fossielgezelschap van baksteenkalk - bij alle verschillen - toont met dat van gelijktijdige kalksteen uit Estland (Van Keulen & Rhebergen, 2017). Omdat Estland het meest bruikbare referentiegebied is voor de baksteenkalkfossielen, wordt voor de datering ervan de voor Estland gangbare periodisering gebruikt, waarbij type-locatie, volletter en (eventueel) nummer staan voor stratigrafische eenheden (etages). Zo is baksteenkalk ongeveer gelijktijdig met de Haljala-etage (C3-D1) (Afb. 1).

Het vermoedelijke oorsprongsgebied van baksteenkalk maakte in het Ordovicium deel uit van de ondiepe zone van een epicontinentale zee. Hieronder volgt een korte uiteenzetting van de omgeving en de omstandigheden waarin de marine gemeenschap die in baksteenkalk bewaard is, zich kon ontwikkelen.

### Baltica ten tijde van het Haljala

In het Ordovicium zag de wereld er heel anders uit dan tegenwoordig. Aan het begin van het tijdperk lag vrijwel alle landmassa ten zuiden van 30° NB. Vanaf de evenaar tot aan de zuidpool strekte zich het supercontinent Gondwana uit, dat bestond uit een clustering van de huidige continenten Afrika, Zuid-Amerika, Australië, Antarctica en India. Ten westen van Gondwana lagen de continenten Baltica, dat het huidige Scandinavië, de Baltische staten en Rusland tot de Oeral omvatte, Siberië en Laurentia, het huidige Noord-Amerika. Door de platen-tektoniek, die in het Ordovicium zeer actief was, bewogen deze continenten geleidelijk naar elkaar toe. Baltica schoof vooral noordwaarts, van 55° ZB in het Tremadocian, 30° ZB in het Sandbian, tot 20° ZB in het Hirnantian. Deze beweging leidde, althans aanvankelijk, tot een stijging van de temperatuur.

De atmosfeer bevatte in het grootste deel van het Ordovicium de helft minder zuurstof en 8 tot 18 keer zoveel koolzuur als tegenwoordig (Barnes, 2004).

Hierdoor heerste er een broeikas-klimaat, zelfs al scheen de zon minder fel dan nu. Waarschijnlijk was de Noordpool geheel ijsvrij en was de ijskap op de continentale Zuidpool (huidig West-Afrika) aanvankelijk klein. De zeespiegel lag daardoor extreem hoog. Het vlakke continent Baltica werd dan ook grotendeels bedekt door een epicontinentale zee.

In deze cratonische (op de precambri-sche ondergrond gelegen) zee strekte zich een bekken met relatief diep water in noordoostelijke richting over Litouwen en zuidelijk Estland uit, de zogenaamde Litouwse Tong. Het Fenoscandische massief (het huidige Finland) lag hoger en stak misschien boven de zeespiegel uit. Rond dit massief slingerde zich een gordel met ondiep water waarin kalk en mergel werden afgezet, door Jaanusson aangeduid als de North Estonian Confacies Belt, afgekort NECB (Jaanusson 1976, 1995; Afb. 4). In het Sandbian ontwikkelde zich hier een rijke bentische (op de bodem van de zee levende) fauna en flora. Door het hoge gehalte aan CO<sub>2</sub> in de atmosfeer was het zeewater tamelijk zuur (met een lage pH) en dit bemoeilijkte de afzetting van organische kalk (Kiipli & Kiipli, 2006). De kalk die zich op de zeebodem ophoopte, bestond in hoofdzaak uit vergruisd skeletmateriaal (schalen van brachiopoden en mollusken, zoaria van bryozoën, pantsers van trilobieten en kalkvormende algen). In het grootste deel van de NECB was er ook geen instroom van terrigeen (van het land afkomstig) materiaal. Het tempo van sedimentatie in de epicontinentale zee was dan ook laag. Volgens Jaanusson bedroeg het slechts 2-3 mm per 1000 jaar (Jaanusson, 1976). Als gevolg hiervan zijn de sedimenten van de Haljala-etage, die ca. drie miljoen jaar beslaat, zoals opgemerkt, niet bijzonder dik. In deze periode vond er grootschalige vulkanische activiteit ten westen van Baltica plaats, in de subductiezone op de grens met Laurentia. Sporen vinden we terug in de vorm van meta-bentonieten, versteende aslagen, waarvan er 20 in de Haljala- en daaropvolgende Keila-etage zijn geïdentificeerd. Naar het oosten toe nemen de bentonietlagen in dikte af. De periodieke asregens onderbraken de normale afzetting van kalk, maar binnen de Haljala-etage markeren de bentonieten



AFBEELDING 6. | *Cyclocrinites porosus*, ingespoeld in een gastropode. Baksteenkalk, type 2A. Itterbeck. Beeldbreedte 15 mm.





AFBEELDING 7. | Baksteenkalk, type 1. WWW-gebied, diverse locaties. Het blok rechtsonder in 15 cm lang.

AFBEELDING 8. | Graafgang in baksteenkalk, type 1, stuk en tegenstuk. Rechts is gruisopvulling (backfilling) herkenbaar. WWW-gebied. Grootste lengte linkerstuk 42 mm.

geen plotselinge veranderingen in de fauna. De Haljala-etage omvat feitelijk twee etages, Idavere of Itfer (C3) en Jöhvi of Jewe (D1). In 1995 introduceerde Jaanusson de nieuwe etage omdat tussen Idavere en Jöhvi faunis-

tisch en lithologisch geen duidelijke grens valt aan te wijzen. Faunistische veranderingen voltrokken zich binnen het Haljala veel eerder geleidelijk.

### De baksteenkalkzee

Meerdere eigenschappen van baksteenkalk wijzen uit dat het gesteente is ontstaan in omstandigheden zoals die ook bestonden in de NECB. Zo is de





AFBEELDING 9. | Graafgang met door kiezel opgevulde binnenbuis. Baksteenkalk, type 1. Itterbeck. Doorsnee graafgang 3,5 mm. AFBEELDING 10. | Graafgang met concentrische structuur en holle binnenbuis. Baksteenkalk, type 2B. Wilsum. Beeldbreedte 14 mm. In type 1 kunnen graafgangen met dezelfde structuur worden aangetroffen. AFBEELDING 11. | Buis waarbinnen meerdere, zich vertakkende graafgangen zichtbaar zijn. De buis is zwart gekleurd door een ijzer- of mangaanverbinding. Baksteenkalk, type 1. Wilsum. Beeldbreedte 14 mm. AFBEELDING 12. | Chondrites in baksteenkalk, type 1. Beide stukken Itterbeck. Beeldbreedte 14 cm.

(verkiezelde) kalk, evenals de kalksteen uit het Haljala van Noordwest-Estland, verstoken van elke bijmenging van ander gesteente. Het lage sedimentatie-tempo van de NECB is te herkennen aan het intensieve hergebruik van fossiele resten door andere organismen. In het vervolg wordt hier nader op ingegaan. Baksteenkalk levert voorts diverse aanwijzingen dat de zeebodem op een diepte lag die ook binnen de NECB gevonden wordt. Zo kan de rijke sessiele algenflora van baksteenkalk alleen geleefd hebben op een diepte van minder dan 50m, omdat algen voor hun fotosynthese zijn aangewezen op zonlicht. Eén type baksteenkalk bestaat uit een pakket grof fossilgruis; het gaat hierbij om een tempestiet (stormafzetting) die een diepte van niet meer dan 20m impliceert. In de overige typen baksteenkalk tonen de grote fossielen geen schade door beweging van het water, zodat de zeebodem in ieder geval onder de golfbasis op ca. 6m diepte moet hebben gelegen. Men mag aannemen dat het zeeniveau gedurende het Haljala enigszins gefluctueerd heeft, maar dit is vooralsnog niet af te lezen uit verschuivingen in de faunasamenstelling.

Het water was vermoedelijk gematigd van temperatuur; het sporenfossiel *Arachnostega* (zie onder) dat tamelijk vaak in baksteenkalk voorkomt, kon warm water slecht verdragen (Vinn *et al.*, 2014). Anderzijds konden kalkalgen als *Vermiporella* geen kalk afscheiden bij een temperatuur onder 20°C. De temperatuur van het zeewater zal dus waarschijnlijk tussen 20 en 25°C hebben gelegen.

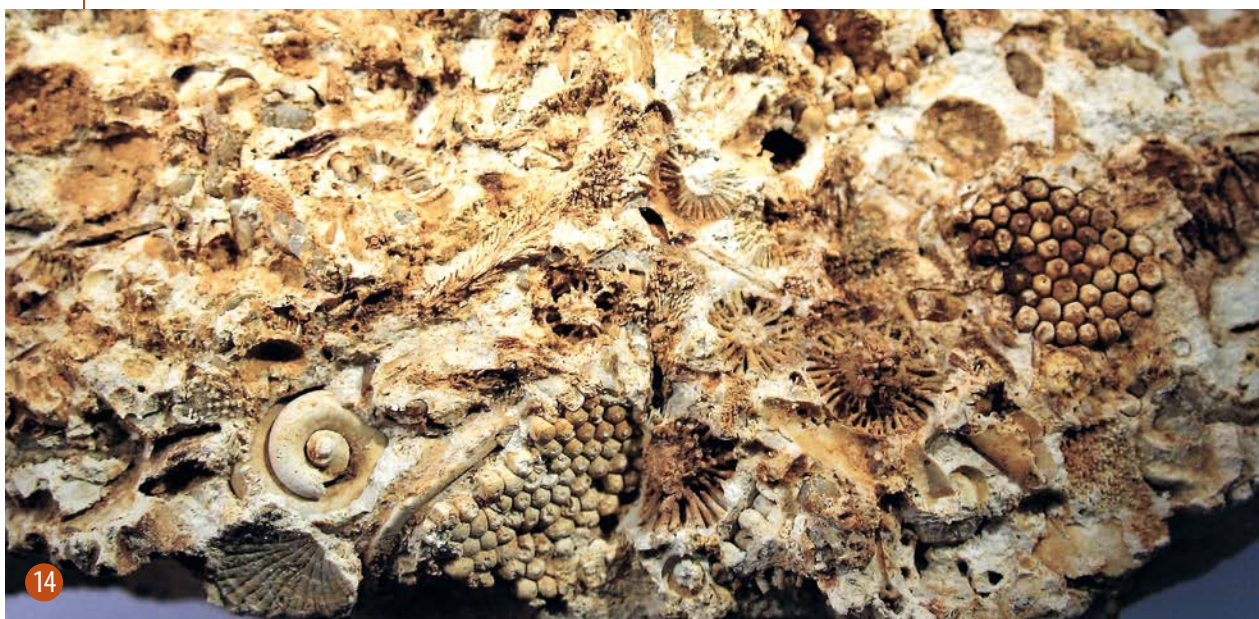
### Typologie van baksteenkalk

Baksteenkalk is geen uniform gesteente. Vooral op grond van fossielinhoud is het in twee hoofdtypen te verdelen. De fossielgezelschappen van deze hoofdtypen delen veel soorten, maar onderscheiden zich van elkaar door soorten die slechts in één gezelschap voorkomen. Het onderscheid is vooral duidelijk bij de algen,

brachiopoden en gastropoden. Zo zijn de kleine bolletjes van de alg *Apidium pygmaeum* alomtegenwoordig in type 1 (Afb. 5), maar ontbreken ze in type 2. Omgekeerd wordt de alg *Cyclocrinites porosus* wel in type 2 aangetroffen, maar niet in type 1 (Afb. 6). Voor brachiopoden en gastropoden is een soortgelijke verdeling te maken: de brachiopode *Bilobia* aff. *musca* is alleen in type 1, *Sowerbyella* en *Leptaena* uitsluitend in type 2 te vinden. Vergelijking met de Haljala-fauna in Estland toont dat het stratigrafisch bereik van soorten die tot type 1 beperkt zijn wat eerder ligt dan van soorten die beperkt zijn tot type 2. Type 1 lijkt dus iets ouder dan type 2. In algemene zin geldt dat type 2 rijker is aan fossielen – zowel in soorten als in individuen – en ook veel meer grote fossielen bevat dan type 1.

De tweedeling op grond van fossielinhoud valt samen met lithologische verschillen. Terwijl type 1 lithologisch homogeen is, is type 2 onder te





AFBEELDING 13. | Baksteenkalk, type 2A. WWW-gebied, diverse locaties. Het blok rechtsboven is 19 cm lang.

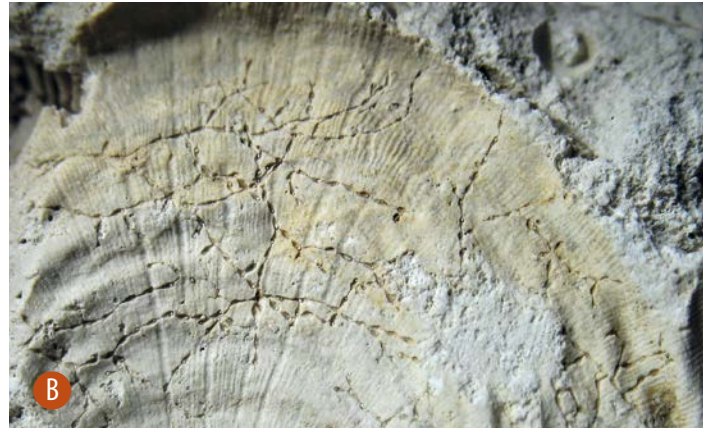
AFBEELDING 14. | Niveau met talrijke fossielen in baksteenkalk, type 2A. Herkenbaar zijn cyclocrinieten, bryozoëen, brachiopoden en gastropoden. Kloosterhaar. Beeldbreedte 64 mm.

verdelen in drie subtypen, waarbij lithologische verschillen een verschil in ontstaansgeschiedenis weerspiegelen. In het vervolg bezien we van al deze typen de taphonomie, inclusief die van de in deze typen voorkomende sporenfossielen.

### Taphonomie per type

1. Baksteenkalk van type 1 heeft een golvend, knobbelig oppervlak. Grotere keien hebben dikwijls een blokvorm, doordat twee of meer vlakke wanden in min of meer rechte hoek staan (Afb. 7). Het gesteente heeft geen gelaagdheid of andere regelmatige structuur en fijne en grovere delen lijken willekeurig gemengd. De schaarse macrofossielen komen zowel verspreid als geconcentreerd in *pockets* voor (Afb. 5). Misschien gaat het bij het laatste om detritus dat zich





AFBEELDING 15. | A. *Mastopora concava*, gedeeltelijk overkorst door de bryozo *Cerampora* sp. Collectie Freek Rhebergen, Ue19.20098a. Baksteenkalk, type 2A. Wilsum. Beeldbreedte 12 mm. B. *Brachiopode* uit de onderfamilie van de *Leptaeninae*. Afdruk van de buitenkant van de buikklep met daaraan vastgehecht een kolonie van de bryozo *Corynotrypa* sp. Baksteenkalk, type 2A. Wilsum. Beeldbreedte 35 mm.

verzamelde in kuiltjes voordat het begraven werd. Van organismen met een samengesteld kalkskelet, zoals crinoïden, machaeridia en trilobieten, worden alleen losse segmenten (bij trilobieten: vervellingsresten) gevonden. Soms zijn deze overgroeid of ingekapseld door bryozoën. Dat de samenhang tussen afzonderlijke skeletdelen niet bewaard bleef, en deze bovendien door epibionten als substraat zijn gebruikt, duidt erop dat organismen niet plotseling onder sediment werden bedolven. Type 1 is daarom geen turbidiet, zoals de Burgess Shale, waarin een complete levensgemeenschap geconserveerd werd. Wat de sterke omwoeling van het sediment dan wel veroorzaakt heeft, is onduidelijk.

Er zijn genoeg graafsporen te vinden (zie onder), maar te weinig om de grote mate van omwoeling uitsluitend in termen van bioturbatie te verklaren. Het knobbelige oppervlak is vermoedelijk toe te schrijven aan erosie van zachte of meer poreuze delen in de kalksteen. Ca. 65% van de baksteenkalk behoort tot type 1.



AFBEELDING 16. | *Gastropode* met graafgangen van *Arachnostega gastrochaena*. Baksteenkalk, type 2A. Itterbeck. Beeldhoogte 3 cm. WWW-gebied. Vondst Henri Jansen.

De meest voorkomende sporenfossielen in type 1 zijn 1-3 mm brede, in doorsnee cilindrische, kronkelende graafgangen die zich niet vertakken. Sommige hiervan zijn gevuld met homogeen gruis; waarschijnlijk heeft dit de ingewanden van het gravende organisme gepasseerd (*backfilling*; Afb. 8). *Planolites* is de naam die bij zulke sporenfossielen past. Vaak loopt door de buisopvulling een nauwe, soms afgeplatte binnenbuis, hol dan wel met secundaire kiezel gevuld (Afb. 9). Rond zo'n binnenbuis kan het sediment ook dicht aaneengekit zijn; in dat geval is er een concentrische structuur en/of verkleuring zichtbaar, vermoedelijk veroorzaakt door slijm waarmee het organisme het omringend sediment impregneerde (Afb. 10). Het sporenfossiel op Afb. 11 wijkt van de voornoemde af doordat meerdere slingerende gangen binnen de buisopvulling met elkaar vervlochten lijken. Bij *Chondrites*, vanuit één punt in alle richtingen uitwaaiende, zich vertakende tunnels, gaat het om *feeding structures* van een sedimenteter (Afb. 12). *Chondrites* is in de baksteenkalk in dwarsdoorsnede te herkennen als een verzameling lichter gekleurde stippen.





2A. Bij type 2A, dat ongeveer 15% van de baksteenkalk uitmaakt, hebben keien doorgaans de vorm van dunne platen of plakken met een vlakke 'onderkant' (Afb. 13). Aan de bovenkant is het oppervlak soms vlak, soms sterk gewelfd als in type 1. Het gesteente oogt onrustig door talrijke opgevulde graafgangen en onregelmatig verspreide kleinere fossielen als crinoïden en bryozoënf fragmenten. Gelaagdheid ontbreekt, maar in veel stukken is er een niveau, doorgaans aan het oppervlak, waarin fossielen geconcentreerd voorkomen (Afb. 14). Grotere fossielen, vooral gastropoden, brachiopoden, algen en trepostomate bryozoëen, komen vaak geclusterd voor. Deze concentraties van fossielen suggereren *winning*, uitspoeling van fijner materiaal. Grotere fossielen zijn waarschijnlijk niet ver van hun leefgebied begraven; zo weerspiegelen keien waarin bepaalde brachiopoden, gastropoden of bryozoëen domineren, een plaatselijke levensgemeenschap. Een treffend voorbeeld hiervan is een stuk met meerdere cranidia van de betrekkelijk schaarse trilobiet *Panarchaeogonus*. Van de uit meerdere gecalificeerde segmenten bestaande fossielen worden doorgaans alleen losse delen gevonden, maar anders dan in type 1 komen heel af en toe ook trilobiet- of crinoïdenresten voor die nog enige samenhang bewaard hebben. Fossielen van cyclocrinieten vertonen soms wat drukschade, met name bij *Mastopora concava* komt dit voor.

Op en in de zeebodem moet veel biologische activiteit hebben geheerst. De talrijke opgevulde graafgangen – vooral goed zichtbaar in vochtige stenen – wijzen op een grote mate van bioturbatie. Mollusken, trilobie-



AFBEELDING 17. | Buis opgevuld met trochieten en fragmenten van bryozoëen en brachiopoden. Baksteenkalk, type 2A. WWW-gebied. Beeldbreedte 6 cm.

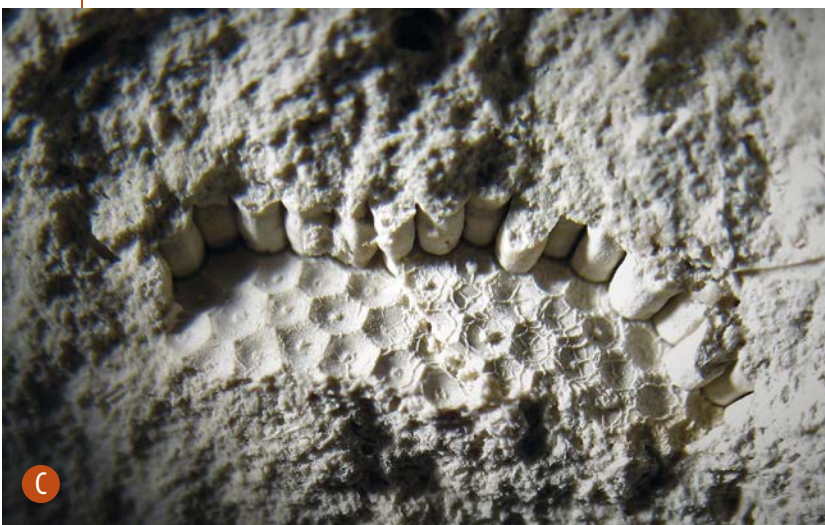
ten, brachiopoden, algen en crinoïden zijn door bryozoëen en cornulieten als substraat gebruikt (Afb. 15A, 15B). Ook aaseters en schimmels hebben hun sporen achtergelaten (zie onder). Dode organismen en hun kalkschalen moeten daarom nog geruime tijd op of in de bovenste delen van de zeebodem hebben gelegen. Dit is in overeenstemming met het trage sedimentatietempo dat Jaanusson berekende voor de Estlandse Sandbian-formaties. Behalve de in type 1 voorkomende sporenfossielen, treden in type 2 ook andere op. Ik noem de opvallendste:

- Vaak voorkomend zijn naar onderen smaller wordende, tot 10 cm lange en 2 cm brede, licht gebogen buizen die geheel opgevuld zijn met fragmenten van bryozoëen en kleine brachiopoden, segmentjes van crinoïden, ostracoden en monaxonen (Afb. 17). Deze puntzakvormige buizen mondden vermoedelijk uit op de zeebodem. Ze kunnen moeilijk anders dan van biologische oorsprong zijn, maar in het materiaal waarmee ze gevuld zijn, zijn geen holle of opgevulde woonbuizen of graafgangen te bespeuren. Het is daarom goed mogelijk dat de opvulling secundair is, misschien vanuit een bovenliggende tempestiet (zie onder).
- *Arachnostega gastrochaenae* bestaat uit tot 2 mm brede, zich vertakkende gangen in sedimentopvullingen van mollusken (Vinn *et al.*, 2014); in baksteenkalk is *Arachnostega* vooral bij gastropoden waar te nemen, minder vaak bij brachiopoden (Afb. 16). Wellicht gaat het om een voedingsspoor van een aaseter.
- Schalen van gastropoden, brachiopoden en cephalopoden kunnen geheel of gedeeltelijk zijn gevuld met kleine afgeronde cilinders (Afb. 18A, 18B). Slechts



AFBEELDING 18. | A. *Coprulus* in gastropode, vermoedelijk *Deaecheospira cf. inflata*. Baksteenkalk, type 2A. WWW-gebied. Beeldbreedte 2 cm. B. *Coprulus* in graafgang. WWW-gebied. Beeldbreedte 18 mm.





AFBEELDING 19. | A. *Coelosphaeridium sphaericum* met tussen de lateralen linksboven enkele in kiezel omgezette schimmeldraden die na de dood van de alg groeiden in de (verdwenen) organische substantie. Rechts op de afbeelding *Cornulites*. Wilsum. Beeldbreedte 25 mm. B. *Apidium pygmaeum* met grotendeels bewaarde inwendige structuur. Rechtsboven in kiezel omgezette schimmeldraden. Itterbeck. Maatstaf is 1 mm. Foto: Herman Akkerman. C. *Mastopora concava* met draden van een schimmel (of alg) die zich na de dood van de alg nestelde tussen ondermembraan en bovenliggende globella. Wilsum. Beeldbreedte 15 mm.

sporadisch vormen deze cilindertjes vrijliggende opeenhopingen in het sediment. De oude benaming *Tomaculum*, ‘saucijsje’, typeert hun vorm adequaat. In de 19e eeuw geïnterpreteerd als eitjes, worden ze tegenwoordig algemeen beschouwd als *faecal pellets*, keuteltjes. *Coprulus* is de nu gangbare naam voor dergelijke micro-coprolieten, die ook bekend zijn van Estland (Toom *et al.*, 2020). Binnen één opeenhoping van *Coprulus* zijn vorm en afmeting van pellets steeds gelijk, maar tussen opeenhopingen kunnen die verschillen. Dat de *pellets* fossiel bewaard zijn gebleven, komt misschien doordat ze omhuld waren door slijm. Het feit dat *Coprulus* doorgaans in schalen voorkomt, suggereert dat de producent, misschien een polychaete worm, een aaseter is geweest. *Coprulus* en *Arachnostega* worden vaak bij elkaar aangetroffen, maar niet consequent, zodat deze sporenfossielen waarschijnlijk niet door hetzelfde organisme zijn gemaakt. – In *Coelosphaeridium sphaericum* komen regelmatig dunne kronkelige draadjes voor, die de Noorse paleontoloog Spjeldnaes duidde als met kiezel gevulde boorgangetjes van een schimmel (Rhebergen, 1994; Afb. 19A). Veel schaarser

zijn soortgelijke draadjes in andere algen (Afb. 19B, 19C).

– Veelhoekige stippen op schalen van brachiopoden en mollusken zijn wellicht aanhechtingssporen van een onbekend organisme (Afb. 20).

2B. Stukken geheel opgebouwd uit vergruisde brachiopoden en cryptostomate bryozoën, met daartussen ostracoden, crinoïden en soms hele brachiopoden, vooral *Sowerbyella*, en fragmenten van *Mastopora concava* (Afb. 21). Sporenfossielen zijn beperkt tot de bij type 1 beschreven onvertakte graafgangen. Er bestaat geen duidelijke grens tussen de concentrische opvulling en het omringende sediment, hetgeen erop wijst dat de graafgangen werden geïmpregneerd met slijm (vgl. Afb. 10). 4% van de baksteenkalk kan tot dit type worden gerekend.

2C. Zeer dicht verkiezelde, tamelijk platte stukken. Hun aandeel van 15% van het totaal aan baksteenkalk lag in het herkomstgebied waarschijnlijk veel lager; door hun resistentie tegen vertering zijn ze in het WWW-gebied oververtegenwoordigd. Op grond van hun verschijningsvorm zijn er twee (sub)typen te onderscheiden: – Het eerste vertoont de fossielinhoud van type 2A. Stukken hebben doorgaans een vlakke ‘onderkant’. Aan deze kant is de verkiezeling ook het dichtst. ‘Naar boven’ neemt de mate van uitloging toe. Typerend is de donkere, bruin tot rood-bruine kleur van de sterkst verkiezelde zone aan de ‘onderkant’ (Afb. 22A). In deze zone en direct erboven liggen talrijke fos-



sielresten, bewaard als massieve afgietsels van donkere glazige kiezel. Met name bij cyclocrinieten is het effect visueel fraai (Afb. 22C). Veel resten zijn echter onherkenbaar gedeformeerd. Tot voor kort interpreteerde ik de 'onderkant' bij dit type als het begin van een nieuwe sedimentatiefase na een onderbreking, waarbij een laag met door *winnowing* geconcentreerde fossielresten aan de basis van de nieuwe sedimentatie ligt. Misschien moet dit onderbrekingsvlak (*discontinuity surface*) toch anders worden begrepen. In het Ordovicium en Siluur van Estland komen *hardgrounds* voor, fossiele zeebodems van kalkig sediment die *in situ* versteend zijn geraakt door de neerslag van kalkcement in de porieruimtes tussen partikels (Wilson & Palmer, 1992; Vinn & Toom, 2015) nadat de afzetting van sediment tijdelijk stopte. Deze verharde bodems hebben door pyrietdeeltjes soms een donkerder kleur dan het onderliggende sediment. Op het oppervlak hebben zich hier en daar bryozoën en cornulieten vastgehecht en er komen ronde gaatjes van maximaal 3 mm doorsnee in voor, gemaakt door een onbekend

borend organisme met de naam *Trypanites*. In de 'onderkant' van onze stukken ontbreken de overkorstende bryozoën en de cornulieten, maar de donkere verkleuring is aanwezig. Wat er vooral voor pleit om deze 'onderkanten' als bovenkanten, dus als fossiele zeebodems, te interpreteren, is de aanwezigheid van ronde, met kiezel gevulde gaten, 1-4 mm in doorsnede (Afb. 22B). Het zou



AFBEELDING 20. | Veelhoekige stippen op de afdruk van een kalkschaal, waarschijnlijk van een cephalopode. Itterbeck. Beeldbreedte 38 mm.



AFBEELDING 21. | Baksteenkalk, type 2B. WWW-gebied, diverse locaties. Het blok middenboven is 12 cm lang.





AFBEELDING 22. | A. Baksteenkalk, type 2C, waarschijnlijk hardgrounds. Aan de 'onderkant' (wellicht de feitelijke bovenkant) zijn de stukken dichter verkiezeld en bruinrood verkleurd. Fossielen zijn herkenbaar als afgietsels van donkere, glazige kiezel. WWW-gebied, diverse locaties. Het stuk linksonder is 8 cm lang. B. De 'onderkant van twee hardgrounds'. De ronde met kiezel gevulde gangen zijn waarschijnlijk van Trypanites. C. Cyclocrinites porosus, massief verkiezeld exemplaar in baksteenkalk, type 2C. Wilsum. Beeldbreedte 1 cm. Ex coll. Norbert Huuskes.

hierbij om *Trypanites* kunnen gaan. De concentratie van fossielen in de direct onderliggende zone zou dan door ontstaan kunnen zijn door verspoeling van fijnere partikels (*winnowing*) voorafgaand aan cementatie.

- Het tweede bestaat uit onregelmatig gevormde, dicht verkiezelde banken. Vaak heeft dit type aan één kant een pokdalige korst waarin veelal forse, met fijnere kiezel gevulde graafgangen zijn uitverweerd (Afb. 23). Aanwijzingen welke organismen de rechte tot licht gebogen, soms enigszins afgeplatte, elkaar kruisende, graafgangen hebben veroorzaakt, zijn er niet. De voor trilobieten kenmerkende sporen (*Cruziana*) zijn in ieder geval niet te onderscheiden. Misschien is op dergelijke gangen de naam *Palaeophycus* van toepassing. Waarschijnlijk is ook dit type een *hardground*. Het sediment moet spoedig na

het ontstaan van de graafgangen verhard zijn geraakt, waarbij ook de gangen zelf zich vulden met kalkcement. Onder de schaarse fossielen komt *Coelosphaeridium sphaericum* en *Vermiporella fragilis* het meest voor. De in type 1 algemene *Apidium pygmaeum* ontbreekt, maar omdat ook de voor type 2 kenmerkende fossielen ook niet gevonden worden, is de plaats van dit type feitelijk onduidelijk.



AFBEELDING 23. | Baksteenkalk, type 2C. Hardgrounds van een tweede type, van bovenaf gezien, met talrijke horizontaal lopende, grote graafgangen. WWW-gebied, diverse locaties. Het stuk links in het midden is 104 mm lang.

3. Slechts 1% van baksteenkalk bestaat uit stukken met gelijkmatig verdeelde holle graafgangen van dezelfde diameter, die overwegend, maar niet uitsluitend, parallel verlopen (Afb. 23). In één exemplaar wordt de gatenkaas bedekt door een dunne korst zonder graafgangen. Het feit dat de gangen zo duidelijk zijn bewaard, suggereert dat de graafactiviteiten plotseling, wellicht door een toestroom van sediment, zijn gestopt. De schaarse fossielen zijn die van hoofdtype 2.

### Tot slot

Alle genoemde typen baksteenkalk zijn in een later stadium massief verkiezeld geraakt. Wat de bron van het hiervoor benodigde kiezelzuur is geweest, staat niet geheel vast. De (meta-)bentonietlagen die in het Baltische gebied in allerlei ordovicische en silurische formaties voorkomen, zijn een voor de hand liggende

kandidaat. Merkwaardig is wel, dat in Estland direct boven en onder bentonietlagen liggende kalkstenen niet verkiezeld zijn. Misschien was dit anders in het herkomstgebied van baksteenkalk, omdat de bentonietlagen naar het westen toe geleidelijk dikker worden (Bergström *et al.*, 1995). Zo trof Schallreuter in Zweden wel verkiezeld gesteente onder bentonietlagen aan (Schallreuter, 1993). Het voert te ver om in het kader van dit artikel dieper op deze kwestie in te gaan. Dat geldt ook voor het complexe verkiezelingsproces zelf. Hier zij slechts vermeld, dat in de jaren '90 door de chemicus Landmesser een verklaringmodel voor agatisering bij lage temperatuur is ontworpen, dat ook bruikbaar lijkt om de verkiezelingsprocessen te begrijpen die tot de OVK hebben geleid (Landmesser, 1995). Waarschijnlijk zijn al deze gesteenten pas verkiezeld geraakt in het Tertiair, toen ze, nadat bovenliggende formaties door erosie waren verdwenen, aan het aardoppervlak kwamen te liggen en ze enige tijd aan een aride klimaat waren blootgesteld. In dat geval vormde de verkiezelde baksteenkalk waarschijnlijk niet meer dan een dunne korst op onverkiezelde, of slechts gedeeltelijk verkiezelde, gesteenten.

Het knobbelige oppervlak dat veel stukken van type 1, maar ook van type 2, kenmerkt lijkt veroorzaakt te zijn door selectieve erosie van kalksteen, voorafgaand aan de verkiezeling, waarbij de zachte delen het eerst oplosten. H.-H. Krueger wees op het verschijnsel dat hard verkiezelde fossielen in lavendelblauw verkiezelde kalksteen – één van de andere gesteenten binnen de OVK – boven het oppervlak uitsteken (Krueger, 1990). Iets soortgelijks is bij baksteenkalk van type 1 waar te nemen. Waarschijnlijk raakten fossielen eerder verkiezeld dan de





AFBEELDING 24. | Baksteenkalk, type 3. WWW-gebied, diverse locaties. Grootste lengte stuk linksboven 8 cm.

omringende kalksteen en boden ze derhalve ook meer weerstand tegen erosie. Ook in de echte kalksteen van Estland zijn er geheel verkiezelde fossielen te vinden. Dat kan erop wijzen dat grotere fossielen in baksteenkalk al verkiezeld waren voordat het gesteente zelf aan het oppervlak verkiezeld raakte.

### Dankwoord

Tenzij anders aangegeven, zijn de afgebeelde stukken uit mijn verzameling afkomstig. Een deel daarvan betreft eigen vondsten, een ander deel betreft schenkingen van, in alfabetische volgorde: Dick & Dirkje Hofman; Norbert Huuskes; Henri Jansen; Trieneke Kisjes; wijlen Sneek Rhebergen; Rolf Smit; Rudolf Snippe; Peter & Karin de Vries. Deze personen zij hartelijk dank gezegd. Ik dank Herman Akkerman voor het vervaardigen van de fraaie foto op Afb. 19B.

## LITERATUUR

- Barnes, C.R., 2004. Ordovician Oceans and Climate. In: B.D. Webby, F. Paris, M.L. Droser & I.G. Percival (eds.), *The Great Ordovician Biodiversification Event*, Colombia University Press, 72-76.
- Bergström, S.M., Huff, W.D., Kolata, D.R. & Bauert, H., 1995. Nomenclature, stratigraphy, chemical fingerprinting, and areal distribution of some Middle Ordovician K-bentonites. *GFF*, 117, 1-13.
- Hucke, K., 1928. *Neue Untersuchungen über das Pliozän in Pommern und Brandenburg*. *Zeitschrift für Geschiebeforschung*, 4/4, 157-183.
- Jaanusson, V., 1976. Faunal dynamics in the Middle Ordovician (Viruan) of Balto-Scandia. In: M.G. Bassett (ed.), *The Ordovician System: proceedings of a Palaeontological Association symposium*, Birmingham, September 1974, University of Wales Press, 301-326.
- Jaanusson, V., 1995. *Confacies differentiation and Upper Middle Ordovician correlation in the Baltoscandian Basin*. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Geology*, 44, 73-86.
- Keulen, P. & Rhebergen, F., 2017. *Typology and fossil assemblage of Sandbian (Ordovician) 'baksteenkalk': an erratic silicified limestone of Baltic origin from the northeastern Netherlands and adjacent areas of Germany*. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 66/4, 198-219.
- Keulen, P., Smit, R. & Rhebergen, F., 2012. *Ordovizische Lavendelblaue Hornsteine in miozänen bis alt-pleistozänen Ablagerungen des "Baltischen Flußsystems"*. *Archiv für Geschiebekunde* 6 (3), 155-204.
- Kiipli, E. & Kiipli, T., 2006. *Carbonate distribution in the East Baltic deep shelf in the late Ordovician-early Silurian*. *GFF*, 128, 147-152.
- Krueger, H.-H., 1990. *Verwitterungsspuren an der nordischen Geröllgemeinschaft aus der Lausitz (Miozän)*. In: U. von Hacht (ed.), *Fossilien von Sylt III*, Verlag und Verlagsbuchhandlung Inge-Maria von Hacht, Hamburg, 325-336.
- Landmesser, M., 1995. *Mobility by metastability: silica transport and accumulation at low temperatures*. *Chemie der Erde*, 55, 149-176.
- Rhebergen, F., 1994. *Ordovizische algen: I. Cyclocrimieten*. *Grondboor & Hamer*, 48, 97-107.
- Rhebergen, F., Eggink, R., Koops, T. & Rhebergen, B., 2001. *Ordovizische zwerfsteensponzen*. *Staringia*, 9 [Grondboor & Hamer, 55].
- Schallreuter, R., 1993. *Mischfaunen in Geschieben*. *Geschiebekunde aktuell*, 9/3, 75-84.
- Seilacher, A. & Gishlick, A.D., 2015. *Morphodynamics*. CRC Press, London, New York.
- Toom, U., Vinn, O., Isakar, M., Madison, A. & Hints, O., 2020. *Small faecal pellets in Ordovician shelly fossils from Estonia, Baltoscandia*. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 69/1, 1-19.
- Vinn, O. & Toom, U., 2015. *Some encrusted hardgrounds from the Ordovician of Estonia (Baltica)*. *Carnets de Géologie*, vol. 15, no. 7, 63-70.
- Vinn, O., Wilson, M.A., Zato?, M. & Toom, U., 2014. *The trace fossil Arachnostega in the Ordovician of Estonia (Baltica)*. *Palaeontologia Electronica* 17.3.41A, 1-9.
- Wilson, M.A. & Palmer, T.J., 1992. *Hardgrounds and hardground faunas*. University of Wales, Aberystwyth, Institute of Earth Studies Publications, Aberystwyth, vol. 9.

