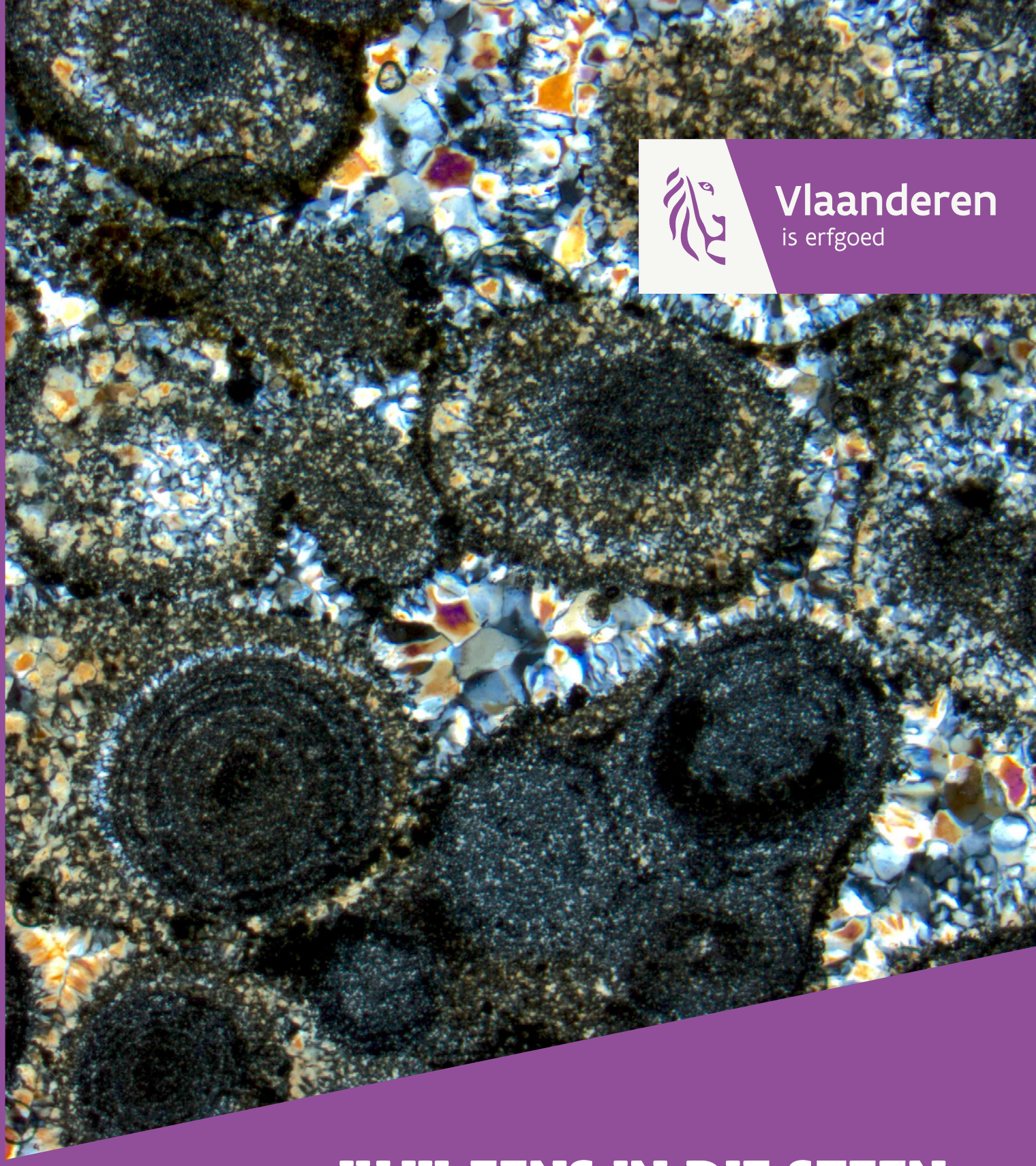


Vlaanderen
is erfgoed

KIJK EENS IN DIE STEEN...

Microscopische wonderen uit een versteend verleden

Handleiding Onroerend Erfgoed

Agentschap
Onroerend
Erfgoed

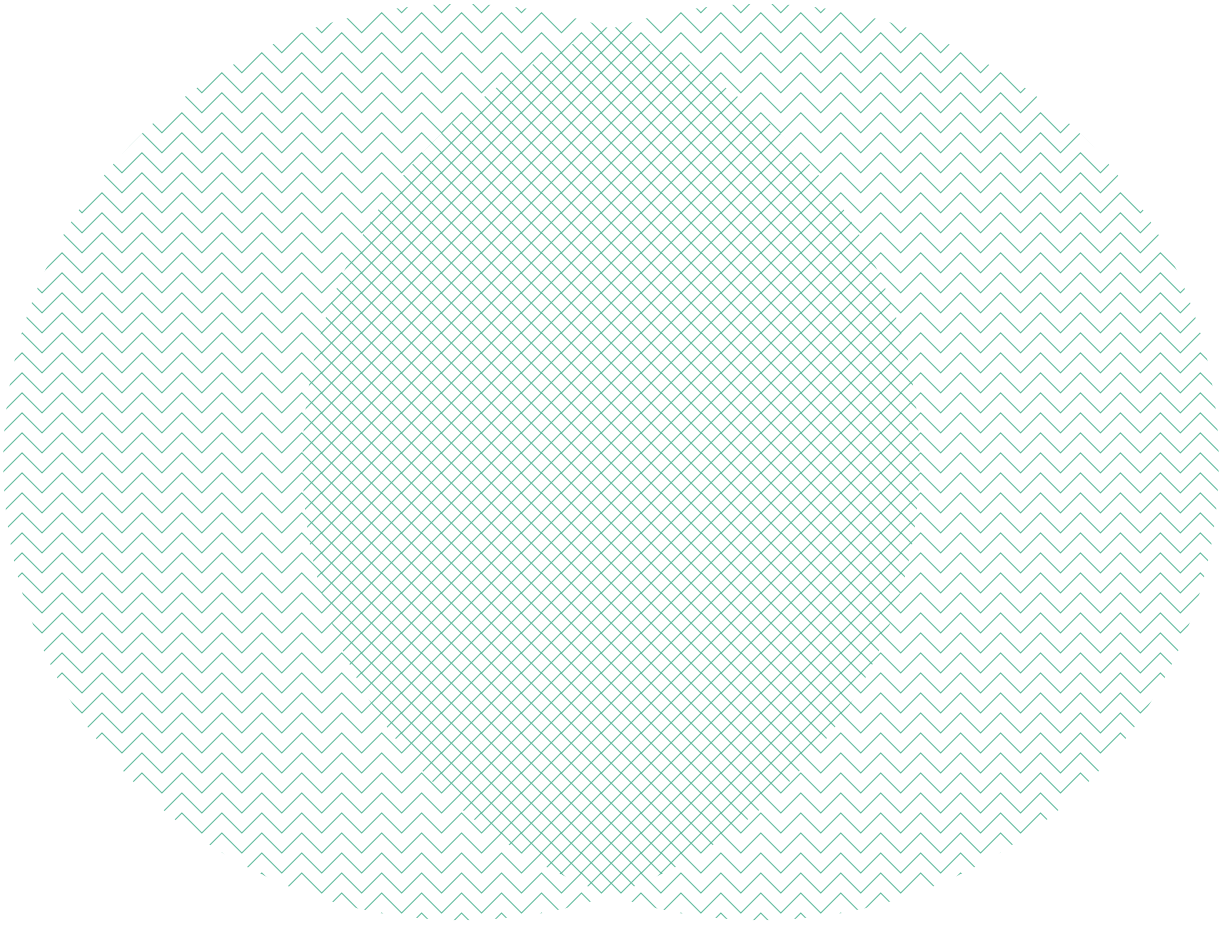
www.onroerenderfgoed.be

Voor Miet en Anita
zonder jullie was dit boek er nooit geweest.

KIJK EENS IN DIE STEEN...

Microscopische wonderen uit een versteend verleden

Roland Dreesen



COLOFON

TITEL
Kijk eens in die steen...
Microscopische wonderen uit een versteend verleden

REEKS
Handleidingen agentschap Onroerend Erfgoed nr. 26

AUTEUR
Roland Dreesen - Universiteit Gent, Vakgroep Archeologie; Gallo-Romeins Museum Tongeren; Belgische Geologische Dienst Brussel

JAAR VAN UITGAVE
2021

Een uitgave van agentschap Onroerend Erfgoed Wetenschappelijke instelling van de Vlaamse Overheid, Beleidsdomein Omgeving
Published by the Flanders Heritage Agency Scientific Institution of the Flemish Government, policy area Environment

VERANTWOORDELIJKE UITGEVER
Sonja Vanblaere

OMSLAGILLUSTRATIE
Kiezeloöliet, verkiezelde oölitische kalksteen, Groeve Beaujean, Heerlen
(foto: R. Dreesen, 2018)

FOTO'S EN ILLUSTRATIES
Alle foto's zijn van de auteur behalve waar anders vermeld.

agentschap Onroerend Erfgoed
Havenlaan 88 bus 5
1000 Brussel
T +32 2 553 16 50
info@onroerenderfgoed.be
www.onroerenderfgoed.be

Dit werk is beschikbaar onder de Open Data Licentie Vlaanderen v. 1.2.
This work is licensed under the Free Open Data Licence Flanders v. 1.2.

Dit werk is beschikbaar onder een Creative Commons Naamsvermelding 4.0 Internationaal-licentie.
Bezoek http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ om een kopie te zien van de licentie.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.
To view a copy of this license, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/.

ISSN 2565-7003
D/2021/3241/238

Inhoudstafel

WOORD VOORAF 9

INLEIDING 13

HOOFDSTUK 1 21
OÖLITISCH HEMATIET

HOOFDSTUK 2 27
GLAUCONIETHOUDEND ZAND UIT DE FORMATIE VAN DIEST

HOOFDSTUK 3 33
CARBOONZANDSTEEN (KOLENZANDSTEEN)

HOOFDSTUK 4 39
KIEZELOÖLIET

HOOFDSTUK 5 45
KWARTSIETEN: METAMORF ÉN SEDIMENTAIR

HOOFDSTUK 6 51
RECENTE OÖIDEN - OÖLIETEN

HOOFDSTUK 7 57
KORSTMOSSEN EN STEEN

HOOFDSTUK 8 65
FRANSE STEEN: SAVONNIÈRES EN EUVILLE

HOOFDSTUK 9 71
KRIJT EN KRIJTSTEEN

HOOFDSTUK 10 77
BASALTLAVA EN VULKANISCHE TUFSTEEN

HOOFDSTUK 11 85
NUMMULIETENKALKSTEEN

HOOFDSTUK 12 91
PETIT GRANIT – BELGISCHE BLAUWE HARDSTEEN

HOOFDSTUK 13 99
KALKSTEEN VAN VINALMONT

HOOFDSTUK 14 105
KALKTUF – MOERASKALK

HOOFDSTUK 15 113
BIOLOGISCHE VERWERING

HOOFDSTUK 16 121
ONCOÏDEN EN ONCOLIETEN

HOOFDSTUK 17 129
KOKERWORMEN

HOOFDSTUK 18 137
TAN SHAN EN BUDHPURA: GEVAAR UIT HET OOSTEN?

HOOFDSTUK 19 147
SPONSNAALDEN (SPICULAE)

HOOFDSTUK 20 157
WIT MARMER

GERAADPLEEGDE PUBLICATIES 167

EINDNOTEN 177



Foto van het natte oppervlak van een gezaagd stuk Norroy kalksteen (Jura) met typische cortoïden, afkomstig van de Romeinse steengroeve gelegen in Norroy-lès-Pont-à-Mousson, Meurthe-et-Moselle, Frankrijk.

WOORD VOORAF

Het idee voor deze reeks van korte bijdragen ontstond tijdens de Coronalockdowns: ik wilde jullie vanuit de luie zetel of stoel via de computer graag laten meekijken in het fascinerende binnenste van gesteenten. Dit gebeurt aan de hand van 20 gevallenstudies die gedurende de afgelopen twee decennia werden uitgevoerd in het kader van verschillende projecten van de Werkgroep Geologie (LIKONA – de Limburgse Koepel voor Natuurstudie)[1] en van archeologische onderzoeksprojecten met diverse collega's.

Door een optische microscoop kijken naar dunne transparante schijfjes van gesteenten is voor mij altijd al een fascinerende en leerrijke ervaring geweest: telkens weer ging er een onvermoede boeiende wereld voor mij open. Dankzij dit microscopisch onderzoek beleefde ik ook regelmatig aha- of wauw-momenten, wanneer ik plots het antwoord vond op vragen naar de samenstelling of herkomst van een steen of wanneer ik onder de indruk kwam van het fotogenieke binnenste van een steen. Iets dat mij persoonlijk hierin erg heeft gestimuleerd, was een korte opleiding aan de Universiteit van Erlangen (Oostenrijk) in 1981, toen wijlen Prof. Erik Flügel verschillende van mijn Belgische en internationale collega's en mijzelf introduceerde in het microscopisch onderzoek van kalksteen (fig.1). Dit betekende voor de meeste aanwezigen de start van een boeiende ontdekkingstocht in de microscopische wereld van kalkstenen en van al hun minuscule componenten, waaronder microfossielen. Met behulp van microfossielen én door de specifieke aard van sedimentaire gesteenten waarin ze opgesloten zijn, kan je immers de omstandigheden van miljoenen jaren oude afzettingsmilieus vrij goed reconstrueren. Bovendien laten microfossielen ook toe om de geologische ouderdom van een sedimentair gesteente indirect en vrij nauwkeurig te bepalen. Ten slotte is de microscopische "vingerafdruk" van een steen (de configuratie van de samenstellende mineralen) of het "microfacies" van een kalksteen, een geweldig instrument om zijn vermoedelijke geologische herkomst en geografisch voorkomen te achterhalen.

Naast petrografisch onderzoek dat werd uitgevoerd binnen wetenschappelijke onderzoeksprojecten en commerciële opdrachten op vraag van mijn vroegere werkgevers, heb ik de polarisatiemicroscoop ook gebruikt in het kader van projecten van de Werkgroep Geologie, zoals de Atlas natuursteen in Limburgse gebouwen, artikels bestemd voor het LIKONA-jaarboek, onze geologische fietsroutes en het zand- en grindonderzoek,... Meer recent heb ik petrografisch onderzoek ten slotte ook nog kunnen toepassen in het kader van enkele boeiende projecten in samenwerking met archeologen (Romeinse en Middeleeuwse archeologie). Uit al deze niet-commerciële gevallenstudies heb ik de hierna volgende microscopische beelden geselecteerd en heb ze van een begeleidende tekst voorzien.

Ik laat jullie nu graag meegenieten en hoop dat jullie samen met mij overtuigd zullen zijn van het fotogenieke en betoverende van deze versteende microscopische wereld.

Roland Dreesen, 02-12-2020





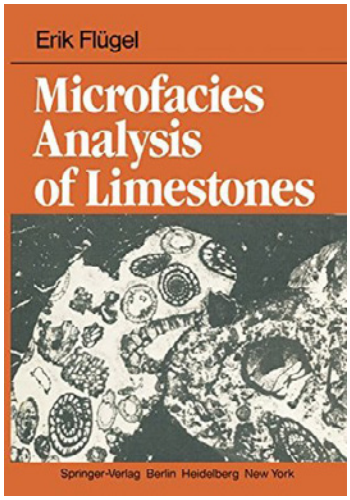


FIG. 1. **Prof. Erik Flügel (1934–2004) en zijn baanbrekend boek over het microscopisch onderzoek (microfacies analyse) van kalkstenen (1978 en latere drukken) (**https://www.univie.ac.at/ajes/archive/volume_97/haditsch_fluegel_nachruf_ajes_v97.pdf**)**



Vloertegels bestaande uit divers gekleurde soorten fossielrijke kalkstenen daterend van het Carboon en de Jura, Cathédrale Notre-Dame, St.-Omer, Pas-de-Calais, Frankrijk.

INLEIDING

Petrografie (van het Griekse "petra" voor steen en "graphein" voor schrijven) is een onderdeel van de petrologie - een aparte tak van de geologische wetenschappen - die zich toelegt op de studie van gesteenten én van de condities waarin deze zich vormen. Petrografie als wetenschap is in 1828 ontstaan toen de Schotse leraar fysica en geoloog William Nicol (1770-1851) een techniek ontdekte om gepolariseerd licht te creëren door het slijpen van een lens uit zuiver calciet (IJslandspaat), achteraf "Nicol prisma" genoemd. Door toevoeging van twee dergelijke lenzen aan een gewone optische microscoop werd het instrument plots een *polarisatiemicroscoop* of petrografische microscoop. Normaal licht is de optelsom van allerlei lichtstralen die zich in verschillende richtingen en met verschillende snelheden voortplanten in een medium (bijvoorbeeld een mineraal). De eigenschap die we zien in zulk medium, zoals kleur, is de optelsom van al dat licht. Om een medium te identificeren, is het nodig om zijn 'echte' kleur te bepalen: dit is de essentie van polarisatiemicroscopie. Een polarisatiemicroscoop bevat daartoe twee filters, de zgn. analysator en polarisator, die ervoor zorgen dat het passerende licht in één specifieke richting trilt. Deze filters staan loodrecht op elkaar. Is alleen de analysator ingeschakeld, dan is de "echte" kleur van het medium zichtbaar, vaak variërend met de oriëntatie van een kristal. Zijn beide filters ingeschakeld, dan ontstaat een interferentiepatroon. De 'kleur' die dan zichtbaar is, wordt dubbelbreking genoemd. Deze dubbelbreking wordt veroorzaakt door het verschil tussen de grootste en kleinste brekingsindex van een kristal en is afhankelijk van de symmetrie ervan. Bij perfecte symmetrie (d.w.z. een kubische symmetrie) is de brekingsindex voor alle richtingen gelijk en is er geen dubbelbreking: het kristal blijft in alle richtingen donker (zwart) onder kruiselings gepolariseerd licht. Dit geldt bijvoorbeeld voor mineralen zoals haliet (keukenzout) of granaat. Als een medium geen geordende kristalstructuur heeft, dan is er evenmin verschil in brekingsindex. Ook amorfe verbindingen (zoals glas of silica) hebben geen dubbelbreking. De dubbelbreking is bovendien (net als veel andere optische eigenschappen) afhankelijk van de dikte van het preparaat; daarom worden slijpplaatjes op een vaste dikte gemaakt (Nijland, 2016).

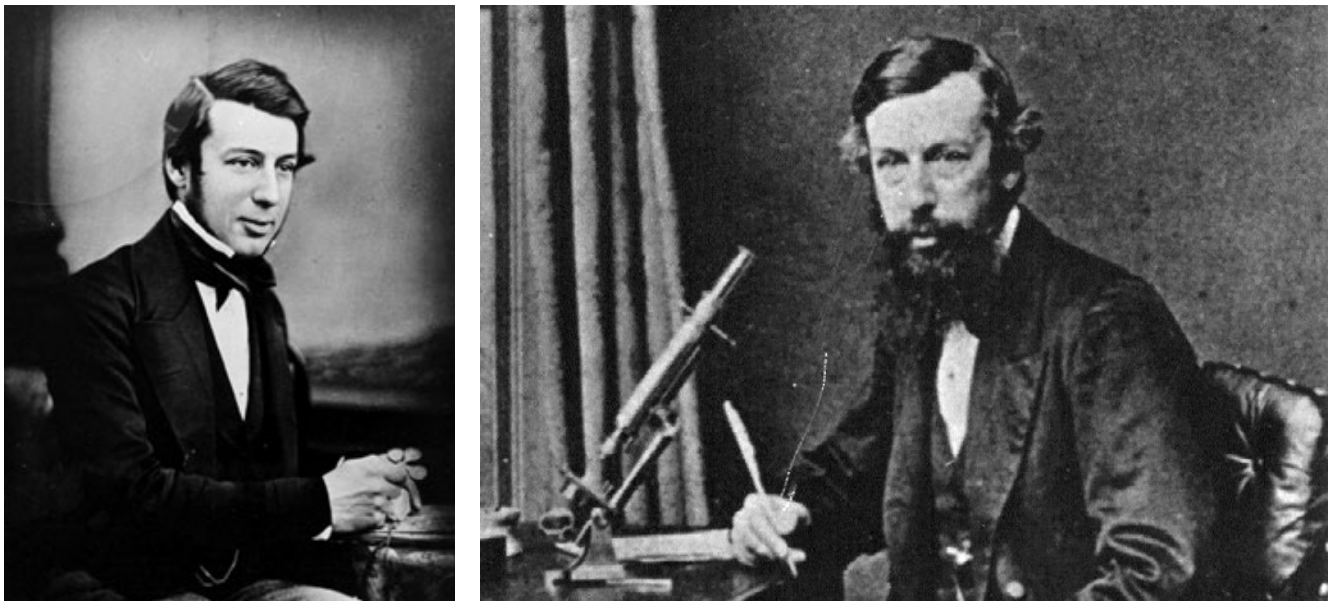


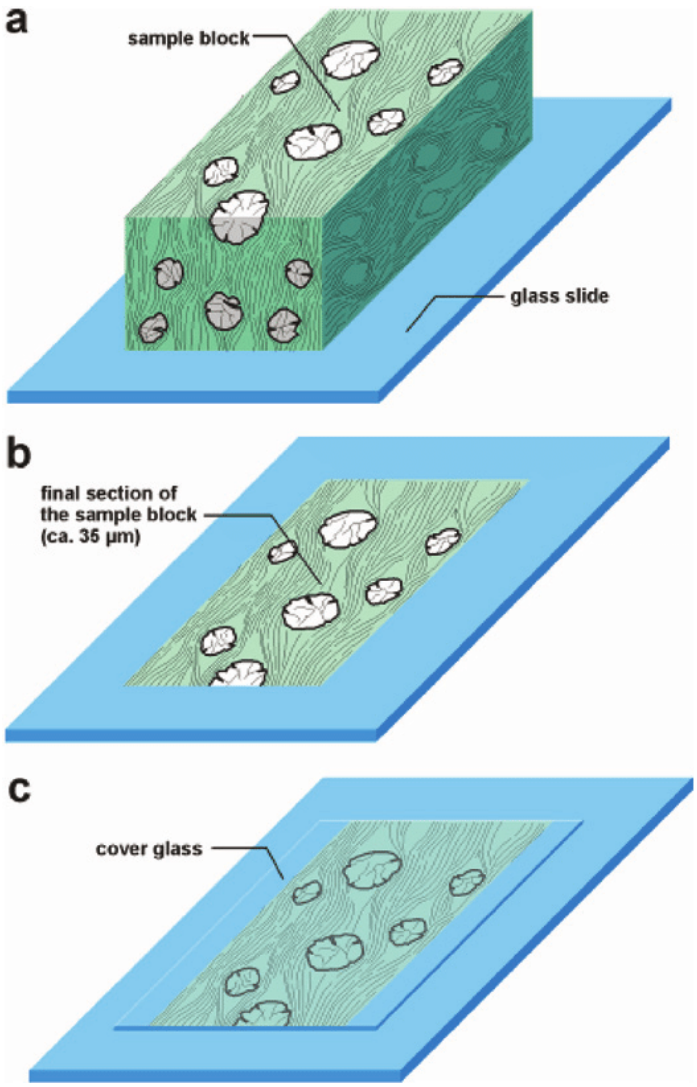
FIG. 2. **Links: Henry Clifton Sorby (1852), Science Photo Library. Rechts: H.C. Sorby (1860), The Sheffield Telegraph**

Het was vooral de Engelse geoloog en metallurgist Henry Clifton Sorby (1826-1908) (fig.2) die in 1840 de basis legde van wat nu *petrografie* is geworden, de techniek om zeer dunne schijfjes van gesteenten in doorvallend licht onder de microscoop te bestuderen. Het belang van deze revolutionaire techniek kan niet genoeg worden benadrukt en ik citeer: "Waarschijnlijk kunnen we het venster dat Sorby ooit opende op het binnenste van gesteenten, vergelijken met het venster dat de Hubble-ruimtetelescoop recent opende op de ruimte, omdat beide technieken nieuwe beelden genereren die zo goed zijn dat ze revolutionaire wetenschap creëren" (Garcia-Guinea, 2016).

De techniek om ultradunne doorsneden van kristallen of gesteenten te maken was reeds in 1815 door William Nicol uitgevonden, toen hij versteend hout wilde onderzoeken. Een dergelijke ultrafijne doorsnede - *slijpplaatje* of "*lame mince*" in het Frans, "*thin section*" in het Engels,"*Dünnschliff*" in het Duits - wordt bekomen na het plakken van een schijfje gesteente (voordien met een diamantzaag afgezaagd) op een objectglaasje en na het verder manueel of automatisch afschuren ervan tot het transparant wordt en de samenstellende mineralen goed doorzichtig zijn (ideaal is een slijpplaatje 30 micrometer dun; 1000 micrometer is 1 mm) (zie foto's 3 tot 5). Door gebruik te maken van hogergenoemde filters creëerde men gepolariseerd licht en kon men na doorgang hiervan (doorvallend licht bekomen via een lichtbron, geplaatst onder het slijpplaatje) in de dubbelbrekende mineralen van de steen, de resulterende interferentiekleuren bekijken. Samen met andere optische kenmerken (zoals vorm, brekingsindex, enz.) zijn deze interferentiekleuren karakteristiek voor ieder mineraal, terwijl de combinatie van specifieke mineralen en van hun onderlinge samenhang (textuur genoemd) bepalend is voor de unieke mineralogische samenstelling van elk gesteente (zie fig.6). Henry Clifton Sorby was ook de eerste geoloog die de samenstelling van gesteenten in detail beschreef aan de hand van een polarisatiemicroscoop (1851). Hij ligt mee aan de basis van de carbonaatpetrografie (1879) en introduceerde een classificatiesysteem dat nog steeds geldt en de basis vormt van alle huidige classificatiesystemen voor sedimentaire gesteenten (Worley, 2016). Behalve voor het puur academische of wetenschappelijk-educatieve aspect - studenten leren hoe en waaruit gesteenten zijn opgebouwd - wordt optisch microscopisch onderzoek in quasi alle belangrijke geologische onderzoeksdomeinen gebruikt, zoals de petroleumgeologie, steenkoolgeologie, ertsprospectie, vulkanologie, sedimentologie, micropaleontologie… Maar ook in het onderzoek van bouwmaterialen en andere geo-materialen (granulaten, natuursteen, mortels, beton,…) speelt microscopisch onderzoek een belangrijke rol (Dreesen, & Dusar, 2004; Dreesen et al, 2006; Dusar et al, 2009; Dreesen et al, 2019; St. John et al, 1998; Ingham, 2011). Petrografisch onderzoek wordt tevens aangewend in de studie van recente of oude bodems (micromorfologisch onderzoek in de bodemkunde) en in de archeologie. In dit laatste domein is petrografie aangewezen om, al dan niet in combinatie met andere meer gesofistikeerde technieken zoals geochemisch onderzoek, de aard en de herkomst te achterhalen van diverse objecten gemaakt in steen (bouwmaterialen, artefacten, molenstenen, slijpstenen, beelden en monumenten), zie bijvoorbeeld: Hartoch et al, 2015; Dreesen et al, 2012, 2014; Dreesen & Vanderhoeven., 2018) - of in keramiek (zoals potscherven). Deze laatste toepassing wint recent aan belang en heeft aanleiding gegeven tot de uitgave van diverse nieuwe handboeken (Quinn, 2009; 2013).



FIG. 3. **Voorbeeld van automatische machine voor het maken van slijpplaatjes, bestaande uit een diamantzaag, waterkoelsysteem, vacuümpomp, vacuümsysteem om te snijden en te schuren en een set van hogeprecisie -schuurrollen met ingebed diamantpoeder (PELCON, Denemarken)**



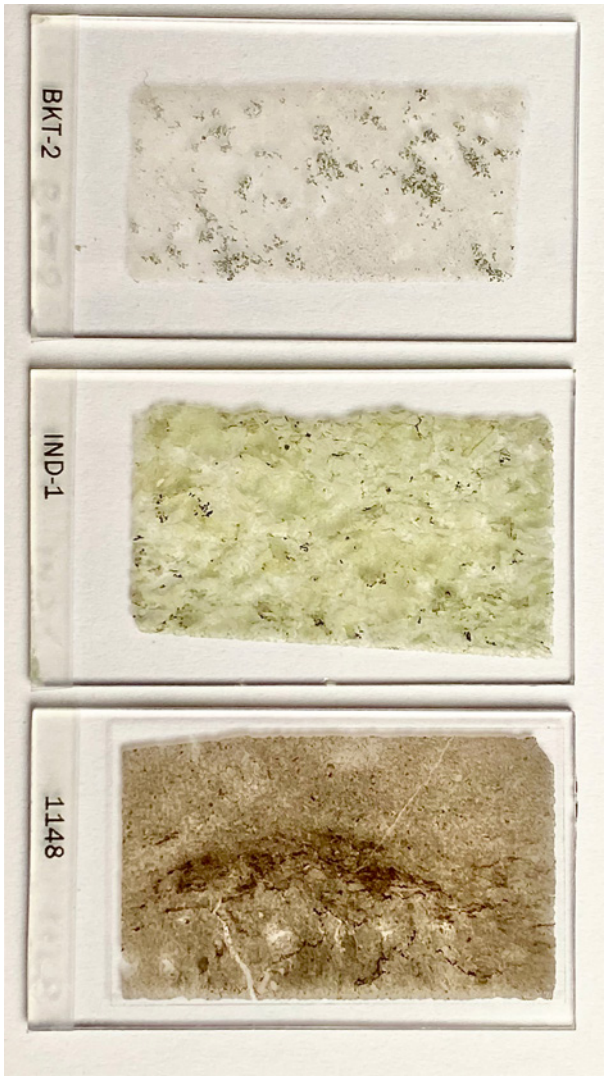
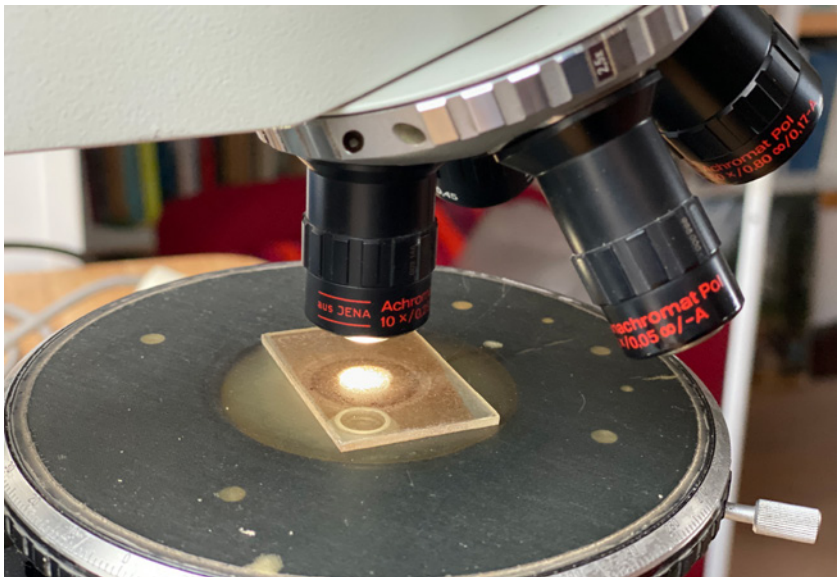


FIG. 4. Links: achtereenvolgende stadia bij het maken van een slijpplaatje (sample block: blokje steen; final section: finaal schijfje; glass slide: draagglas; cover glass: dekglas). Overgenomen uit Sturm (2010). Rechts: serie van drie slijpplaatjes (24 x 28 mm) gemaakt in Romeinse decoratieve gesteenten ("marmers", zie verder)

FIG. 5. Slijpplaatje van een gesteente op de draaitafel van een polarisatiemicroscoop, boven een doorvallende lichtbron



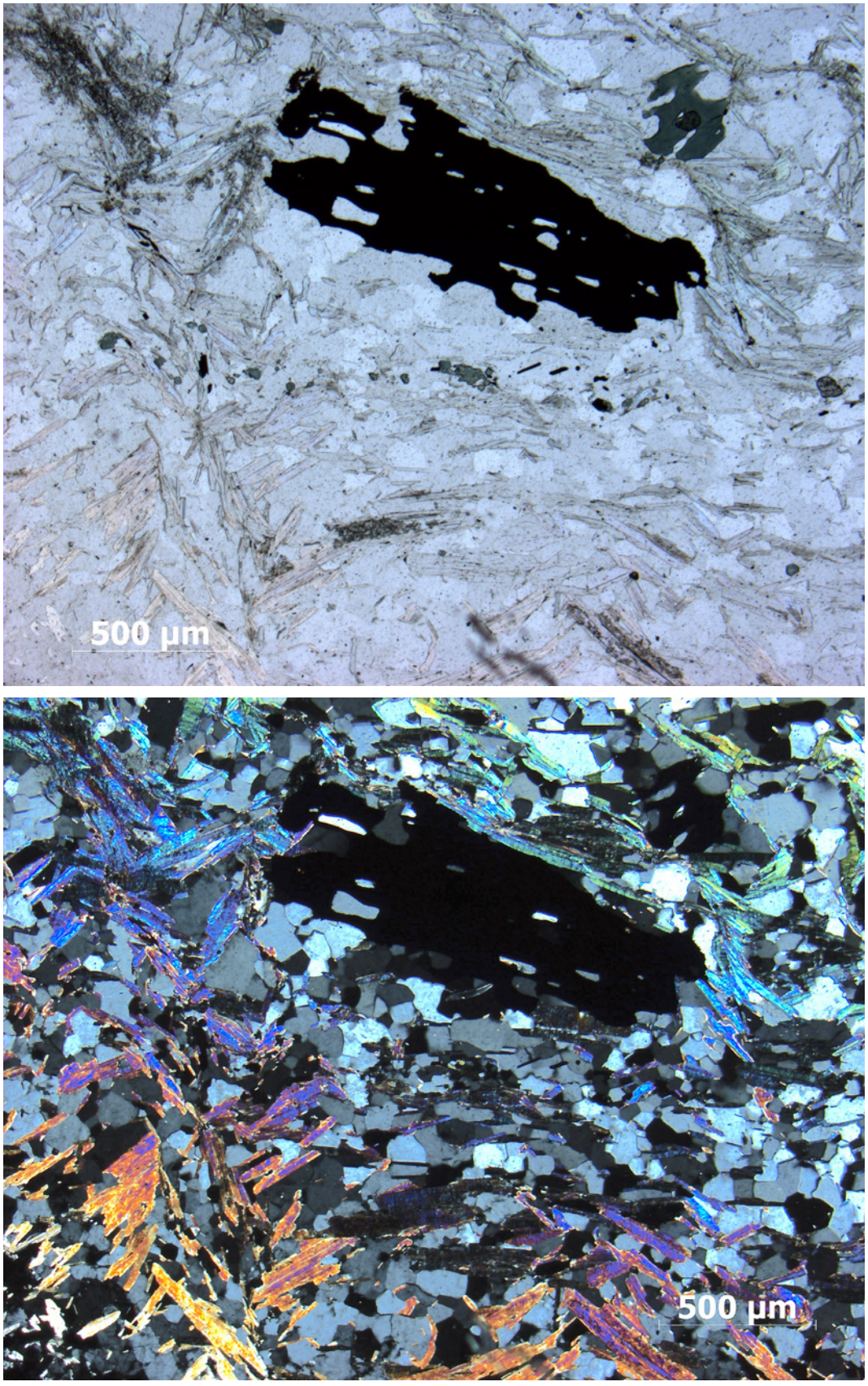


FIG. 6. Microscopische opname van een slijpplaatje gemaakt in een micaschist, respectievelijk zonder (boven) en mét gekruiste nicols (onder), waardoor mooie soortspecifieke interferentiekleuren verschijnen (onder). Staal van een Middeleeuwse wetsteen gemaakt van Eidsborg micaschist (Noorwegen).

Overzicht van de gevalsstudies

1. Oölitisch hematiet
2. Glauconiethoudend zand uit de Formatie van Diest
3. Carboonzandsteen (Kolenzandsteen)
4. Kiezeloöliet
5. Kwartsiet: metamorf én sedimentair
6. Recente oöïden
7. Korstmossen en steen
8. Franse steen: Savonnières en Euville
9. Krijt en krijtsteen
10. Basaltlava en vulkanische tufsteen
11. Nummulietenkalksteen
12. Petit Granit – Belgische Blauwe Hardsteen
13. Kalksteen van Vinalmont
14. Kalktuf – moeraskalk
15. Bio-erosie
16. Oncoïden en oncolieten
17. Kokerwormen
18. Tan Shan en Budhpura: gevaar uit het oosten?
19. Sponsnaalden
20. Wit marmer

Opmerking: voor de juiste rangschikking van de in de tekst vermelde geologische tijdseenheden en voor hun exacte ouderdom, verwijzen we naar de Internationale Chronostratigrafische Tabel die staat afgebeeld op de laatste pagina.



Okerstift in oölitisch hematiet afkomstig uit laatpaleolithische (Federmesser) vindplaatsen van Lanaken (Neerharen en Rekem). Collectie van het Gallo-Romeins Museum (lengte object: 6,2 cm). Foto: G. Schalenbourg.

HOOFDSTUK 1

OÖLITISCH HEMATIET

Oölitisch hematiet is een oölitisch ijzererts ("oolitic ironstone") dat regelmatig voorkomt in Paleozoïsche afzettingen van de Ardennen en van het Rijns Massief in de vorm van lensvormige banken, meestal tussen schiefers ingebed. Vaak zijn deze lensvormige banken concentraties van ijzerrijke oöïden (hematietbolletjes) in kalksteen, die dan ook meestal rood is verkleurd door het fijn verspreide hematiet (ijzeroxide). Deze ijzerrijke concentraties bevatten vaak talrijke fossielen en stratigrafisch stellen ze gecondenseerde afzettingen voor, waarin veel geologische tijd zit "opgesloten". De fossielrijke kalksteenbanken zelf vormen de basis van een geologische formatie of komen overeen met de overgang tussen twee opeenvolgende formaties. Onderzoek heeft uitgewezen dat dergelijke ophopingen van oölitisch hematiet zich vaak vormen aan het begin (basis) van een nieuwe transgressie (invasie en verdieping van de toenmalige zee). Omdat hevige stormen verantwoordelijk zijn voor hun tientallen vierkante kilometers brede verspreiding, vertegenwoordigen dergelijke dunne hematietrijke oölitische kalkstenen goede referentiehorizonten voor de geologen.

Fig. 7 is een macroscopische opname van het buitenoppervlak van het staal (als het ware bekeken doorheen een handloep): je ziet veel onregelmatige en ronde korrels, donkerrood van kleur met een blauwachtige metaalglans: dit zijn de hematietrijke oöïden. Het staal werd genomen uit een oölitisch ijzererts afkomstig uit de Kalk-Eifel (Hillesheimer Mulde of Syncline). Zijn vindplaats is Hammermühle (oude ijzerertsverwerkende hamermolen) nabij Hillesheim (Eifel). Het oölitische ijzererts ontsluit hier in de vorm van lenzen van enkele tientallen cm dik, geconcentreerd aan de basis van fossielrijke kalksteenbanken, juist aan de overgang van Onder-Devoon- naar Midden-Devoongesteenten.

Fig. 8 is een opname van een flinterdunne doorsnede gemaakt in dit staal (slijpplaatje) en gefotografeerd onder een polarisatiemicroscoop. Ik bespreek hierna deze foto, die werd genomen met behulp van een digitale camera gemonteerd boven op een polarisatie-microscoop, in doorvallend gepolariseerd licht. Het is een kalksteen (de beige tot lichtbruine massa of achtergond bestaat uit doorzichtige calcietkristallen of sparietcement) die aangerijkt is met kleine bolletjes of oöïden, die allemaal (of toch voor een groot deel) uit hematiet bestaan (zwart op de foto). In feite zijn het allemaal sterk afgeronde fragmenten van allerlei fossielen van ongewervelde organismen (we noemen deze ook bioklasten) die met hematiet zijn geïmpregneerd. We noemen dit erts daarom ook "fossiel erts". We herkennen in het slijpplaatje crinoïden of stengelleden van zeelelies (met een opvallende hele fijne zeefstructuur) en bryozoa of mosdiertjes, met een karakteristieke structuur van kleine straalvormig georiënteerde kamertjes. Daarnaast werden er ook trilobieten waargenomen (ander slijpplaatje uit dezelfde bank). Let ook op het feit dat, naast het voorkomen van fossiele resten die met hematiet zijn geïmpregneerd (zwarte tot bruine kleur), sommige fossielen ook met een dunne korst van hematiet (zwart op de foto) zijn omhuld of bekleed. Dit zijn de oöïden die je met het blote oog of met de loep als kleine donkerrode bolletjes (met een doorsnede van ongeveer 1 mm) op het oppervlak (zie Fig.7) hebt waargenomen. Om je een goed idee van hun exacte grootte te kunnen vormen moet je de schaal gebruiken die onderaan links op de foto staat: 1000 micron is gelijk aan 1 mm.

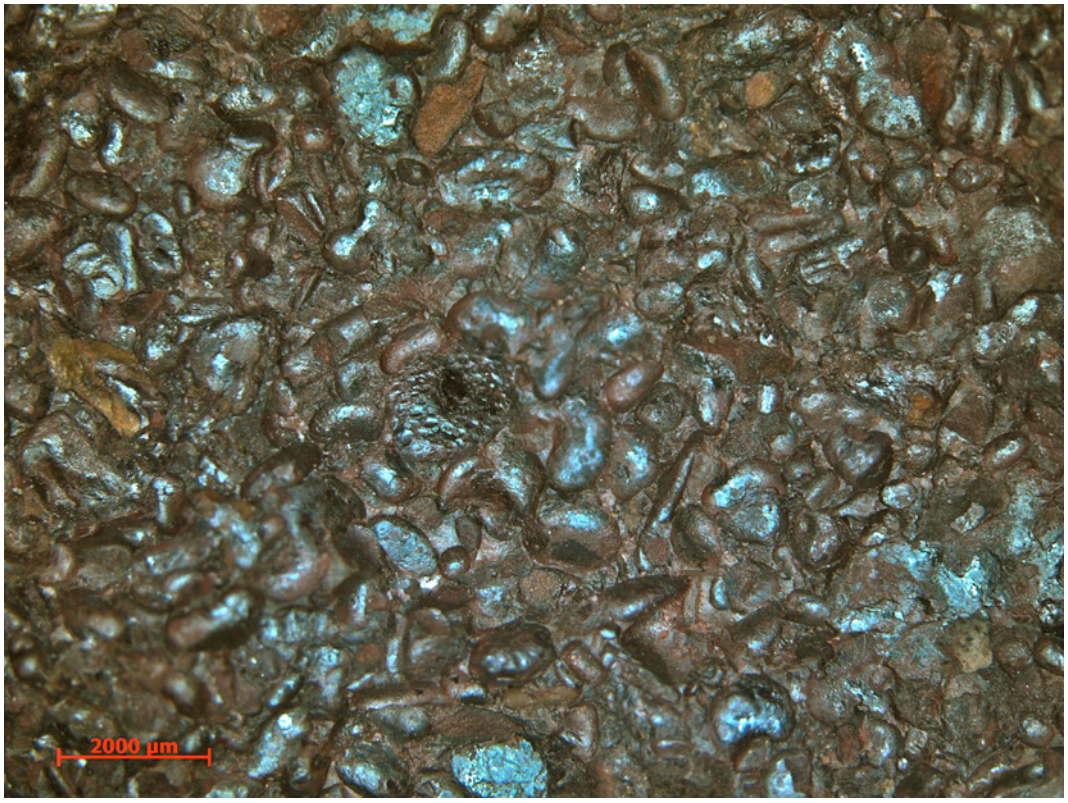


FIG. 7. Macroscopisch zicht van het buitenoppervlak van een oölitisch ijzererts

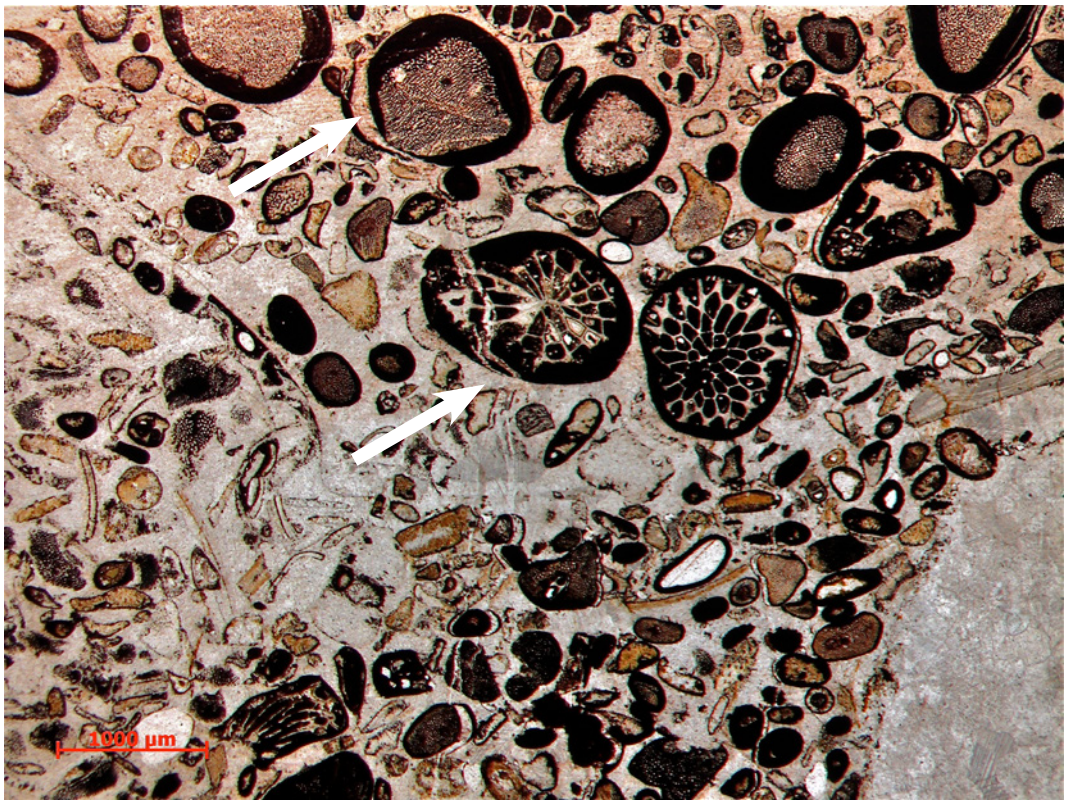


FIG. 8: Foto van een slijpplaatje in fossielrijk oölitisch ijzererts, met goed herkenbare bioklasten

Nog een weetje?

Behalve als een historisch ijzererts werd dergelijk oölitisch hematiet ook voor andere doeleinden gebruikt. Zo werd dit materiaal door de prehistorische mens opgespoord, ontgonnen en als grondstof gebruikt voor de fabricage van rode oker (verfstof). Deze oker speelde een belangrijke rol bij begrafenisrituelen tijdens respectievelijk de zgn. Federmesser en Bandkeramische culturen (Laat-Paleolithicum tot Neolithicum). In België woonden deze volkeren hoofdzakelijk in de vruchtbare leemstreek. Ze vonden deze grondstof op de noordelijke Maasoever tussen Hoei en Luik, in de vorm van gemakkelijk ontginbare dunne oölitische hematietbanken, daterend uit het Famenniaan (Boven-Devoon). Dit oölitisch hematiet werd tot fijn poeder gemalen en o.a. gebruikt als lichaamsversiering en/of om de lichamen van hun doden mee in te smeren (zie Fig. 9)



FIG. 9. **Omslag van een publicatie uit het Bulletin van de Koninklijke Belgische Vereniging voor Antropologie en Prehistorie (Anthropologica et Praehistorica) met tekeningen van Benoît Clarys (2017)**

Zie verder ook: http://biblio.naturalsciences.be/associated_publications/studia-praehistorica-belgica/8/haematite_pdf-rgb-600_vol1_251116_p/023-043_2-1_goemaere-etal_geol-ois-we_031116_rgb-600-p.pdf



Diestiaan ijzerzandsteen in het koorgedeelte van de ruïne van de 13e eeuwse Sint-Jan De Doperkerk, Sint-Jansveld, Diest.

HOOFDSTUK 2

GLAUCONIET-HOUDEND ZAND UIT DE FORMATIE VAN DIEST

Deze bijdrage gaat over een groengekleurd zand, ook gekend als Diestiaan zand. Het zit vol met minuscule zwarte of donkergroene korreltjes, glauconiet genaamd, waaraan het meteen zijn naam te danken heeft.
Glauconiet is een bijzonder mineraal dat tot de groep van de kleimineralen behoort (fyllosilicaten). Het heeft een ingewikkelde chemische formule die we kunnen schrijven als $(K,Na)(Fe^{3+},Al,Mg)_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2$. Onthoud vooral dat er ijzer in zit. Daarnaast bevat het ook nog arseen (15 mg per kg). De vorming van glauconiet gebeurt alleen in ondiepe warme zeeën waar niet teveel sediment aangevoerd wordt. Glauconiet is een autochtoon mineraal, dus op de plek van afzetting gevormd. Hierdoor is het heel geschikt om het vroegere afzettingsmilieu mee te bepalen. Glauconiet heeft nog een andere bijzondere eigenschap: het bevat kalium dat licht radioactief is. Dit maakt het geschikt om ouderdomsbepalingen op uit te voeren. Omdat dit mineraal ten tijde van de afzetting is gevormd, is de afzetting dus zelf even oud als het mineraal en kun je dus ook de ouderdom van de afzetting zelf bepalen. Glauconiethoudend zand wordt ook wel groenzand genoemd, naar de donkergroene kleur van het mineraal.
Hierna volgen 3 foto's (mét schaal) van een staaltje Diestiaanzand. Dit zand werd eerst gewassen en gezeefd om er de hinderlijke klei- en siltfracties uit te wassen. Een snuifje hiervan werd onder een binoculaire microscoop in opvallend licht gefotografeerd (Fig. 10). Daarna werd een representatief staal hiervan in een gekleurd epoxyhars ingebed en hieruit werd dan een slijpplaatje gemaakt (dun schijfje met een dikte van 30 micrometer, gekleefd op een draagglaasje, zodat de samenstellende mineralen doorzichtig worden). Dit slijpplaatje werd ten slotte gefotografeerd doorheen een polarisatiemicroscoop in doorvallend licht. Er is een foto genomen zonder en een andere mét ingeschakelde polarisatiefilters (denk maar aan een soort van polaroidfilters).
In Fig. 10 herken je heel duidelijk tussen de melkwitte en transparante kwartskorrels de opvallende zwartgroene glanzende glauconietkorreltjes waarvan er een aantal ook al geoxideerd zijn (beige en geelbruine korrels). Let ook op de vorm van de glauconietkorrels: ze zijn meer afgerond dan de kwartskorrels en zelfs gelobd.
Fig. 11 is een opname van een stuk van het slijpplaatje gemaakt uit een in epoxyhars ingebed staal van dit zand. Er werd een gele kleurstof toegevoegd aan de epoxy om poreuze mineralen beter herkenbaar te maken. De groene doorzichtige korrels zijn uiteraard glauconiet, maar er zijn ook al volledig zwarte (opake) korrels die het resultaat zijn van oxidatie (chemische verwering). Let op de insnoering van enkele glauconietkorrels (= het begin van lobvorming). In dit beeld zie je ook al een begin van ijzerzandsteenvorming (zie witte pijl) linksonder, waar enkele witte kwartskorrels aan elkaar zijn gekit door zwart materiaal (= goethiet of limoniet, ijzerhydroxide). Ook komen er kwartskorrels voor bekleed met een dunne film van ijzerhydroxide.
Fig. 12 is hetzelfde beeld als het vorige, maar deze keer genomen met gekruiste polarisatoren (filters), waardoor de interferentiekleuren van elk mineraal zichtbaar worden (dit is het resultaat van lichtbreking door elk mineraal). Het hars is nu zwart in het beeld. Voor kwarts is de interferentiekleur blauwig grijs (gaande van bijna wit tot donkergrijs). We zien hier ook dat sommige kwartskorrels in feite fragmenten zijn van gesteenten, bestaande uit hoekige, aan elkaar gekitte kwartskorrels (bijvoorbeeld linksboven = kwartsietkorrel). Ook valt in het midden een kleine langwerpige gele korrel op van glimmer (muscoviet). De glauconietkorrels lijken opgebouwd te zijn uit een opeenstapeling van minuscule korreltjes (bij zeer sterke vergroting zal je kunnen zien dat het zeer kleine bladvormige korreltjes zijn = kleimineralen) en je herkent heel duidelijk het begin van een oxidatie, vooral langs de insnoeringen van en in de korrels zelf (donkerbruin).



FIG. 10. Macroscopische opname (genomen met een binoculaire microscoop) van glauconietrijk zand

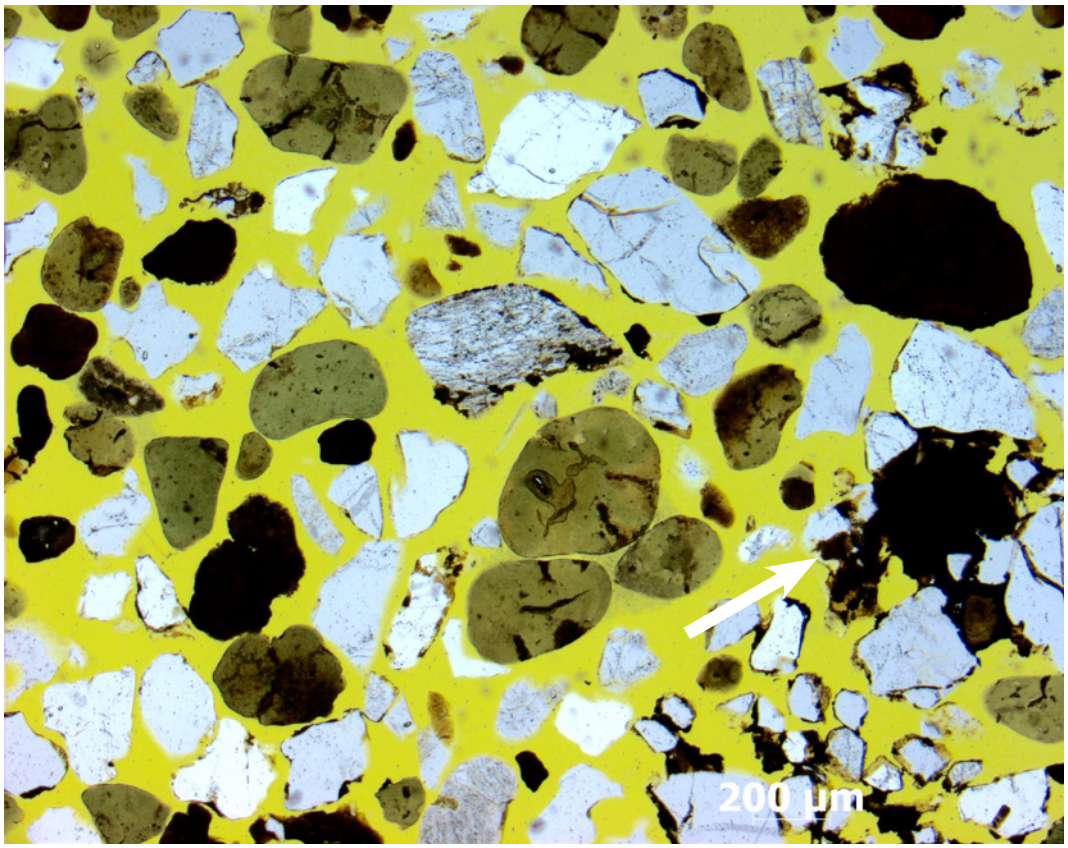


FIG. 11. Microscopisch beeld van een slijpplaatje gemaakt in een met geel epoxyhars geïmpregneerd staal van Diestiaan zand. Doorvallend gepolariseerd licht.

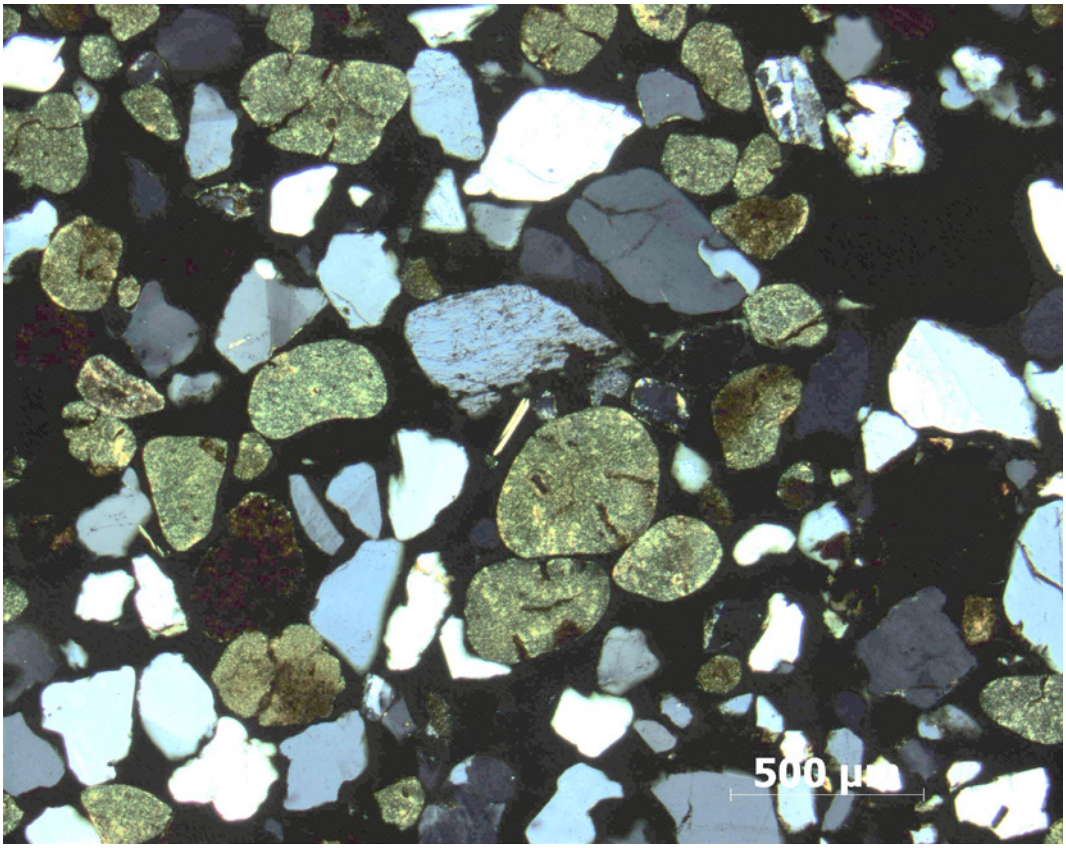


FIG. 12. **Zelfde microscopische opname als de vorige foto maar genomen met gekruiste nicols.**

Nog een weetje?

Glauconiethoudende zanden komen regelmatig voor in de ondergrond van Vlaanderen. Na droogvallen van de zee (bij zeespiegelschommelingen) en als gevolg van verwering en bodemvormingsprocessen (in een warm en vochtige klimaat) in dergelijke droogliggende glauconietzanden, vormden er zich regelmatig chocoladebruine ijzerzandsteen-banken, die sinds de Middeleeuwen als belangrijke streekeigen historische bouwstenen werden ontgonnen. Zo is de Diestiaanijzerzandsteen (waarin je met de handloep trouwens nog onverweerde zwartgroene glauconietkorreltjes ziet zitten) dé bouwsteen van het Hageland, en het embleem van een regionale variant van de gotische bouwstijl, de Demergotiek (Fig.13).

https://www.vlaanderen.be/publicaties/diestiaan-ijzerzandsteen-van-demergotiek-tot-restauratieproblematiek



FIG. 13. **Leden van de LIKONA-werkgroep Geologie zoeken naar glauconietkorrels in Diestiaanijzerzandsteen aan de ingangspoort van de abdij van Averbode. De verticale groeven in de ijzerzandsteen zijn zgn. "pestgleuven", lange slijpgroeven daterend uit de Middeleeuwen, vermoedelijk gemaakt om steenschraapsel of steenslijpsel ("pestpoeder") te maken dat, vermengd met water, een genezende werking tegen de pest en tyfus kreeg toegewezen. Medisch onderzoek bevestigde dat het vooral hielp tegen dysenterie, een ziekte die in de Middeleeuwen vrij veel voorkwam (Weertz & Weertz, 2011)**



Onderkant van het (oudere) westwerk van de 14e eeuwse St.-Michaëlskerk van Thorn (Nederland), hoofdzakelijk gebouwd in Carboonzandsteen. Voor de gerestaureerde ondermuur werd Famenniaanzandsteen gebruikt.

HOOFDSTUK 3

CARBOONZANDSTEEN (KOLENZANDSTEEN)

Deze bijdrage gaat over Kolenzandsteen of Carboonzandsteen. Dit gesteente komt in Limburg hoofdzakelijk voor als historische bouwsteen (Romeinse-Middeleeuwse periode) of als steenachtig afval (mijnsteen) op de voormalige, nog niet volledig begroeide steenbergen (terrils) van het Limburgse mijnbekken.

Het onderzochte staal is een stuk bruingrijze zandsteen gevonden op de terril van Waterschei (Fig. 14), waarvan we een slijpplaatje lieten maken voor verder petrografisch onderzoek.



FIG. 14. **Bruingrijze Carboonzandsteen met rosbruine brokstukjes van sideriet (zijkant) en zwarte verkoolde plantenresten (bovenvlak)**

Carboonzandsteen ontstond zo'n 300 miljoen jaar geleden tijdens het Westfaliaan (Boven-Carboon) uit sediment afgezet op de bodem van een riviergeul die zich doorheen het toenmalige tropische moeras kronkelde. Op de oevers van deze rivieren groeiden vaak reuzenpaardenstaarten (*Calamites*) terwijl in het moerassige landschap eerder wolfsklauwachtigen, varens en zaadvarens floreerden zoals *Sigillaria*, *Lepidodendron* en *Neuropteris*. Al deze planten verloren veel houtachtig en ander organisch materiaal dat zich langzaam ophoopte in het water, afgesloten werd van zuurstof en zo veen vormde. Onder hoge druk en toenemende temperatuur werd dit later door inkolingsprocessen in steenkool omgezet.
De rivier trad regelmatig buiten haar oevers en erodeerde het veen in wording, waardoor we ook regelmatig plantaardige resten in het versteende zandige riviersediment terugvinden. Deze resten herkennen we met het blote oog in de zandsteen als kleine verspreide zwarte snippers of zwart gespikkelde laagvlakken ("plantenhaksel"). Dit soort zandsteen komt vrij veel voor tussen de steenkoollagen die in Limburg op grote diepte werden ontgonnen.
Stukken van dergelijke zandsteen belandden samen met schalie (en andere gesteenten zoals siltsteen, conglomeraat, sideriet, enz.) op de terril, nadat de zwaardere stenen in de kolenwasserij waren gescheiden van de lichtere brokken steenkool. Met het blote oog of met de loep herken je ook nog micaschilfertjes en vaak ook stukjes verkoolde plantenresten tussen de zandkorrels. Schuine en gekruiste gelaagdheden zijn frequent aanwezig in de zandsteen. Soms zie je zelfs keitjes (basis van de riviergeul) bestaande uit afgeronde fragmenten van bruine siderietklei (knolletjes). Siderietknollen komen meestal voor onder een koollaag en zijn het resultaat van bodemvormingsprocessen.

We bekijken vervolgens een microscopische opname van een slijpplaatje van het staal van kolenzandsteen, genomen in doorvallend licht met ingeschakelde polarisatoren (Fig. 15). Let op de vergroting (schaal onderaan rechts): op basis van de korrelgrootte is dit een matig fijne zandsteen (diameter van de korrels is 150-200 micrometer). Het zand bestaat voornamelijk uit korrels opgebouwd uit afbraakmateriaal van het Hercynisch gebergte dat zich toen in het zuiden aan het vormen was. Hierin kwamen magmatische of metamorfe gesteenten voor (de veldspaten en glimmers getuigen hiervan). Tussen de zandkorrels herkennen we heel duidelijk kwarts (dominant mineraal), naast veldspaat, fragmenten van zandsteen of kwartsiet en glimmers. Opvallend zijn de grote hoekige zwarte korrels en de platgedrukte of golvende fragmenten (slierten) van verkoold plantenmateriaal. Noteer ook de aanwezigheid van (oorspronkelijk ronde) platgedrukte roodbruine megasporen (afkomstig van de zaadvarens) (zie pijl). Kwartskorrels herken je aan de witte en licht- tot donkergrijze interferentiekleuren. De korrels zijn zeer hoekig (rivierzand!) en soms opgebouwd uit verschillende aan elkaar gekitte hoekige kwartskristallen (dit zijn gesteentefragmenten of lithische fragmenten van zandstenen en kwartsieten). Muscoviet herken je aan de langwerpige korrels (schilfers) met opvallend helle (geel-paars-blauwe) interferentiekleuren en goede splijting (verspreid voorkomend in de foto). Veldspaat herken je aan de gestreepte korrels ("pyjamastrepen") zoals helemaal links bovenaan (in dit geval is dit een plagioklaas) Tussen de korrels zit er veel fijnkorrelig materiaal, dat inmiddels werd omgevormd tot kleimineralen. Dit zand werd dus niet goed "gewassen" (in tegenstelling tot zeezand)
Er is omzeggens geen porositeit meer in de steen door de hoge druk (begraving) waaronder het zand zich tot een zandsteen heeft omgevormd. De fijnkorrelige lichtbruine vlekken zijn (plastisch) vervormde stukjes siderietklei, die vaak voorkomen als knolletjes aan de basis van een veenlaag (fossiele bodem). Dergelijke knolletjes belandden ook vaak op de terril. Soms echter gaat het om grotere roodbruine knollen, die opvallend zwaar in de hand liggen. Een oneerbiedige Engelse mijnwerkersterm hiervoor is "dog balls". Het gesteente is een onzuivere zandsteen en is zeer heterogeen van samenstelling. Petrografisch noemen we het een litharenietische zandsteen, omwille van de aanwezigheid van een groot aantal gesteentefragmenten, ook wel lithische fragmenten genoemd). Dit kunnen o.m. schieferfragmenten zijn (voor de gemiddelde lezer mogelijk wat moeilijk herkenbaar).

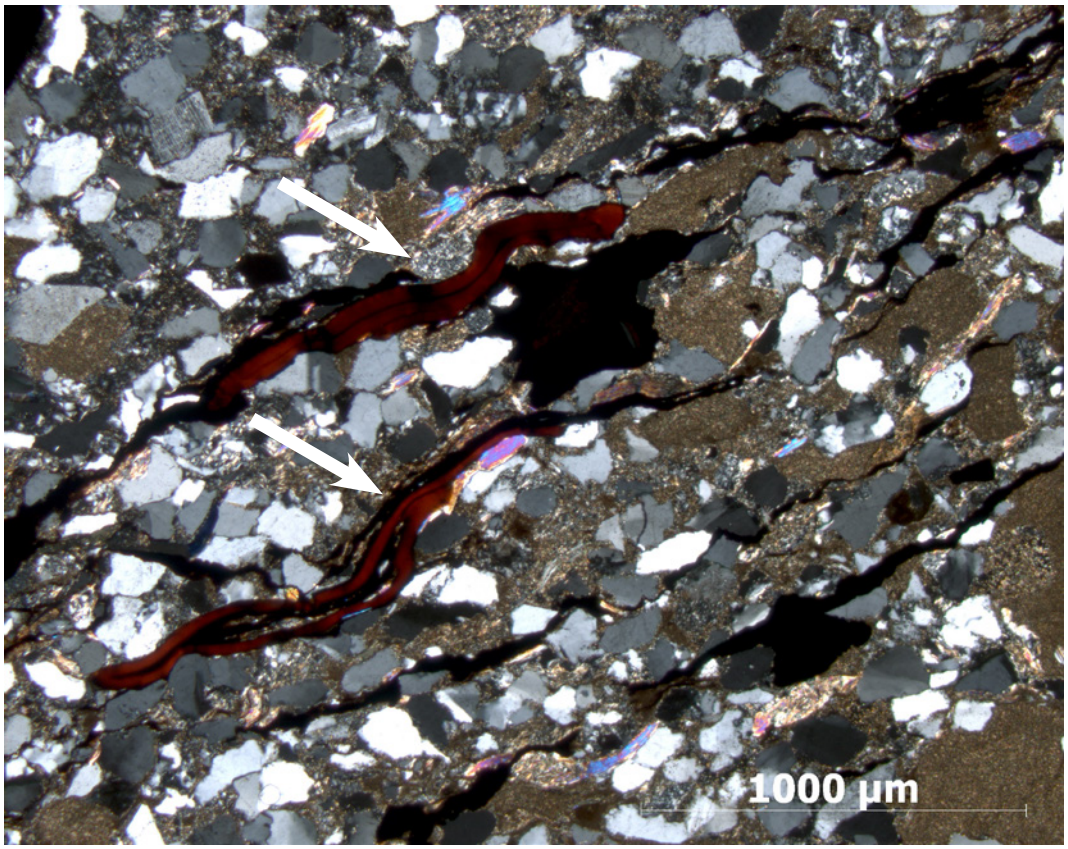


FIG. 15. **Microscopische opname van een slijpplaatje in kolenzandsteen met doorvallend gepolariseerd licht en gekruiste nicols.**

Dit soort steen werd eerst door de Romeinen en later tijdens de Middeleeuwen vrij veel gebruikt als bouwmateriaal. Deze historische bouwsteen komt regelmatig voor in Limburg en is zeer waarschijnlijk afkomstig van Carboonzandsteenbanken uit de buurt van Luik: hij werd hier misschien ondergronds ontgonnen (o.a. onder de citadel, waar dikten tot 8-10m werden waargenomen). Omwille van het hoog gehalte aan klei (gesteentefragmenten én matrix) is dit gesteente sterk verweringsgevoelig wanneer het wordt blootgesteld aan onze vochtige atmosfeer. Bij vorst zullen deze wateropnemende kleirijke elementen immers gemakkelijk gaan kapotvriezen. De volgende foto (Fig. 16) toont een blokje van dergelijke bruingrijze Carboonzandsteen, (her)gebruikt als bouwsteen in Maastricht (muur in de buurt van het Natuurhistorisch Museum). Je herkent duidelijk de interne gekruiste gelaagdheid (riviergeulopvulling) en je ziet het afschilferen van de steen als gevolg van mechanische verwering (vorstwerking).



FIG. 16. **Historische bouwsteen (Middeleeuws) met duidelijke gekruiste gelaagdheid en karakteristieke bruine patina. Door fysische verwering gaat de steen afbladderen. Middeleeuwse stadswal Maastricht.**

Nog een weetje?

Zandsteen was een ongewenste gast tijdens de ondergrondse ontginning van steenkool. Niet alleen veroorzaakte de grote hardheid ervan versnelde slijtage van het materieel (vooral aan de kolenschaaf) en konden er door het breken ook vonken ontstaan (ontploffingsgevaar bij aanwezigheid van mijngas), maar er werden door de schaaf ook talrijke, zeer fijne scherpe partikeltjes kwarts (splinters) geproduceerd, die na langdurig inademen ervan bij mijnwerkers de gevreesde stoflong (silicose) konden veroorzaken. Vervolgens waren zandsteenlichamen (opvullingen van een riviergeul door zandsteen) vaak de oorzaak van het gedeeltelijk of volledig weg eroderen van de koollaag (een z.g. washout") of van het opsplitsen ervan ("dichotomie") zodat de steenkoolproductie op die plaatsen drastisch daalde, met belangrijke economische verliezen als gevolg (zie fig.17). Ten slotte konden dergelijke zandsteenlichamen in het dak van een koollaag bij contact heel wat water verliezen dat opgesloten zat in hun poriën en spletenstelsel, zodat er belangrijke waterdoorbraken optraden.

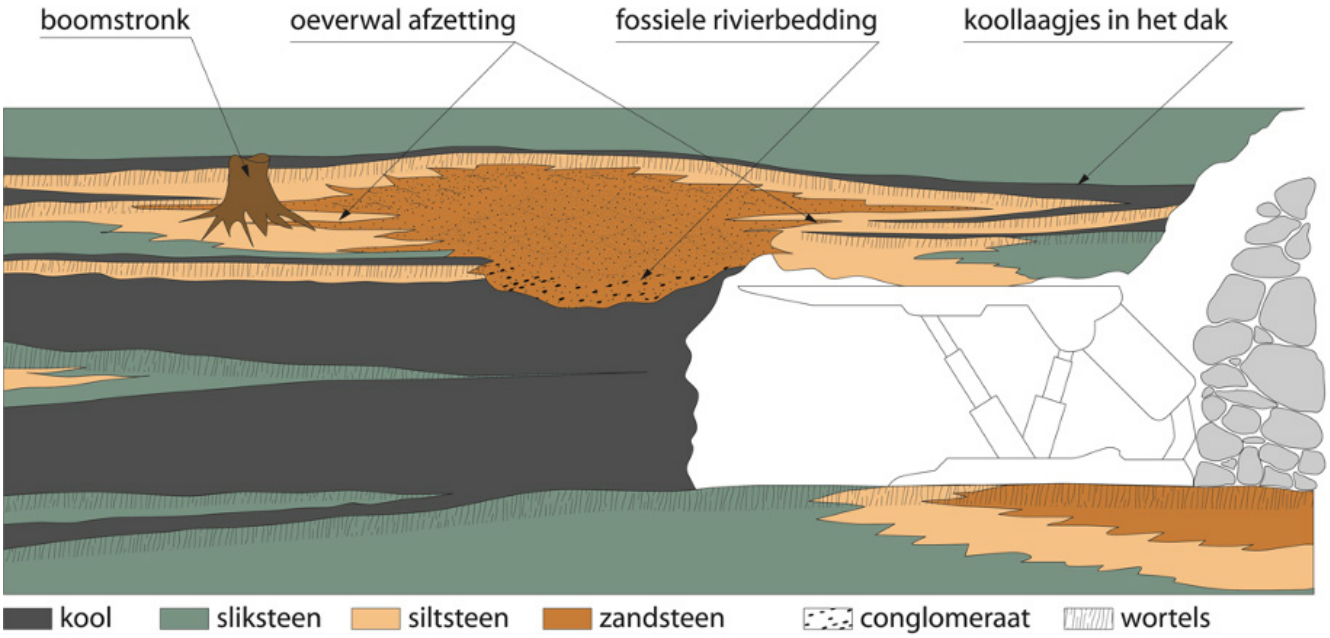


FIG. 17. **Overzicht van ondergrondse geologische fenomenen én gevaren, die aan het kolenfront kunnen optreden. Rechts de mechanische ondersteuning en de met mijnsteen opgevulde pijler (overgenomen uit: Van Uytven & Dreesen, 2014; hertekend naar Dreesen, 1993)**



Pleistocene Maasafzetting (grind of kiezel) met erosief contact op onderliggend wit krijt uit de Formatie van Maastricht. Bassenge.

HOOFDSTUK 4

KIEZELOÖLIET

De volgende steensoort die we gaan bekijken is een heel bijzondere, namelijk kiezeloöliet, in de vorm van een keitje (Fig. 18) dat we tijdens één van onze excursies hebben gevonden in een dunne grindafzetting (50 cm) bovenaan de zilverzandgroeve "Beaujean" in Heerlen. (Fig. 19). Dit materiaal is vrij zeldzaam (minder dan 1% in het grind) en komt voor in de vorm van keitjes van maximaal enkele cm groot tussen grotere keien van hoofdzakelijk wit aderkwarts, vuursteen, lydiet en kwartsiet, in de oudste terrassen van de Maas, meer bepaald deze van de Oost-Maas (in Nederlands Zuid-Limburg), t.t.z. toen de Maas nog richting Rijn stroomde. Deze steen wordt ook nog aangetroffen in de oudste afzettingen van de Maas (voornamelijk op de linkeroever) stroomafwaarts vanaf Hoei en werd op de oude geologische kaarten van België aangeduid met het symbool "ONX"-grinden (in de 19e eeuw werd gedacht dat ze van Laat-Oligoceen ouderdom waren). Later kregen ze ook de naam "La Trainée mosane" wat zoveel betekent als "slingervormig spoor van de Maas". Deze keitjes kiezeloöliet (of nog kleinere zandkorrels bestaande uit hetzelfde gesteente) hebben trouwens ook hun naam gegeven aan een aparte geologische formatie, de Kiezeloölietformatie, die Laat-Mioceen tot Pleistoceen van ouderdom is en behalve in zuidoost Nederland, ook voorkomt in het uiterste noordoosten van Limburg.



FIG. 18. **Een kiezelöoliet, keitje gevonden in een dunne Pleistocene grindlaag in Heerlen.**

De geologische interpretatie van deze afzetting is tot op heden nog steeds onderwerp van discussies (zie o.a. https://www.dinoloket.nl/kiezelooliet-formatie). Wat er ook van zij, deze steen is voor ons interessant omdat hij naast zeldzaam graniet, één van de weinige soorten keien is uit het Maasgrind die uit Noord-Frankrijk (Lotharingen & Vogezen) afkomstig zou zijn.

Fig. 18 toont een overzichtsfoto van een keitje genomen in opvallend licht met een binoculaire microscoop (let op de schaal!). Deze steen is afkomstig uit een dun grindpakket (Fig. 19) dat we hebben bemonsterd in de groeve Beaujean in Heerlen (boven de beroemde spierwitte zilverzanden, waarin ook Nivelsteiner zandsteenbanken en zwarte lignietlagen aanwezig waren). De foto toont het gladde oppervlak van het keitje met hierin opvallende kleine zwarte of beige-grijze bolletjes. Linksonder herken je ook een langwerpig fragment dat lijkt op een stukje schelp (zie pijl).



FIG. 19. **Detail van de dunne grindlaag waarin we vooral witte keien van aderkwarts en donkere keien van kwartsiet en vuursteen herkennen.**

Wanneer we een slijpplaatje van het keitje maken kunnen we de oorsprong van deze bolletjes microscopisch beter achterhalen. Opgelet: de eigenaardige kleine grijze vlekken met zwarte rand overal in Fig. 20 zijn luchtbelletjes in de lijm (foutje van de preparator).
De volgende 2 foto's zijn genomen met de petrografische microscoop in doorvallend licht, respectievelijk zonder en mét ingeschakelde polarisatoren (Fig. 20 en 21). Hier vinden we nu het bewijs dat de bolletjes in feite oölieten zijn, met een gemiddelde grootte van 1 mm. Deze bestaan uit kwarts (microkwarts en chalcedoon) maar waren oorspronkelijk wel calciet. Vandaar dat het oorspronkelijke gesteente zeer waarschijnlijk een oölitische kalksteen is geweest. Goed herkenbaar is de concentrische opbouw van de ooïden, waarbij er ook zgn. composietooïden voorkomen of bolletjes die bestaan uit meerdere ooïden (zie pijl). De donkere (opake) elementen in de oölieten zijn ofwel organisch materiaal ofwel fijnverdeeld pyriet.

Ook leuk om te zien (zie Fig. 21) is de aanwezigheid van verschillende variëteiten van kwarts: 1. minuscule kleine kristalletjes (grijs gespikkeld in de ooïden), ook cryptokristallijn kwarts genoemd (afgeleid van "crypto": verborgen of nauwelijks zichtbaar)
2. vezelig chalcedoon (de kransen rond de ooïden)
3. micro- en/of megakwarts, als kleine kristallen die de oorspronkelijke holten tussen de bolletjes hebben opgevuld.
De felrode, oranje en gele interferentiekleur van sommige kwartskristallen (normaal is deze grijs) is het gevolg van de dikte van het slijpplaatje (dit werd iets te dik afgeslepen, normaal moet dit 30 micrometer zijn).

De steen is dus een verkiezelde oölitische kalksteen. Dat deze van Jura-ouderdom is kunnen we hier niet zomaar bewijzen, maar dit zou moeten blijken (bij verder onderzoek van een groot aantal stalen) uit de aanwezigheid van gidsfossielen in de steen (bijvoorbeeld bepaalde soorten foraminiferen). Algemeen wordt aangenomen dat de steen van Jura-ouderdom is en dat hij afkomstig zou zijn van één van de kalksteencuesta's in Lotharingen. Alleen dergelijke stukjes verkiezelde oölitische kalksteen zijn via de Moezel en Maas tot in Noord-België en verder kunnen geraken. Alle andere fragmenten of blokken kalksteen zijn inmiddels tijdens of na het transport in het rivierwater volledig verdwenen als gevolg van de sterke fysische en chemische verwering (hetzij onderweg, hetzij nadien vergruisd of opgelost).

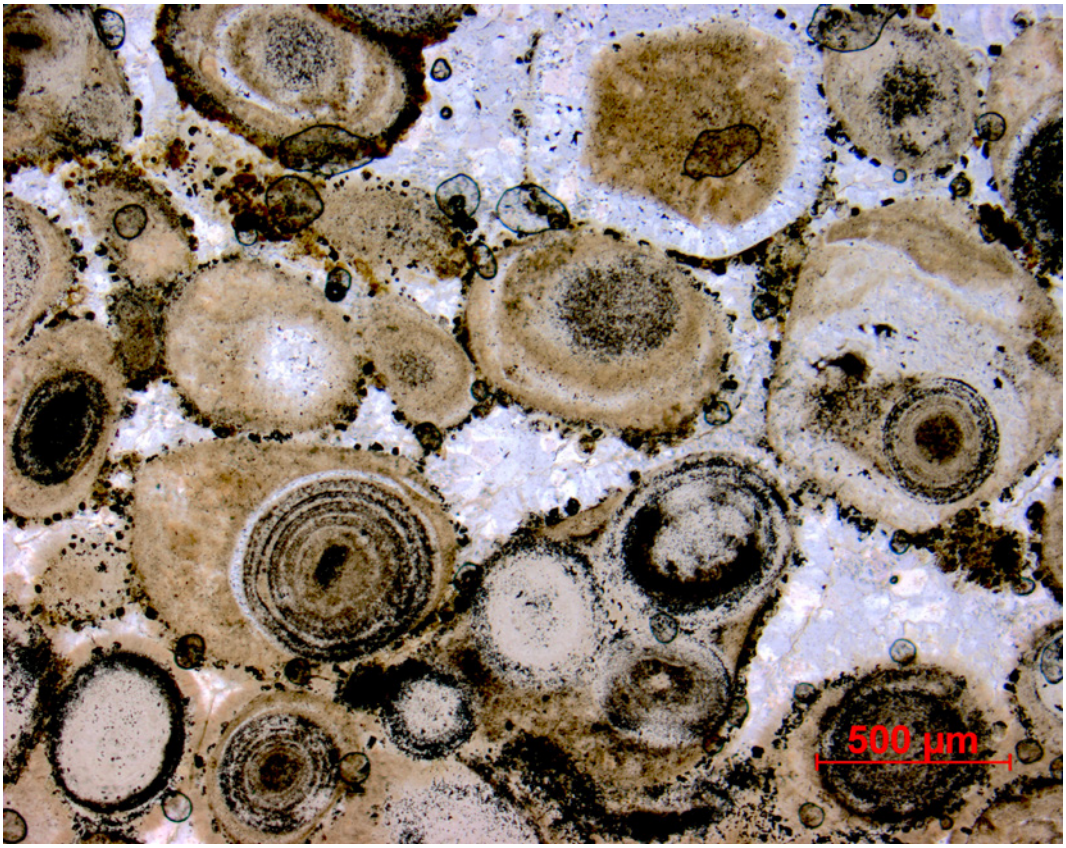


FIG. 20. Microscopische opname van een slijpplaatje van de kiezeloöliet in doorvallend gepolariseerd licht zonder gekruiste nicols

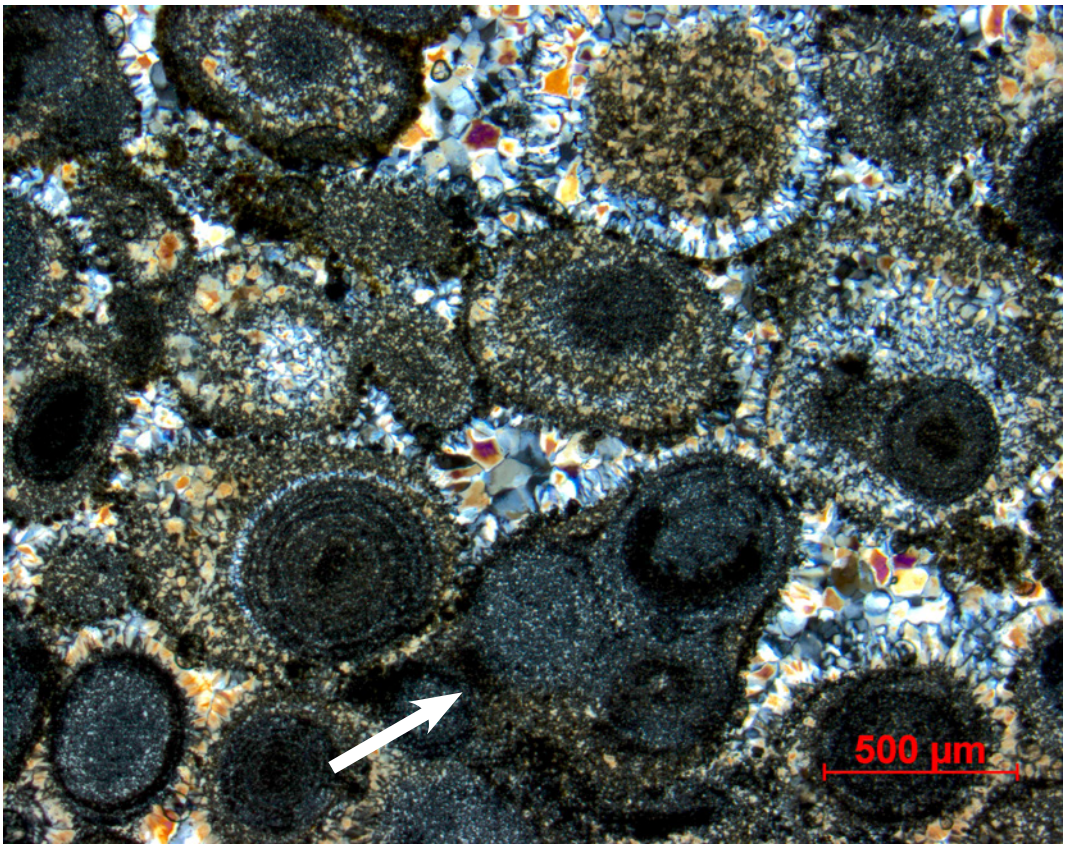


FIG. 21. Dezelfde microscopische opname als de vorige foto, maar nu mét gekruiste nicols

Nog een weetje?
De kiezeloöliet is een zeldzame gast binnen het overigens brede lithologische spectrum van het grind dat door de oer-Maas in Limburg werd afgezet (zie: http://www.limburg.be/webfiles/pnc/likona/nphk_zoekkaart_keien.pdf)

Wil je nog meer weten over de aard en de herkomst van de keien uit het Maasgrind in Limburg, lees dan het volgende artikel: http://www.limburg.be/webfiles/pnc/likona/Likona%20Jaarboek%202014/2014.02.pdf



Kasseien in rosbruin gepatineerde Tiense kwartsiet, Bierbeek. Foto: R. Dreesen

HOOFDSTUK 5

KWARTSIETEN: METAMORF ÉN SEDIMENTAIR

In deze bijdrage wil ik u graag laten zien hoe we microscopisch het onderscheid kunnen maken tussen een échte (metamorfe) **kwartsiet** en een sedimentaire kwartsiet (type **zoetwaterkwartsiet**; onze Nederlandse collega's noemen deze ook "cementkwartsiet"). De grote hardheid van beide gesteenten is te danken aan de gelijktijdige aanwezigheid van kwarts én van kwartscement (kwarts dus ook als bindmiddel).

We gaan nu kleine stalen van 2 verschillende steensoorten microscopisch bekijken en met elkaar vergelijken. Beide foto's zijn genomen in doorvallend gepolariseerd licht met gekruiste polarisatoren, waardoor we de interferentiekleuren van mineralen kunnen zien (in dit geval hoofdzakelijk de grijze tinten van kwarts).
Het eerste staal komt uit de buurt van de voormalige groeve van Dongelberg (Waals Brabant) waar dankzij rivierinsnijdingen (vallei van de Ry ten zuidwesten van Jodoigne of Geldenaken) zeer oude gesteenten van het Massief van Brabant plots aan de oppervlakte komen. Het gesteente dat hier werd uitgebaat is bekend onder de naam Kwartsiet van Dongelberg, Blanmont of Opprebais. Zijn ouderdom is Onder-Cambrium (ca. 545 miljoen jaar oud). Het behoort tot de oudste gedateerde gesteenten van België en van Vlaanderen! (zie Fig.22)



FIG. 22. **Oude kwartsietgroeve (kwartsiet van Blanmont) in de buurt van Dworp.**

Analoge Cambriumkwartsieten (maar afkomstig van andere geologische formaties uit de Hoge Ardennen) werden ook tijdens het Pleistoceen als ijsschotszwerfstenen door de Maas meegenomen en in de Kempen samen met zand, grind en blokken afgezet (Fig. 23)

Het tweede staal is Limburgs, meer bepaald een stukje Bolderiaanzandsteen of Bolderiaankwartsiet, zoals we deze ondertussen goed kennen uit diverse vindplaatsen in Limburg. Dit is een Tertiaire zoetwaterkwartsiet en is het resultaat van een verkiezeling (specifieke bodemvorming van een zgn. "silcrete") karakteristiek voor het zand uit de formatie van Bolderberg dat van Mioceen ouderdom is (ca. 16,5 miljoen jaar oud).



FIG. 23. **Grote ijsschotszwerfsteen van groengrijze metamorfe kwartsiet (met kwartsaders) geïsoleerd uit het Zutendaal Grind (Pleistoceen) en afkomstig uit Cambriumformaties van de Hoge Ardennen (foto: Yvette Cordie)**

Ondanks het groot geologisch ouderdomsverschil zijn beide keiharde gesteenten.
Maar hoe zie je het verschil tussen deze steensoorten, want macroscopisch is dit niet altijd even gemakkelijk te zien? Daarom hebben we slijpplaatjes uit elke steensoort laten maken en hiervan enkele details gefotografeerd, waarvan we de meest opvallende kenmerken hieronder bespreken.

Fig. 24 toont een microscopische detailopname van de Dongelberg kwartsiet. Het valt op dat de zandkorrels niet gewoon tegen elkaar aanliggen met puntcontacten maar dat ze elkaar soms over hun ganse lengte raken en dat ze zelfs volledig in elkaar gedrukt zijn. Hierbij verlopen de contacten soms zeer grillig en volgens een soort getand patroon, dat we een sutuurcontact noemen (zie pijl). Je kan het vergelijken met een styloliet (zie verder) maar dan in zandsteen. Dit bewijst dat er een enorme druk van bovenaf moet geweest zijn (we kunnen ons dit amper voorstellen) om de zandkorrels zo fel op en in elkaar te drukken. Het resultaat is dan ook dat er geen ruimte meer tussen de korrels (porositeit) overblijft. Het is soms moeilijk om de oorspronkelijke vorm van de zandkorrels terug te vinden (zeker in vergelijking met het andere staal). We krijgen ook de indruk dat de korrels zeer hoekig zijn, maar dit is het resultaat van het sterk compacteren of in elkaar drukken, waarbij ook materiaal (kwarts) is verdwenen. Maar waar is dat verdwenen materiaal dan gebleven? Allicht bevindt het zich in de nog resterende poriënruimte tussen de korrels, samen met wat kleimineralen die tot glimmers zijn omgezet (zie Fig. 24). Fragmenten van dergelijke kwartsieten vinden we vaak terug als detritische korrels (lithische fragmenten of gesteentefragmenten) in zand of zandsteen: zie ook de vorige bijdragen, bijvoorbeeld over glauconiethoudend zand of Carboonzandsteen.

Fig. 25 toont een microscopisch detail van een vrij grofkorrelige zandsteen die volledig uit afgeronde kwartskorrels bestaat. Dit is een zgn. kwartsareniet (zandsteen die voor meer dan 95% bestaat uit kwarts). De afgeronde korrels en het hoge kwartsgehalte wijzen enerzijds op een mariene herkomst (herinner u hoe hoekig de korrels van rivierzand zijn) en anderzijds op een mechanisme waarbij we alleen nog kwarts als zandkorrel overhouden. Zoetwaterkwartsieten kennen een ontstaansgeschiedenis waarbij organische zuren uit bovenliggend veen het onderliggend marien

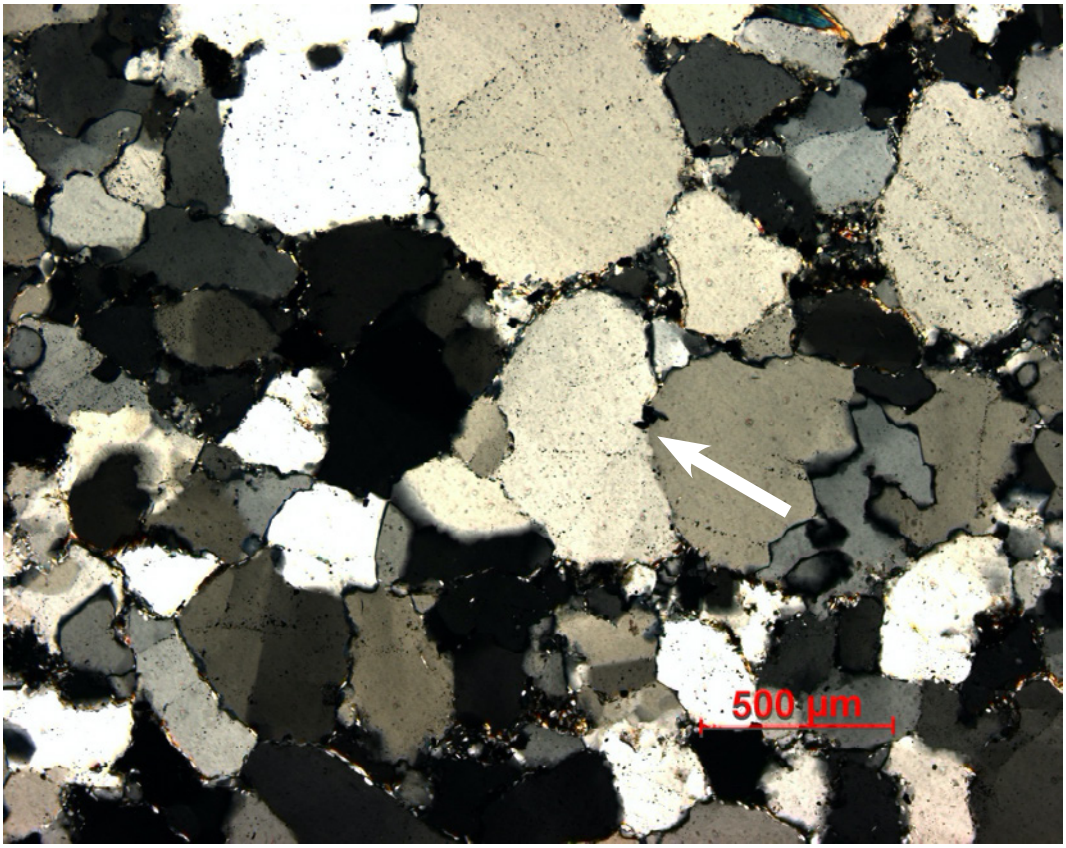


FIG. 24. **Microscopische opname van een slijpplaatje gemaakt in een stuk metamorfe kwartsiet. Let op de grillige sutuurcontacten tussen de kwartskorrels.**

zand volledig hebben gebleekt, t.t.z. ontdaan van chemisch onstabiele mineralen, waardoor er alleen nog kwarts (dat chemisch stabiel is) overblijft. Een interessante waarneming is het voorkomen van kwartsovergroeiingen: je ziet duidelijk op de foto hoe kwartscement als het ware over en rond de zandkorrel is gegroeid. Dit is kwartscement. De oorspronkelijke omtrek van de zandkorrel is nog steeds goed zichtbaar (zie pijl: deze dunne lijn heet in het geologische jargon "dust rim" of "stoflijn", verwijzend naar het oorspronkelijke "vuile" oppervlak van de zandkorrel; in het Engels heet dit "quartz overgrowths") Noteer ook dat de zandkorrels elkaar gewoon raken en door kwartscement (de overgroeiingen) aan elkaar zijn gekit. Hierbij kan er nog een restporositeit overgebleven zijn.

Nog een weetje?

Zoetwaterkwartsieten zijn in feite getuigenstenen van inmiddels verdwenen zandlagen waarin ze door verkiezeling ontstonden (zie bijvoorbeeld een recente vondst in Kleine-Spouwen, Fig. 26). Ze hebben niet zelden grote afmetingen en komen vaak voor aan de oppervlakte, niet alleen in Vlaanderen of Wallonië maar ook in Engeland. Daar worden dergelijke reuzenzandstenen trouwens Sarsenstones of Sarsens genoemd. Ze werden lokaal door de prehistorische mens gebruikt om er megalieten mee te maken, zoals deze van het beroemde Stonehenge. Dergelijke zandstenen worden ook als slijpstenen gebruikt, zoals de zandsteenblokken van de Holsteen in Zonhoven (vastgesteld bouwkundig erfgoed én beschermd cultuurhistorisch landschap) of de "polissoirs" van Slenaken in Zuid-Limburg, Nederland (die inmiddels als nationaal rijksmonument zijn geklasseerd). Dergelijke reuzengrote zandsteenblokken spreken dikwijls tot de verbeelding. Op diverse plaatsen in Limburg kennen we ze als "duivelsstenen" en sommige belangrijke concentraties hiervan hebben decennialang voor verhitte discussies geleid over het al dan niet bestaan van megalieten…

Voor meer informatie over het ontstaan en de verspreiding van Limburgse "duivelsstenen": http://www.pnc.be/webfiles/pnc/likona/20171208_keiharde_bleke_zandstenen.pdf
Ben je geïnteresseerd in het detectiveverhaal over een vermeend Stonehenge in Diepenbeek? http://www.pnc.be/webfiles/pnc/likona/natuuronderzoek/natuuronderzoek_limburg_2017_2_25_stenen_diepenbeek.pdf

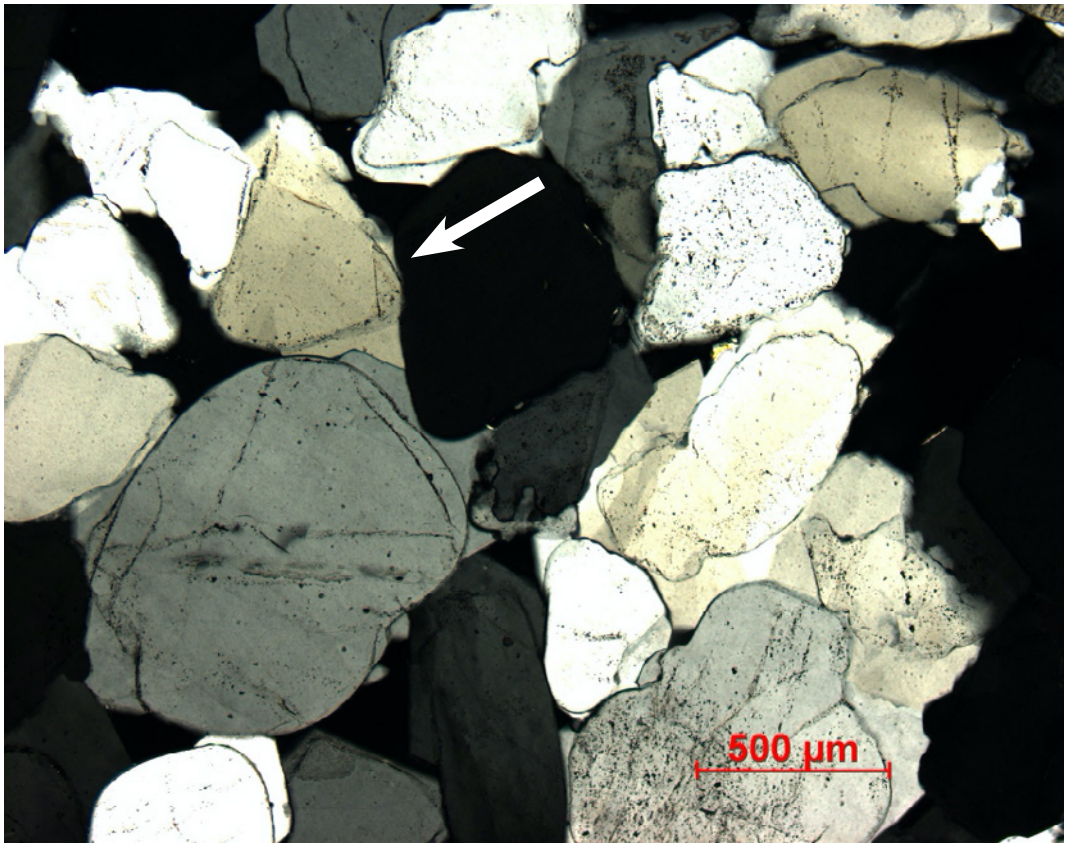


FIG. 25. **Detailopname van een slijpplaatje gemaakt in een stuk zoetwaterkwartsiet. Let op de mooie kwartsovergroeiingen rond de kwartskorrels.**



FIG. 26. **Grote plaat zoetwaterkwartsiet uit het Oligoceen, gevonden in een recente bouwput in Kleine-Spouwen**
http://www.pnc.be/webfiles/pnc/likona/natuuronderzoek/natuuronderzoek_limburg_2017_30_35_reuzenzandsteenblokken_kleinespouwen.pdf



Macroscopische opname van een stuk oölitische kalksteen (Savonnières kalksteen): detail van het Sint-Barbarabeeld, H.Hartkerk van Winterslag.

HOOFDSTUK 6

RECENTE OÖIDEN - OÖLIETEN

Grasduinend in mijn fotoarchief vond ik foto's van recente **oöïden** terug. Voor de kalkbolletjes zelf wordt de term "oöïden" gebruikt, voor het gesteente dat hieruit ontstaat het woord "**oölieten**". De term is afgeleid van het Griekse woord "oön" voor ei. Hun grootte varieert tussen 0,25 en 2 mm, doorgaans 1 mm. Ik heb zelf ooit (in 1981) een handvol recente öoïden opgeraapt en meegebracht van het strand aan het Grote Zoutmeer (Great Salt Lake) in Utah (USA). Dergelijke kalkbolletjes (oöïden) zijn recente analogen voor de verschillende soorten van oölitische kalkstenen die België en Frankrijk rijk is en die frequent als historische bouwstenen in Limburg en Vlaanderen voorkomen (zie verder bij: Vinalmont kalksteen en Franse steen)



FIG. 27. **Zand van het Grote Zoutmeer, bestaande uit kleine bolletjes (ooïden) van calciet. Breedte foto ca. 5 cm**

Fig. 27 toont dergelijke oöïden, zoals ze los aan de rand van het zoutmeer (op het strand) liggen, de tweede en derde foto (Fig. 28 en 29) zijn opnames gemaakt van een slijpplaatje dat in een staal oöïden van het zoutmeer werd aangemaakt. Deze foto's werden gemaakt met behulp van een polarisatiemicroscoop in doorvallend licht, één zonder en de andere met gekruiste polarisatoren.

Wat hierbij sterk opvalt is de gelaagde, concentrische opbouw van de oöïden (allemaal dunne opeenvolgende laagjes calciet) en het radiaalstralige patroon van sommige calcietkristallen (we noemen deze structuur fibroradiaal of radiaalvezelig). Bovendien zijn de oöïden niet volledig glad van vorm maar licht ondulerend, kijk maar eens naar de grootste oöïde in het midden van de foto.... In geologische terminologie wordt dit "cerebroïdaal" van vorm (zoals van hersenen) genoemd. Deze speciale vorm zou typisch zijn voor oververzadigd zout water: dit wordt ook op gesteenten (oölieten) toegepast om dergelijk zout milieu te reconstrueren. Let ook eens op de grootte van de oöïden... Deze zijn iets groter dan 1 mm

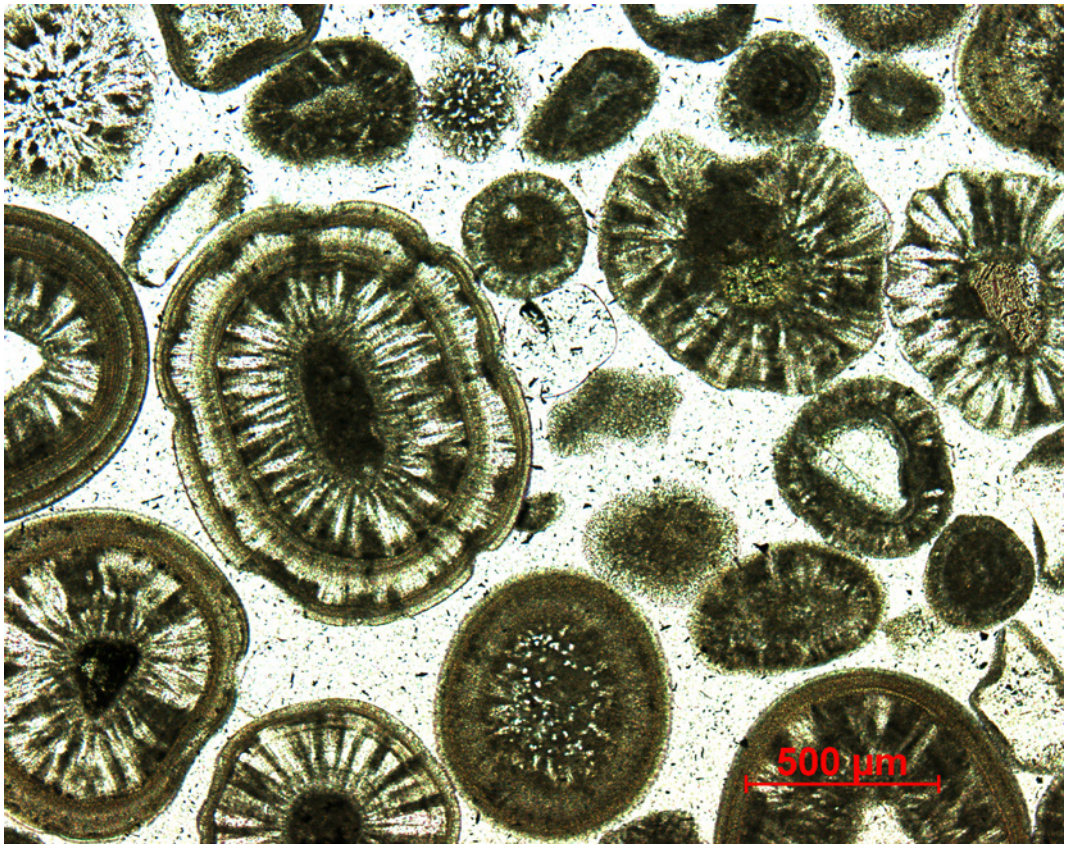


FIG. 28. Microscopische opname van recente ooïden. Doorvallend licht zonder gekruiste polarisatoren.

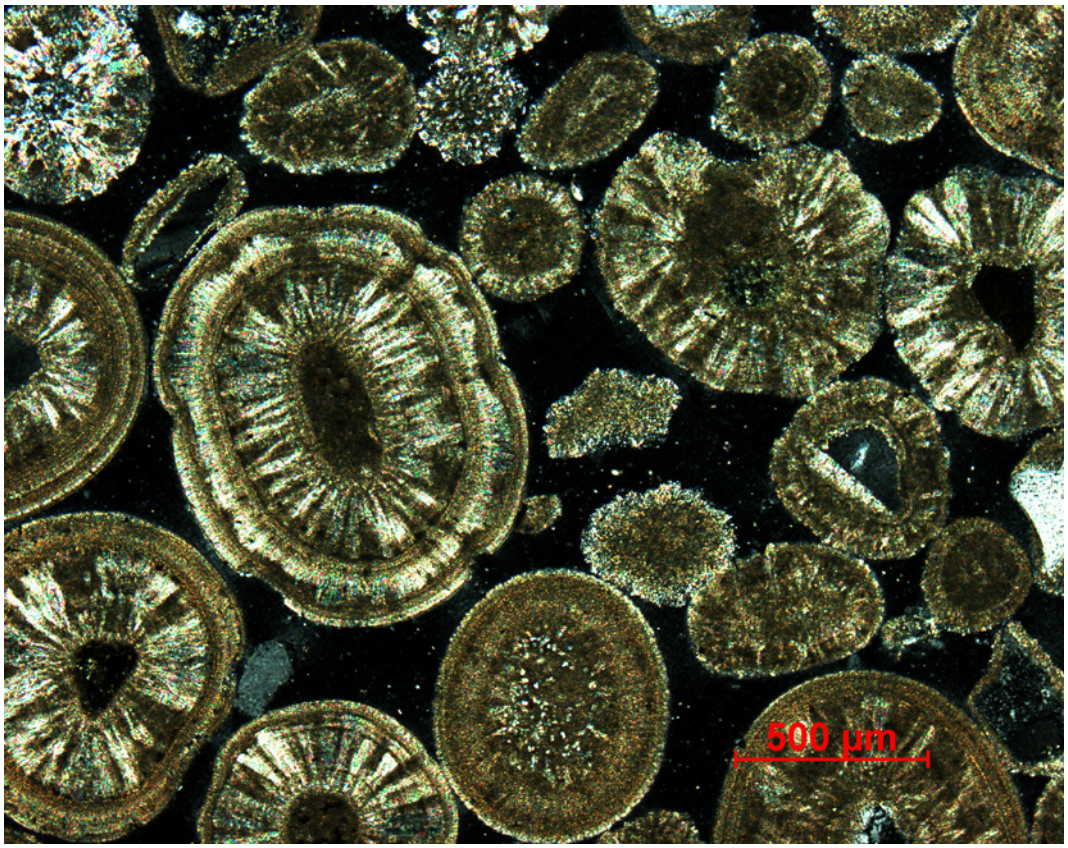


FIG. 29. Zelfde beeld, nu genomen mét gekruiste polarisatoren.

Nog een weetje?

Wist je dat de stralend witte zandstranden van de Bahama's bijna volledig zijn opgebouwd uit dergelijke oöïden? Naar korrelgrootte is het een "zand" (groter dan 40 micron en kleiner dan 2 mm) maar de zandkorrels bestaan niet uit kwarts of andere silicaten, maar wel uit calciet. Het voorkomen van oöïden in gesteenten wordt ook gebruikt als een paleoklimaatindicator, meestal verwijzend naar (met uitzondering van het voorbeeld van zoutwatermeer) naar (zeer) ondiepe, turbulente, tropisch warme, mariene intertidale oververzadigde waters.

Een prachtige website over zand is trouwens die van de zandatlas waar je mooie microscopische afbeeldingen vindt van allerlei zandkorrels, die liefhebbers (zgn. "arenofielen") verzamelen uit verschillende plekken van de wereld – zie: http://www.sand-atlas.com/en/
De volgende zandkorrelgalerij is trouwens ook een aanrader: http://sandgrains.com/Sand-Grains-Gallery.html.

Kalkstenen die quasi volledig opgebouwd zijn uit oöïden behoren tot bekende historische bouwstenen zoals de Vinalmont kalksteen en de Savonnières kalksteen (zie verder).



Sterk met korstmossen begroeide hoekstenen in Carboonzandsteen in de 14e eeuwse torenburcht van Hamal (Rutten).

HOOFDSTUK 7

KORSTMOSSEN EN STEEN

In dit hoofdstuk tonen we hoe microscopie kan worden gebruikt in de studie van de biologische verwering (bio-erosie) van gesteenten. Als voorbeeld bespreken we hier het effect van korstmossen op kalksteen. Korstmossen zijn eigenaardige organismen die bestaan uit een associatie (symbiose) van schimmels en wieren. Wanneer korstmossen gesteenten koloniseren dan proberen ze met behulp van hun schimmeldraden - ook hyphen of hyphae genoemd - in de steen binnen te dringen. Ze gebruiken dan bijvoorbeeld de splijtingsvlakken van bepaalde mineralen (bijvoorbeeld deze van calciet, zie verder) om via die vlakken gemakkelijker in de steen te dringen, of ze lossen de steen gewoon op met behulp van organische zuren die de schimmel produceert. Je hebt korstmossen die op steen leven (zgn. epilithische korstmossen) en korstmossen die in steen leven (zgn. endolithische korstmossen). Van beide soorten worden hieronder enkele microscopische opnamen getoond.

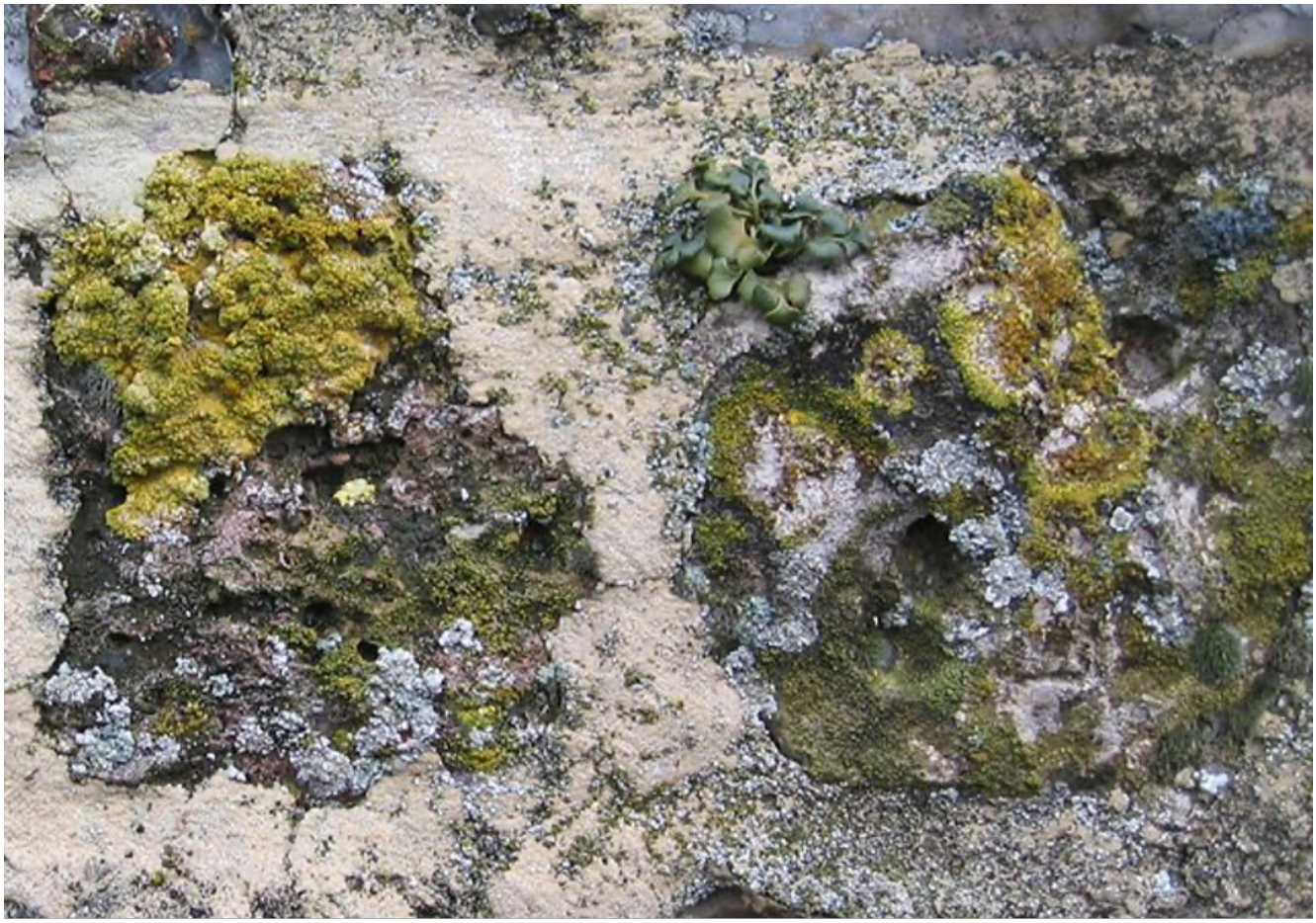


FIG. 30. **Kolonisatie door korstmossen, mossen en hogere planten op blokjes kalktuf in een historisch gebouw**

Opvallend in de volgende foto's zijn de felle gele en groene kleuren. Dit is het gevolg van het gebruik van een gele kleurstof in de epoxyhars waarmee de steen en het slijpplaatje werden geïmpregneerd. Wat geel is, is in feite open ruimte of "lucht". Wat groen is, is niet poreus of dicht zoals steen. Wanneer we nu in de microscoop een speciale blauwe filter gebruiken dan gaat de gele hars (die in alle bestaande open ruimten is gedrongen) sterk oplichten (of fluoresceren). We tonen telkens 2 foto's van hetzelfde object: één foto zonder en één mét deze speciale filter genomen.

Figuren 31-32 tonen dezelfde microscopische opname van een slijpplaatje van een korstmos die op kalksteen leeft (epilithisch), maar die in de steen een gans netwerk van gaatjes heeft geboord via zijn schimmeldraden.

Figuren 33-34 tonen dezelfde microscopische opname van een korstmos dat een vruchtlichaam in de kalksteen heeft ontwikkeld (endolithisch) en via de schimmeldraden ook gaatjes heeft geboord. De witte golvende lijn in de steen is een calcietader. Dit soort van korstmos (bijvoorbeeld dat behorende tot de soort Verrucaria) veroorzaakt schade zoals

aan bouwstenen of stenen monumenten. Er wordt immers extra porositeit gecreëerd die zich bij bevochtiging (regen) zal opvullen met (regen)water. Bij vorst kan dit bevriezend water (ijs) de steen doen barsten wegens een tekort aan expansieruimte.

Figuren 35-36 ten slotte tonen dezelfde microscopische opname van een bioklastische kalksteen die door korstmossen is gekoloniseerd. Hierbij treffen we verschillende relicten aan van het destructieve effect van korstmossen. Zo zien we enkele gaten achtergelaten door de vruchtlichamen van endolithische korstmossen (rechts op de foto's) en de sporen (boorgaten ontstaan door opgelost calciet) veroorzaakt door schimmeldraden van korstmossen die de splijtings-vlakken van calciet gebruiken (linksboven op de foto; zie pijl) om de steen binnen te dringen.

Het resultaat van kolonisatie en bio-erosie door endolithische korstmossen op bouwmaterialen en decoratieve gesteenten kan je goed zien in Figuur 37. Dit is een foto van een pokdalig oppervlak van een door korstmossen gekoloniseerde steen. Dit fenomeen wordt ook "pitting" (van "pit" of putje) genoemd. Je kan je immers goed voorstellen dat binnendringend regenwater in deze "onderhuidse" putjes en in de smalle boorgaatjes van de steen in de winter bevriest en de geperforeerde steen doet barsten. Dit fenomeen bedreigt tal van monumenten en beelden uit kalksteen of wit marmer, indien ze buiten worden blootgesteld aan vochtige en koude weersomstandigheden, vooral dan in gebieden die met vorst te maken krijgen.

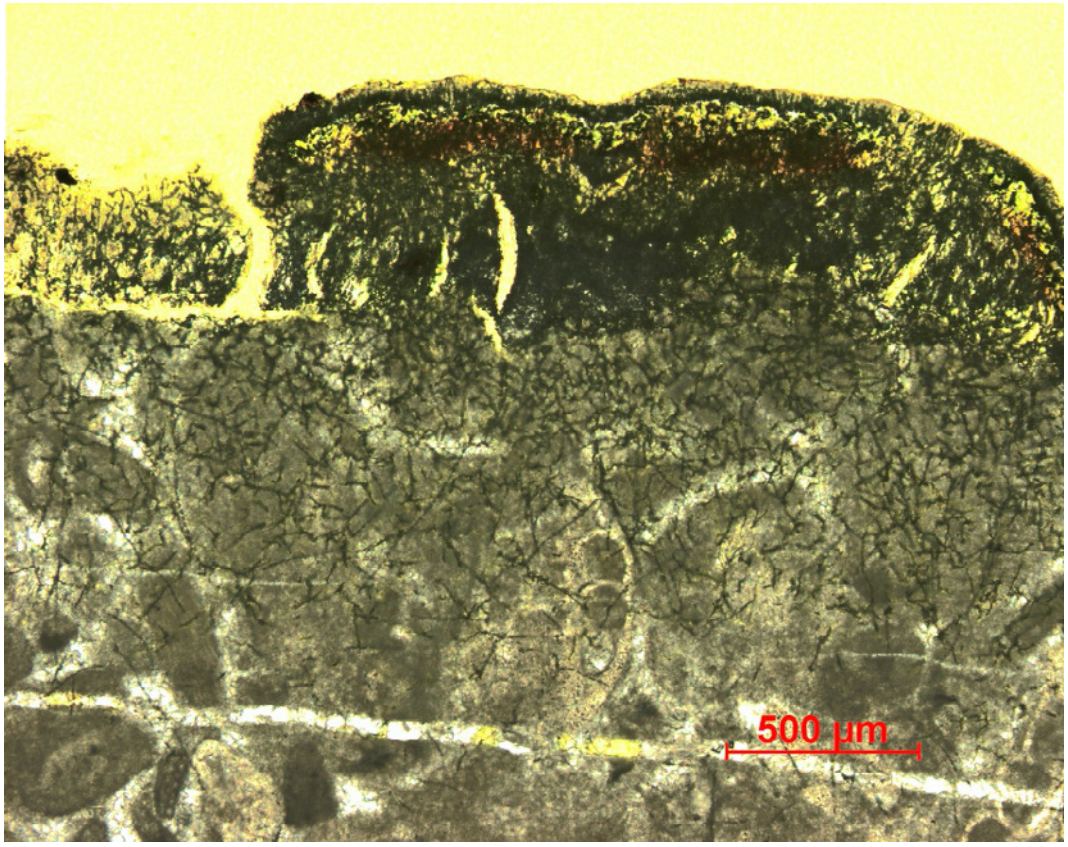


FIG. 31. **Microscopische opname van een slijpplaatje: epilithisch korstmos op een fossielrijke kalksteen.**

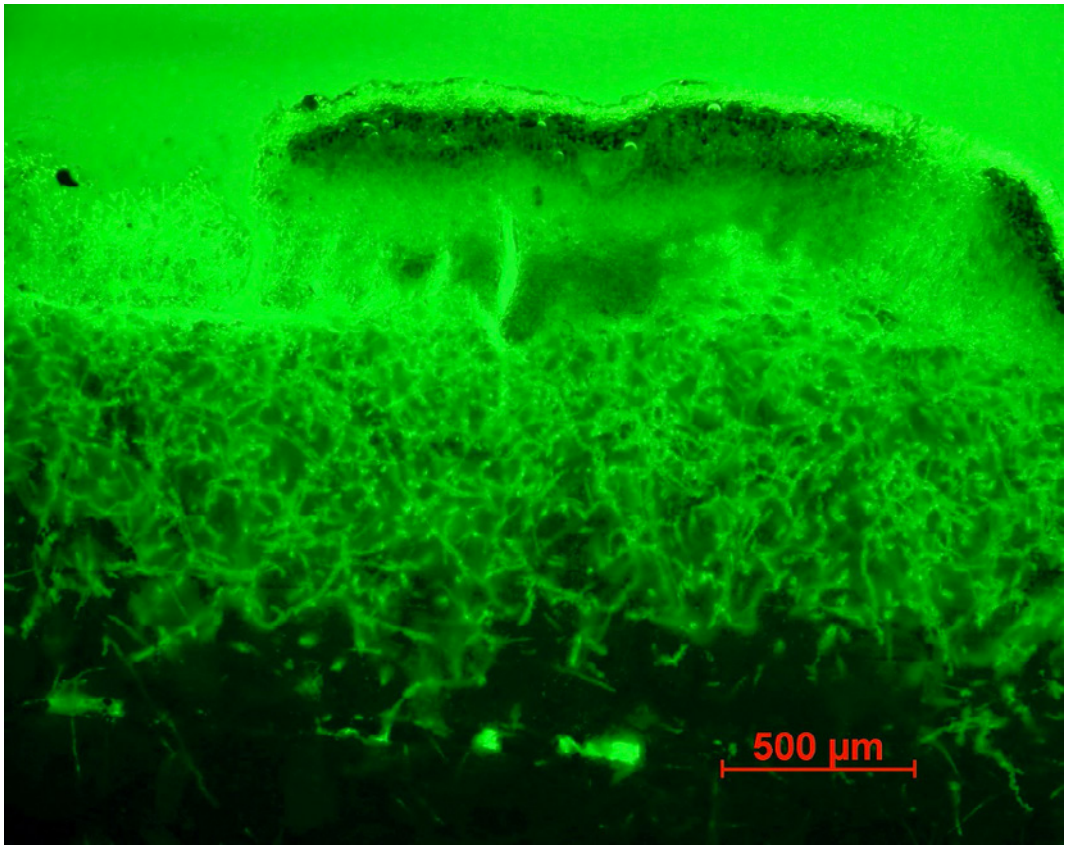


FIG. 32. **Zelfde beeld als het vorige, nu genomen in fluorescerend licht.**

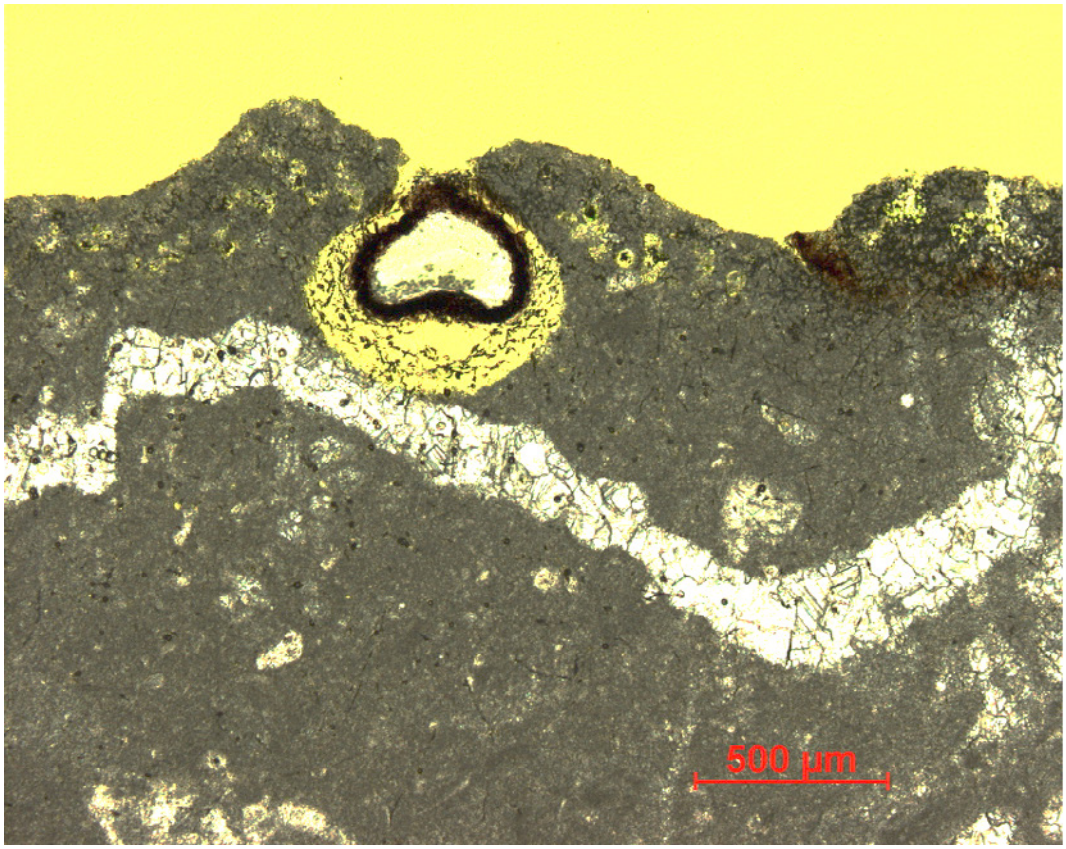


FIG. 33. **Microscopische opname van een slijpplaatje: vruchtlichaam van een endolithisch korstmos in kalksteen.**

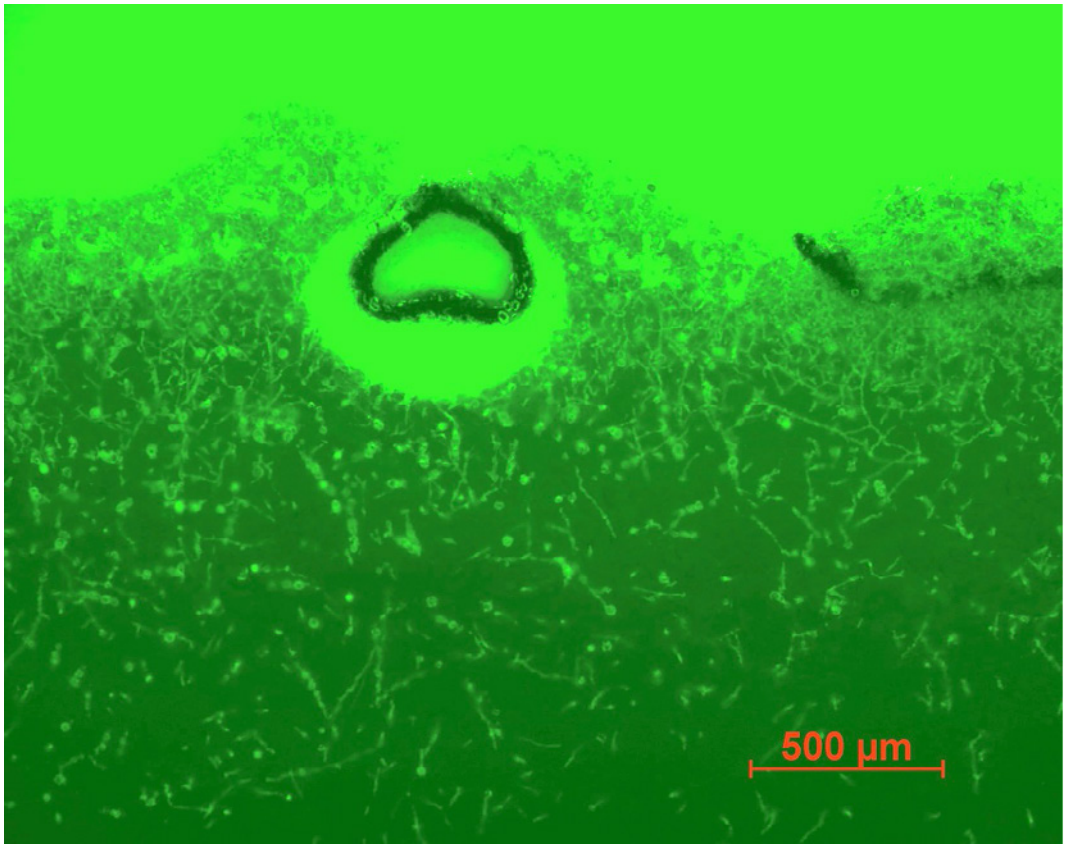


FIG. 34. Zelfde beeld als het vorige, nu genomen in fluorescerend licht.

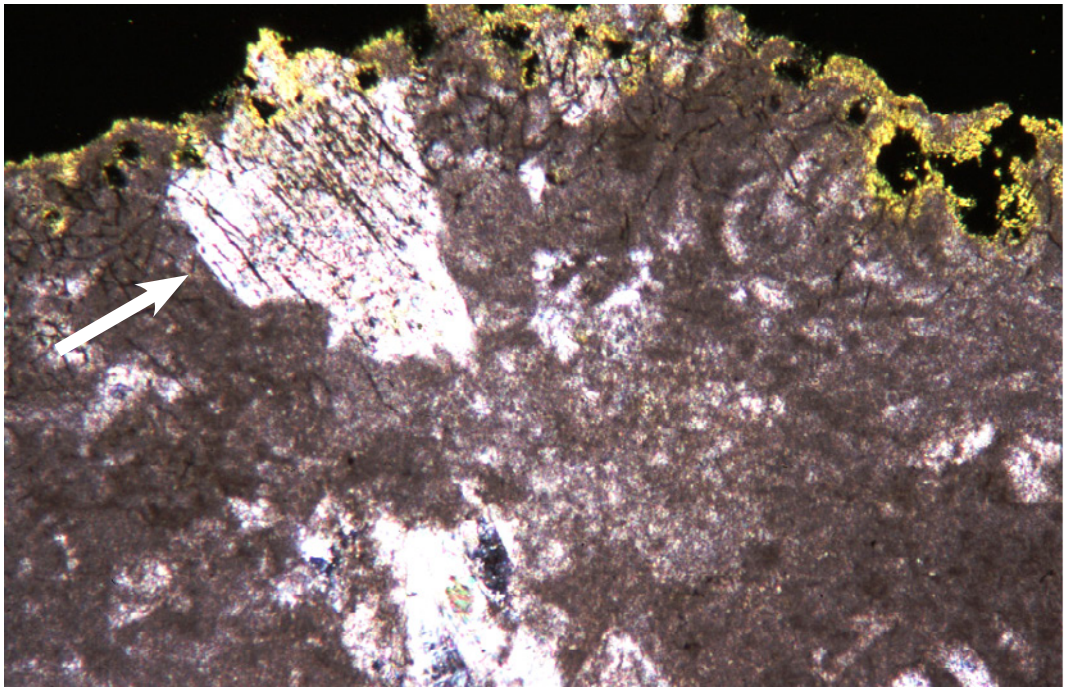


FIG. 35. Microscopisch beeld van een slijpplaatje in een bioklastische kalksteen, gekoloniseerd door korstmossen.

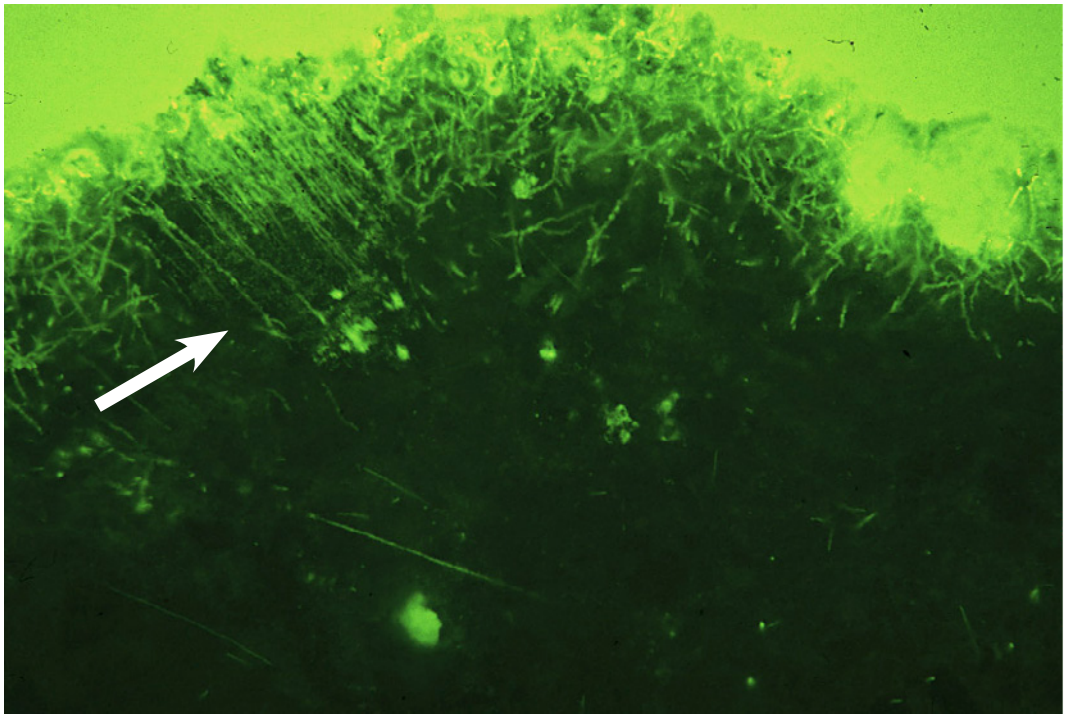


FIG. 36. **Zelfde beeld als het vorige, nu genomen in fluorescerend licht.**



FIG. 37. **Voorbeeld van "pitting": een door endolithische lichens geperforeerd kalksteenoppervlak (foto/ Jenny Seawright)**

Nog een weetje?

Bij experimenteel onderzoek uitgevoerd in laboratoria (onder optimale condities van belichting en bevochtiging) is gebleken dat de kolonisatie van het gesteenteoppervlak van diverse soorten natuurlijke bouwstenen vooral afhankelijk is van de zgn. *bioreceptiviteit* van de gesteenten. Dit wordt voornamelijk bepaald door de macroporositeit (ruwheid) en de chemische samenstelling (basisch versus zuur) van de steen. Anderzijds is het verschijnen van korstmossen het laatste stadium in een kolonisatieketen, die begint met het verschijnen van biofilmen bestaande uit slijmerige cyanobacteriën, opgevolgd door pioniergroenwieren, diatomeeën en mossen. De hogere planten verschijnen op het einde, na de korstmossen.



Gerecycleerde Romeinse natuursteen in de 12e eeuwse toren van de romaanse Sint-Martinuskerk met verschillende blokken witgele Franse steensoorten (o.a. Norroy en Jaumont kalksteen).

HOOFDSTUK 8

FRANSE STEEN: SAVONNIÈRES EN EUVILLE

Deze bijdrage gaat over twee bekende Franse steensoorten die je regelmatig als bouwsteen of als decoratieve steen tegenkomt, namelijk Euvillesteen en Savonnièressteen. De Romeinen kenden beide steensoorten al en maakten er diverse objecten uit (o.a. zuiltjes en altaren). Voor de Merovingers was de Savonnièressteen één van de meest geliefde steensoorten om er sarcofagen uit te maken. Beide steensoorten zijn kalkstenen van Jura-ouderdom, die vroeger hoofdzakelijk ondergronds werden gedolven. Nu worden ze nog slechts bovengronds in enkele steengroeven ontgonnen. De geologische formaties waaruit ze worden gewonnen maken deel uit van de oostrand van het Bekken van Parijs en liggen in de Franse Maasvallei. De Maas diende uiteraard als transportkanaal voor beide historische bouwstenen. We vinden deze steensoorten ook regelmatig terug in Limburg, hetzij als bouwsteen (hoofdzakelijk gedurende de 20e-21e eeuw), hetzij als natuurstenen monument (zoals oorlogsmonumenten).

De **Savonnièressteen** (ook "Oolithe vacuolaire" genoemd) wordt reeds 2000 jaar in de dorpen Savonnières-en-Perthois, Brauvilliers, Aulnois-en-Perthois en Juvigny-en-Perthois ontgonnnen, allemaal dorpen gelegen ten zuiden van de stad Bar-le-Duc in het Département de la Meuse in Lotharingen. Deze steen dateert van het Laat-Jura (Portlandiaan, ca.145 miljoen jaar oud) en is onderdeel van een van de cuesta's van het Bekken van Parijs, de Côte de Meuse of Maas-cuesta. Ook de **Euvillesteen** maakt deel uit van dezelfde Maascuesta. Deze steen is iets ouder en van Midden-Jura-ouderdom (Oxfordiaan, ca. 150 miljoen jaar oud). Hij wordt ook "entroquite" d'Euville genoemd, naar het woord "entroque" hetgeen stengellid (van crinoïden) betekent. Hij werd en wordt nog steeds ontgonnen langs de oostzijde van de Maas tussen Verdun en Commercy. De Savonnièressteen is macroscopisch te herkennen aan de talrijke holle bolletjes of oöïden waaruit hij voornamelijk is opgebouwd, samen met dunne schelpen van bivalven (tweekleppigen). Karakteristiek is tevens de aanwezigheid van schuine en gekruiste gelaagdheid. De Euvillesteen valt dan weer op door zijn grofkorrelig uiterlijk, hoofdzakelijk bestaande uit stengellidjes van crinoïden. Soms vind je er zelfs een mooie vijfhoekige doorsnede in van de karakteristieke zeelelie *Pentacrinus*.

Fig. 38 toont een macroscopische opname van een beige of crèmekleurige Savonnièressteen, waarop je heel duidelijk de combinatie van holle oöïden en dunne schelpen kan zien. De oöïden zijn hier ongeveer 1 mm in diameter.



FIG. 38. **Holle oöïden en golvende lijnen van dunne schelpen in de Savonnièressteen (Walputsteeg, Hasselt)**

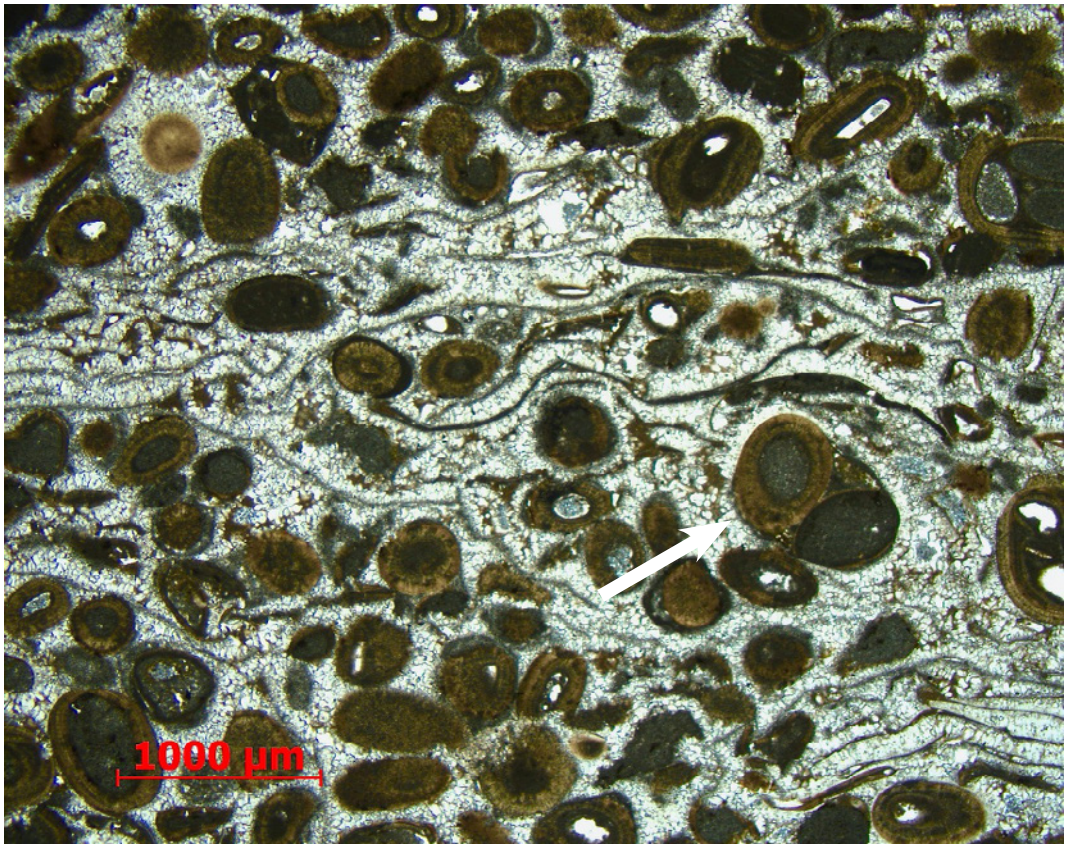


FIG. 39. **Microscopische opname van een slijpplaatje in Savonnièressteen.**

Fig. 39 toont een microscopische opname van een slijpplaatje in Savonnièressteen, genomen in doorvallend gepolariseerd licht (zonder gekruiste polarisatoren). Opvallend is de concentrische opbouw van de oöiden, waarvan de meeste hier een volle kern hebben (vaak stukje verweerde bioklast). De witte vlekken op de foto zijn holten. Ook zie je een composietoöïde (rechts in het midden; zie pijl). De bivalven (langwerpige dunne bioklasten) hebben een zeer dunne schaal en ze zijn lichtgolvend parallel met de gelaagdheid georiënteerd, als gevolg van het op elkaar drukken van het sediment (= compactie). Tussen de bioklasten en de oöïden in, is er een vrij grofkorrelig cement aanwezig, bestaande uit kristalletjes van calciet.

Fig. 40 is een macroscopische opname van het oppervlak van een doorgezaagd stuk **Euvillesteen** (hier Romeins bouwmateriaal) waarbij je een opeenstapeling ziet van ruitvormige of ellipsvormige bioklasten (een Nederlandse collega noemde deze bioklasten "vismootachtige lichaampjes") en zeer weinig bindmiddel (calcietcement). Het resultaat is een grofkorrelige (kijk naar de schaal!) poreuze kalksteen. De bioklasten zijn quasi allemaal afgeronde fragmenten van stengelleden van crinoïden (zeelelies). Vandaar dat we dit zonder probleem een crinoïdenkalksteen kunnen noemen.

Fig. 41 is een microscopische opname van een slijpplaatje gemaakt uit hetzelfde staal van Euvillesteen. Ook hier kijken we in doorvallend gepolariseerd licht zonder gekruiste polarisatoren. De crinoïden zijn duidelijk te herkennen aan hun ovale vorm en hun interne zeefstructuur. Deze ruitvormige doorsnede is typisch voor een bepaalde soort zeelelie, want meestal zijn de doorsneden van crinoïden cirkelvormig. De zwarte objecten zijn sterk afgeronde stukjes kalkmodder (micriet) of verdwaalde oöïden bestaande uit micriet. Onderaan rechts (zie pijl) herkennen we nog een fragment van een grote kalkspons (let op het interne netwerk van buisjes). Je kan ook zien dat er amper cement aanwezig is in de steen (wit = geen of weinig calcietcement) hetgeen de hoge porositeit van de steen verklaart. De kleine ovale objecten in het witte gebied (open ruimten) zijn luchtbelletjes in de hars.

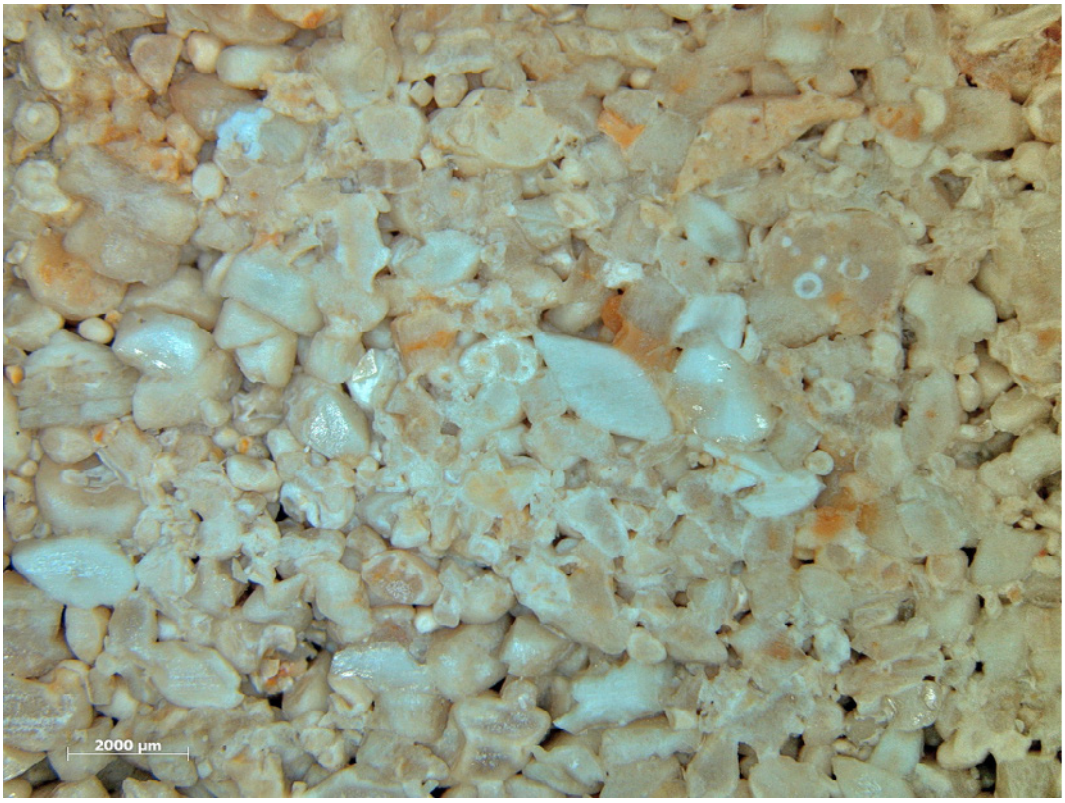


FIG. 40. **Detail van het oppervlak van Euvillesteen.**

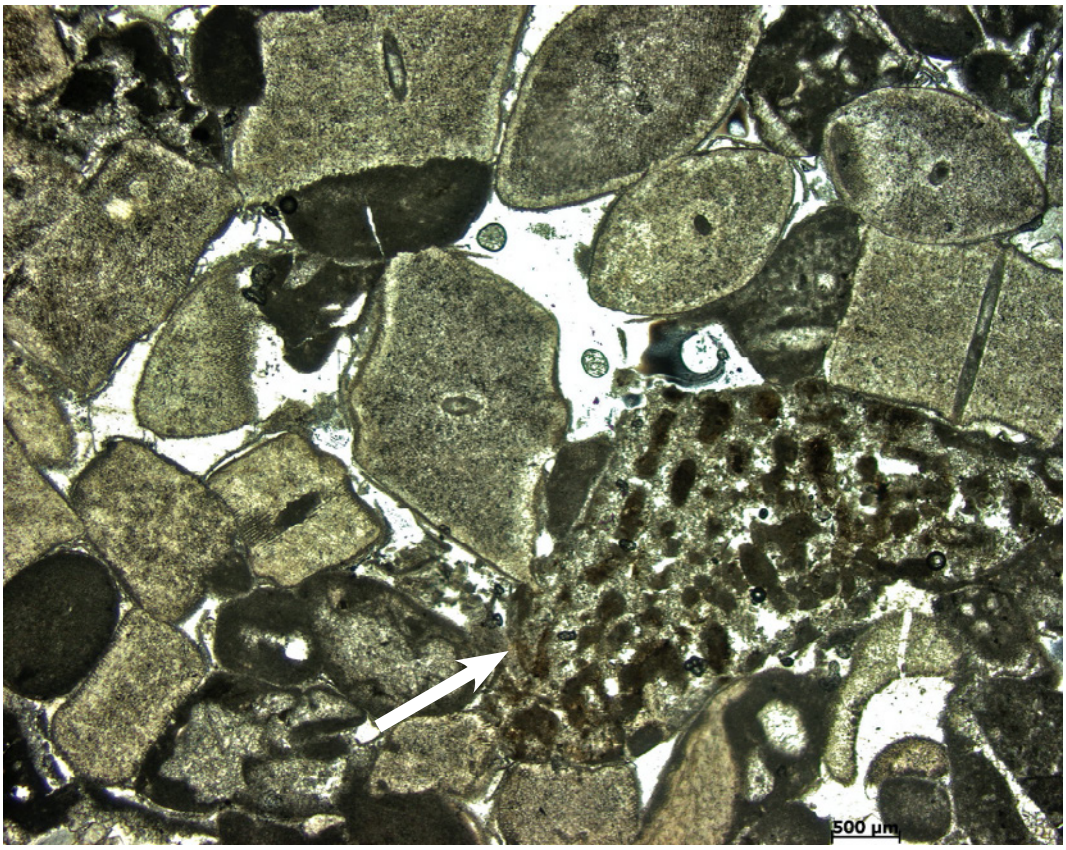


FIG. 41. **Microscopische opname van een slijpplaatje in Euvillesteen.**

Nog een weetje?

Witte Jura-kalksteensoorten zoals Euville- en Savonnièresstenen (naast andere kalksteensoorten, waaronder deze van Norroy en van Chémery) waren zeer geliefd bij de Romeinen, omdat ze goedkope alternatieven waren voor de (zeer) dure witte marmers uit het Mediterraans Zeegebied. Sommige, zoals de Norroy kalksteen (die tussen Metz en Nancy langs de Moezel werd ontgonnen) kenden een zeer belangrijke verspreiding, allicht onder invloed van de legioensoldaten, met fluviatiel transport via Moezel, Rijn en Maas. Ook in de *civitas Tungrorum* werden heel wat architectonische resten van publieke gebouwen en grafmonumenten aangetroffen, die vervaardigd zijn uit deze witte kalksteensoorten (Coquelet et al, 2013; 2018).

Een belangrijke archeologische ontdekking in Nederland (Zeeland) was deze van honderden 3e eeuwse stenen Romeinse altaren opgedragen aan de lokale godin Nehalennia, in ruil voor een behouden overtocht naar Engeland. Deze stenen altaren werden bij toeval door Zeeuwse vissers met hun netten opgehaald uit de Oosterschelde nabij Colijnsplaat (Zeeland) (zie fig. 42). Het is dankzij vergelijkend petrografisch onderzoek dat wij de mineralogische "vingerafdruk" hebben gevonden, waardoor het meeste steenmateriaal aan de Jura-kalksteen van Norroy en deze van Chémery kan toegeschreven worden (zie ook verder onder het hoofdstuk over Bio-erosie).



FIG. 42. **Votiefaltaar opgedragen aan de godin Nehalennia, gemaakt in witte Franse steen (Norroy kalksteen). Rijksmuseum voor Oudheden in Leiden (https://www.zeeuwseankers.nl/verhaal/onderzoek-en-vondsten-schaar-van-colijnsplaat)**



Sterk verweerde witte krijtsteen in het parement van de St. Sépulchrekerk van St.-Omaars (Pas-de-Calais, Frankrijk).

HOOFDSTUK 9

KRIJT EN KRIJTSTEEN

Nu gaan we een kijkje nemen in krijt of krijtsteen. Het gaat om het witte, zeer fijnkorrelige en poederig aanvoelende zachte gesteente (in feite een zeer poreuze en zeer fijnkorrelige kalksteen) waarvan je vingers wit worden. Het blijft ook aan de tong kleven - voor diegenen die het al ooit hebben geprobeerd – meteen ook de reden waarom we dit een "hygroscopisch gesteente" noemen. Dit wit krijt komt in Limburg in de (diepe) ondergrond van Zuid-Limburg voor en dagzoomt net over de taalgrens, bijvoorbeeld in de Jekervallei nabij de dorpen Boirs (en verderop Bassenge) langs de autosnelweeg E313 naar Luik. We kennen wit krijt ook uit de Voerstreek: het is van Boven-Krijt ouderdom (Maastrichtiaan) en behoort tot de Formatie van Gulpen. Er komen hierin vaak zwarte silexbanken of -knollen voor die door de prehistorische mens lokaal ondergronds werden ontgonnen (bijvoorbeeld de prehistorische vuursteenmijnen van Sint-Geertrui in Zuid-Limburg, Nederland).
Meer bekend, toch zeker bij het grote publiek, zijn de witte krijtkliffen van Dover (ZW-Engeland), Cap Blanc-Nez en Normandië. Maar ook de Champagnestreek is beroemd omwille van haar krijtondergrond. Zonder dit krijt hadden we daar ook geen champagnekelders…[2]

Een bijzondere krijtsteen is de Avendersteen die in Limburg o.m. bekend is van de prachtige sacramentstorens (bijvoorbeeld deze van de Sint-Leonarduskerk in Zoutleeuw) of van de schitterende koordoksalen (bijvoorbeeld deze van de Sint-Martinuskerk in Tessenderlo). Avendersteen verschilt van "normale" krijtsteen door de aanwezigheid van kleine glauconietkorreltjes. Deze korreltjes kan je met behulp van een handloep goed zien en laat je toe om Avendersteen van banaal plaaster te onderscheiden. Kortom, krijt is een frequent voorkomend gesteente, zacht en hierdoor interessant om er objecten of beelden uit te snijden, maar toch ook voldoende stevig om het als bouwsteen te gebruiken (denken we maar aan de muren van oude stallingen, vakwerkhuizen of bakovens in de Voerstreek) en ja… het waren weer de Romeinen die dit materiaal voor het eerst in onze contreien hebben gebruikt.

Fig. 43 is een microscopische opname van een stukje krijtsteen bemonsterd uit de Onze-Lieve-Vrouwetoren van Damme. Deze is naar alle waarschijnlijkheid afkomstig uit krijtafzettingen van Artesië (Artois) in de buurt van Rijsel (Lille). Stratigrafisch is dit krijt wel ouder (Turoon-Coniaciaan, 90 miljoen jaar oud) dan het wit krijt in Limburg (Maastrichtiaan, 70 miljoen jaar oud) maar hun samenstelling en oorsprong zijn quasi identiek. Zoals in de microscopische opname (doorvallend licht) van het slijpplaatje te zien is, is dit witte krijt opgebouwd uit honderden kleine orga-

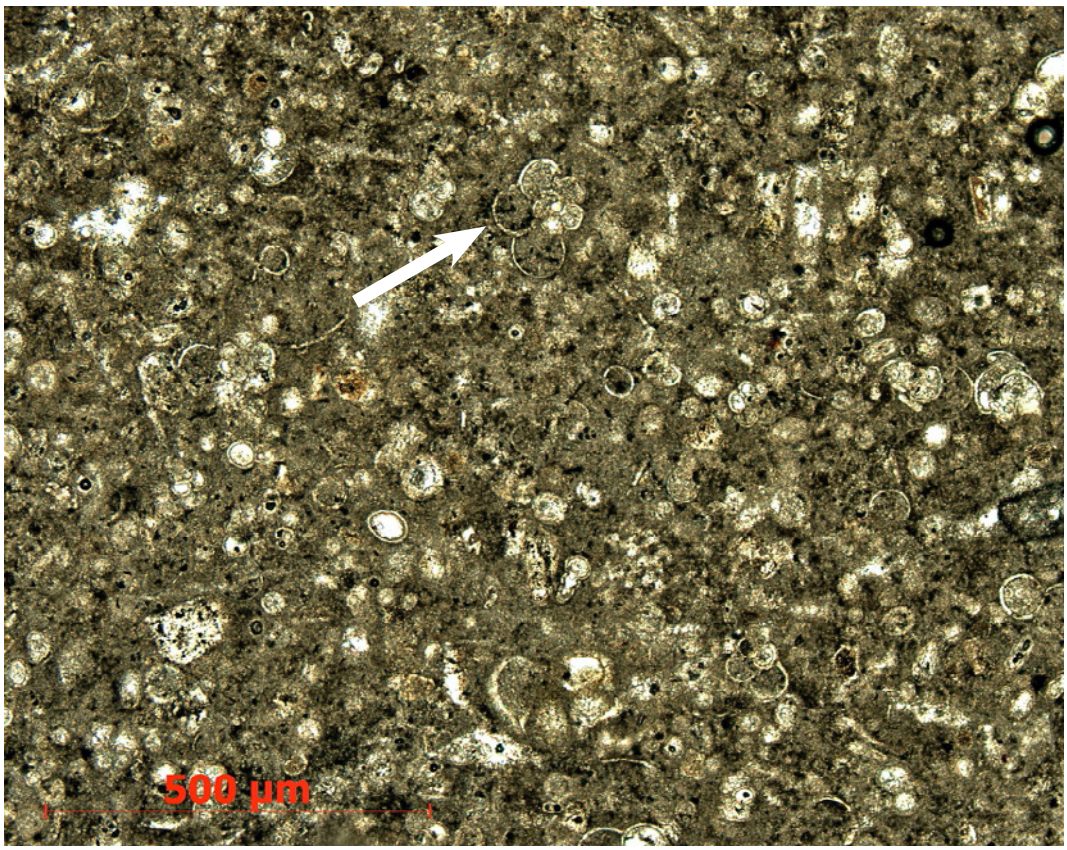


FIG. 43. **Zeer dunschalige planktonische foraminiferen in krijtsteen.**

nismen met een kalkskelet (calciet) die ooit in zee zweefden - plankton dus - meer bepaald planktonische foraminiferen. Deze planktonische ééncelligen zijn typisch voor relatief diepe zeeafzettingen, meestal ver afgelegen van de kust. Je herkent ze aan de vele kleine bolvormige kamertjes.

Het slijpplaatje toont een versteende kalkmodder die in feite volledig is opgebouwd uit kalkgruis bestaande uit fragmenten (kamertjes) of ganse schaaltjes (meerdere kamertjes) van dergelijke planktonische foraminiferen. Maar de voornaamste componenten van deze kalkmodder zijn schaaltjes van nog kleinere organismen die echter onzichtbaar zijn in het slijpplaatje, zeker bij deze zwakke vergroting, namelijk coccolieten (bepaalde soort van mariene algen; zie verder). Het zijn al deze piepkleine kamertjes of holten van duizenden kalkskeletjes van dergelijke kleine organismen, die de belangrijke porositeit van het wit krijt verklaren. Een mooie doorsnede van een volledig kalkskelet van een dergelijke planktonische foraminifeer zie je bovenaan in het midden op Fig. 43 (zie pijl). We zien deze foraminifeer hier in doorsnede (zeg maar in 2D) maar voor een goede gedetailleerde 3D-opname heb je een elektronenmicroscoop (SEM) nodig. Fig. 44 (links) is een foto op het internet en is met dergelijke apparatuur genomen: het is een planktonische foraminifeer (*Globigerina bulloides*) die ook nu nog in onze oceanen leeft. Zijn grootte bedraagt zo'n 200 micrometer (twee tienden van een mm). Ook interessant is een foto van een levende *Globigerina bulloides* (fig.44 rechts): je kan hier ook duidelijk zien waarom we deze organismen "foraminiferen" of "gaatjesdragers"noemen. Op het beeld van de levende foraminifeer zie je duidelijk waarvoor die gaatjes moeten dienen: hierlangs komen dunne draadvormige uitstulpingen van celplasma (pseudopodiën genoemd) naar buiten, waarmee de foraminifeer zich kan verplaatsen en voeden.

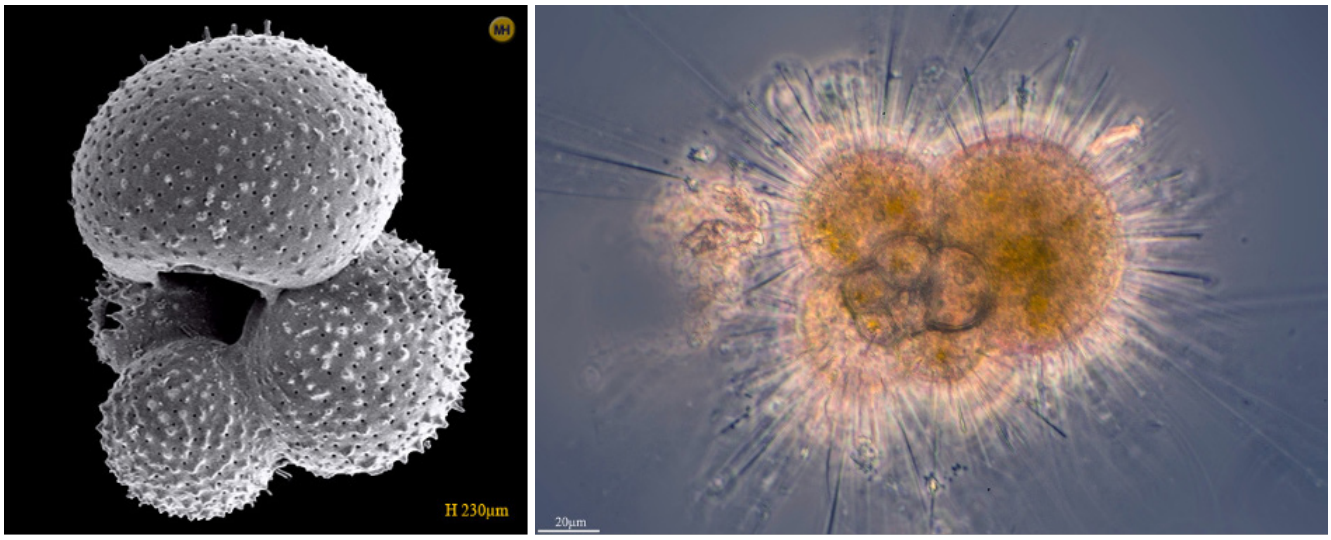


FIG. 44. **Links: elektronenmicroscopisch beeld van een recente planktonische foraminifeer Globigerina bulloides** http://www.foraminifera.eu/singlerw.php?no=1000758&aktion=suche**). Rechts: levende foraminifeer met pseudopodiën (**https://eol.org/pages/4916**).**

Fig. 45 toont een beeld van hetzelfde slijpplaatje uit de krijtsteen van Damme, waarin we een mooie doorsnede zien (midden links; zie pijl) van een relatief grotere planktonische foraminifeer behorende tot het genus *Globotruncana*. De volgende foto (fig. 46) toont hiervan een 3D-beeld (opname m.b.v. een elektronenmicroscoop). Dergelijke planktonische foraminiferen (en zeker de coccolieten) zijn trouwens uitstekende gidsfossielen voor het nauwkeurig dateren van sedimenten uit het Mesozoïcum en het hierop volgende Tertiair. Zo is *Globotruncana* een gidsfossiel voor sedimenten daterend uit het Krijt.

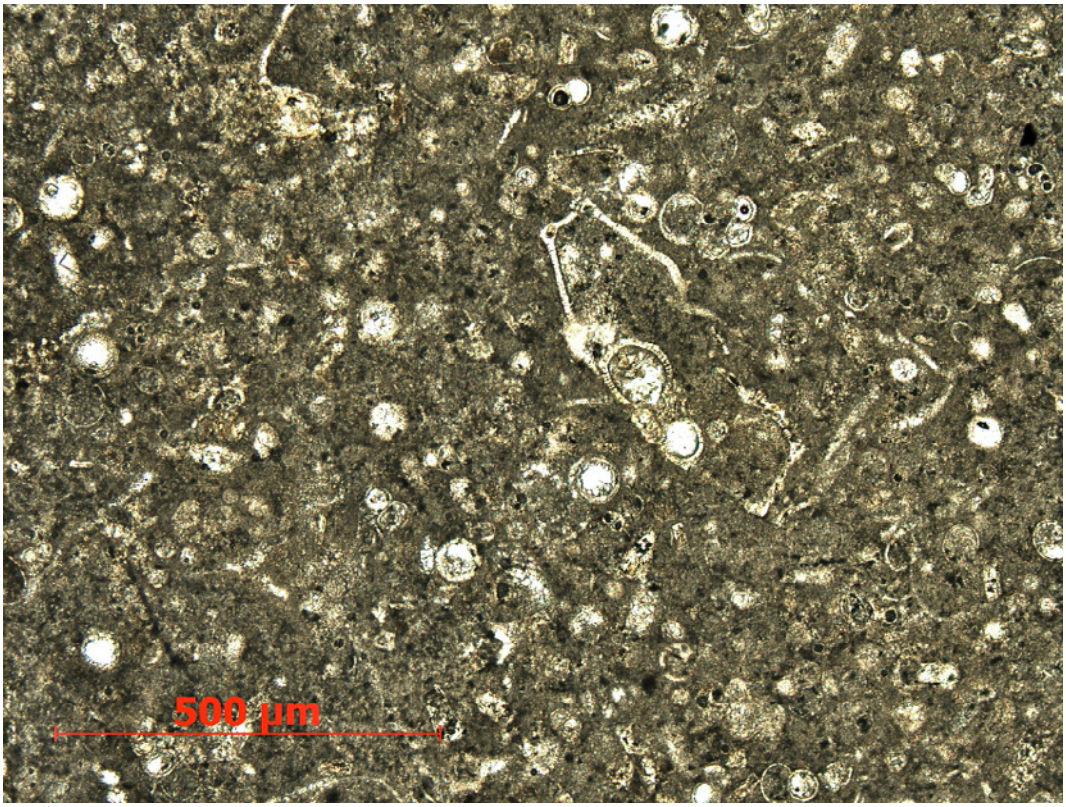


FIG. 45. **Microscopische beeld van een slijpplaatje in krijtsteen, met kleine en grote foraminiferen.**

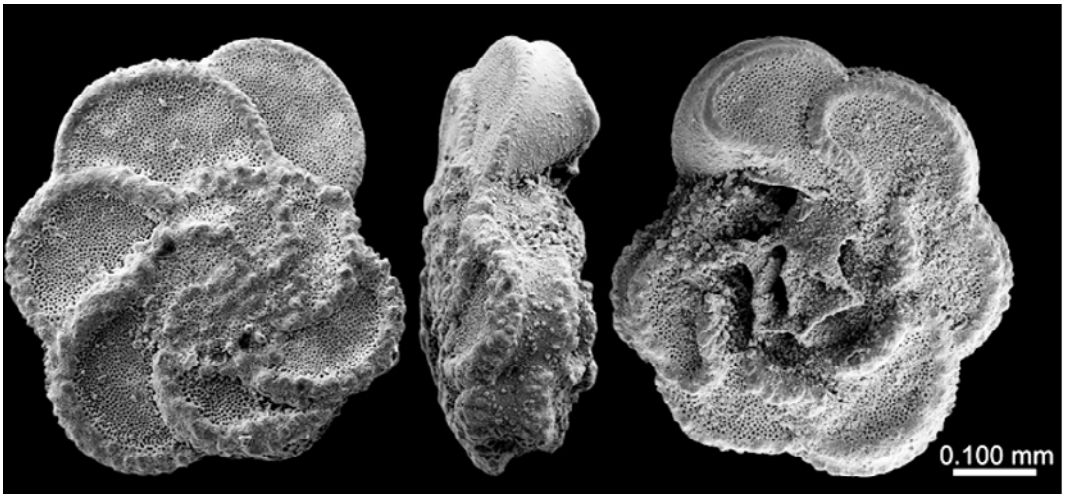


FIG. 46. **Elektronenmicroscopisch beeld van de foraminifeer Globotruncana (bron: pforams@mikrotax – Globotruncana).**

Nog meer weetjes?

Coccolieten of de kalkskeletjes (plaatjes) van eencellige mariene algen, coccolithoforen, die het krijt voor het grootste stuk opbouwen, zijn zo piepklein dat we een gesofistikeerd apparaat - een elektronenmicroscoop - nodig hebben om ze te zien (zie fig. 47). Coccolieten leven ook nu nog en maken deel uit van het plantaardig plankton dat in de zomer soms grote witte vlekken vormt aan de oppervlakte van de oceaan, als gevolg van de “bloom” of “bloeiperiode” van dit plankton. Deze kan je zelfs op satellietfoto’s waarnemen (Fig. 48)! Coccolietenslib vormt zich nog steeds op de bodem van de oceanen. Fijn gemalen krijt, rijk aan coccolieten wordt tegenwoordig zelfs onder de commerciële benaming “fossiel zeewierkalk van coccolieten” als kalkmeststof verkocht voor je gazon of moestuin!



FIG. 47. **Opname met behulp van een elektronenmicroscoop van een klein stukje krijt uit Engeland. Let op de schaal helemaal onderaan links: de lengte van dit kleine balkje is 1 micrometer. (**https://www.nhm.ac.uk/resources/natureplus/images/micropalaeontology/image2.jpg**)**



FIG. 48. **Coccoliet-bloei voor de kust van Cornwall en Devon. Satellietfoto uit 1999. (**https://en.wikipedia.org/wiki/Algal_bloom#/media/File:Cwall99_lg.jpg**)**



Fragment van bleekbruine vulkanische tufsteen (Römer Tufsteen) tussen andere gerecycleerde Romeinse bouwmaterialen (beige kalktuf, donkergrijze vuursteen, donkerbruine Carboonzandsteen, bleekgrijze Maaskalksteen) in het parement van het 11e eeuws schip van de Sint-Martinuskerk van Berg (Tongeren).

HOOFDSTUK 10

BASALTLAVA EN VULKANISCHE TUFSTEEN

In de Limburgse ondergrond komen uitsluitend niet-verharde sedimenten en sedimentaire gesteenten voor. Dit wordt tevens goed weerspiegeld in het gebruik van natuursteen (bouwsteen) in de historische gebouwen en monumenten doorheen de provincie. En toch vinden we in de Limburgse gebouwen soms "exotische" stenen terug, waaronder vulkanische gesteenten. Daarover gaat deze bijdrage.

De Romeinen waren weer de eersten die vulkanische gesteenten naar hier importeerden, meer bepaald uit de Vulkaaneifel, omdat ze goed vertrouwd waren met dit materiaal in hun thuisland. Vooral **basaltlava** en **vulkanische tufsteen** waren door hen zeer gegeerd, de eerste om er maalstenen mee te maken, de tweede als bouwmateriaal. De Romeinen zetten trouwens een hele exporthandel op, meer bepaald vanuit de stad Andernach, gelegen aan de Rijn, de toenmalige draaischijf voor Romeinse steenhandel. Romeinse ontginningen van basalt vinden we terug rond de huidige Duitse steden Mayen en Mendig, vooral in de buurt van de vulkaan Bellerberg. De afgewerkte maalstenen werden over de weg naar Andernach getransporteerd. Van hieruit vertrokken vrachtschepen via de Rijn richting Nederland, om vervolgens via de Maas en de Jeker (die toen bevaarbaar was voor boten met platte bodem) Tongeren te bereiken. Dezelfde weg volgde ook de vulkanische tufsteen, die o.a. in het Brohltal en in Meurin door de Romeinen ondergronds werd ontgonnen. Beide materialen vinden we in Limburg vooral in en rond Tongeren en dan hoofdzakelijk in Middeleeuwse gebouwen terug, omdat deze tijdens de Middeleeuwen gretig werden gerecycleerd uit Romeinse bouwvallen (spolia). Vulkanische tufsteen vinden we tijdens de Middeleeuwen verder ook nog in Vlaanderen vooral in en rond Brugge terug, omdat deze toenmalige metropool vanuit de Maas-Rijndelta via het Zwin gemakkelijk kon bereikt worden.

De twee eerste foto's betreffen basaltlava. Fig. 49 is een foto van een Romeinse maalsteen, gevonden in de bodem van West-Vlaanderen, waarin je duidelijk het ruwe karakter van het oppervlak ziet, veroorzaakt door gasbellen die zich vormden tijdens de afkoeling van de uitvloeiende lava. Deze onregelmatige (licht platgedrukte) gasbellen zie je nog duidelijker in Fig. 50, een microscopische opname (gemaakt in doorvallend gepolariseerd licht) van een slijpplaatje gemaakt van een Romeinse maalsteen uit de verzameling van het Gallo-Romeins Museum in Tongeren. De onregelmatige holten (wit op de foto) zijn opvallend. Kenmerkend voor dit uitvloeiingsgesteente (basaltlava; tefro-fonoliet) is de fijnkorrelige grondmassa, die vrij donker is, en de aanwezigheid van slechts enkele grotere kristallen die hierin "zwemmen" (de zgn. eerstelingen of fenokristen, mineralen die tijdens de snelle afkoeling als eerste zijn uitgekristalliseerd, namelijk ijzer- en magnesiumrijke silicaten). In dit geval zien we verschillende groene en bruine kristallen van augiet (pyroxeen) die duidelijk opvallen tussen de talrijke kleine latvormige kristalletjes van andere silicaten (o.a. pyroxenen en veldspaten).



FIG. 49. **Romeinse maalsteen vervaardigd uit basaltlava (foto: S. Reniere, UGent).**

De twee volgende foto's zijn van een vulkanische tufsteen, meer bepaald van Römer Tuf.
Fig. 51 is een detailopname van een bouwsteen uit de abdijkerk van Postel. Vulkanische tufsteen is ontstaan uit verharde vulkanische assen. Het is een speciaal soort vulkanisch gesteente, pyroklastisch gesteente genoemd, bestaande uit kleine componenten die tijdens uitbarstingen de lucht werden geslingerd en waarbij gloedwolken ontstonden. Deze vulkanische assen kwamen vervolgens terug neer op de grond, waar ze depressies in het reliëf opvulden (bijvoorbeeld valleien). Later werden deze assen ten gevolge van doorsijpelend en circulerend grondwater en dankzij de vorming van nieuwe mineralen (zeolieten) als bindmiddel, tot tufsteen verhard. De Römer Tuf, zo genoemd omdat hij voor het eerst door de Romeinen werd ontgonnen, ontstond uit vulkanische assen die tijdens de gigantische vulkaanuitbarsting van zo'n 13.000 jaar geleden de lucht in werden geblazen, waarbij een groot kratermeer, Maria Laach, is ontstaan. Hierbij werden niet alleen vulkanische assen, maar ook talrijke kleine en grotere brokstukken van basaltlava en van sedimentaire gesteenten zoals Devoonschiefers en -zandstenen, mee de lucht ingeslingerd. Deze laatste zijn afkomstig van het substraat waar de opstijgende lavakolom zich een weg doorheen had gebaand.
In fig. 51 herken je duidelijk de zwarte brokjes van poreuze basaltlava en een groot aantal veel lichter gekleurde, niet poreuze, brokstukjes steen (schiefer en/of zandsteen).
Fig. 52 toont een microscopische opname van een slijpplaatje gemaakt in zulk een Römer tufsteen. Deze foto werd gemaakt in doorvallend licht met gekruiste polarisatoren, zodat we weer wat interferentiekleuren van mineralen kunnen zien. De grondmassa is zeer donker omwille van de aanwezigheid van veel vulkanisch glas (dit glas is amorf en wordt dan ook zwart bij gebruik van gekruiste polarisatoren). Wat dadelijk opvalt zijn de fenokristen van verschillende mineralen: een mooi groen gekleurd kristal (rechtsboven, zie pijl) van augiet; kwartskristallen (midden links) die vaak zeshoekig van vorm (of toch bijna) en wit gekleurd zijn; veldspaatkristallen (rechtsonder en linksboven) herkenbaar aan de wit-grijze interferentiekleuren en aan de gestreepte textuur. De overige geelbruine en lichtgrijze korrelige brokstukken (linksboven, zie pijl) zijn fragmenten van sedimentaire gesteenten (zandsteen, siltsteen of schiefer).

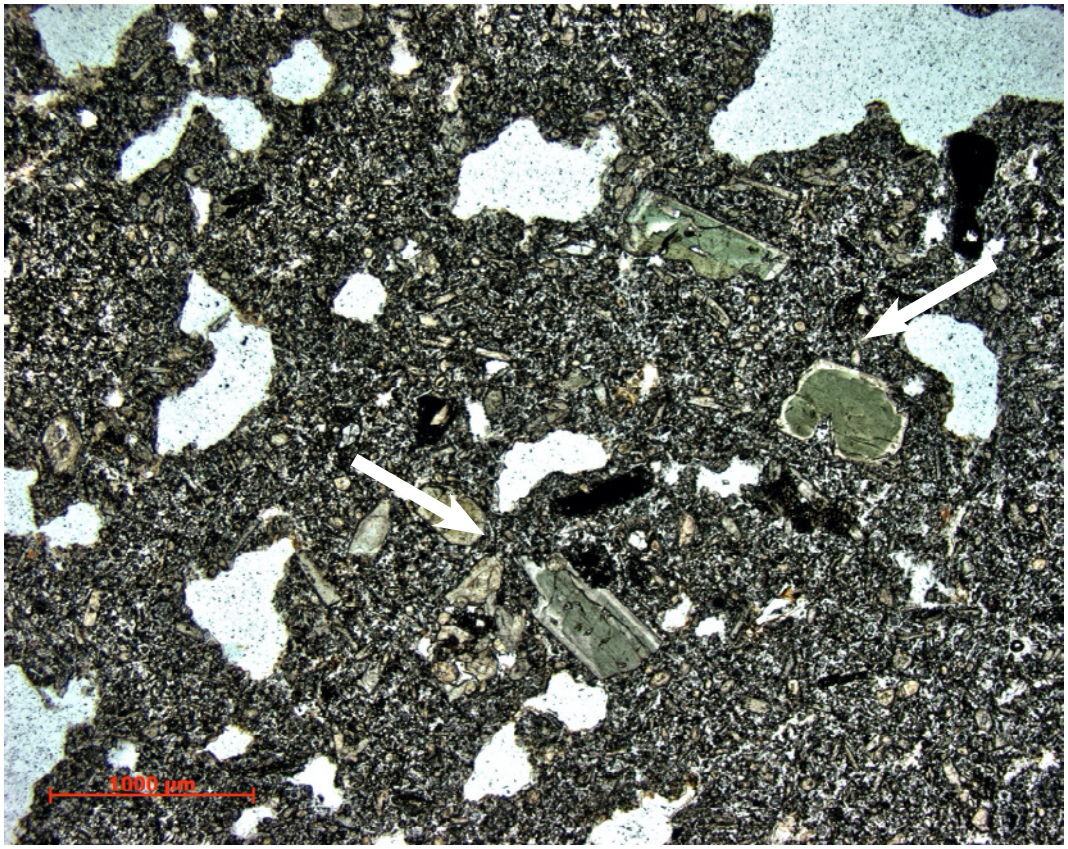


FIG. 50. **Microscopische beeld van een slijpplaatje in een Romeinse maalsteen in basaltlava (gepolariseerd doorvallend licht zonder gekruiste nicols).**

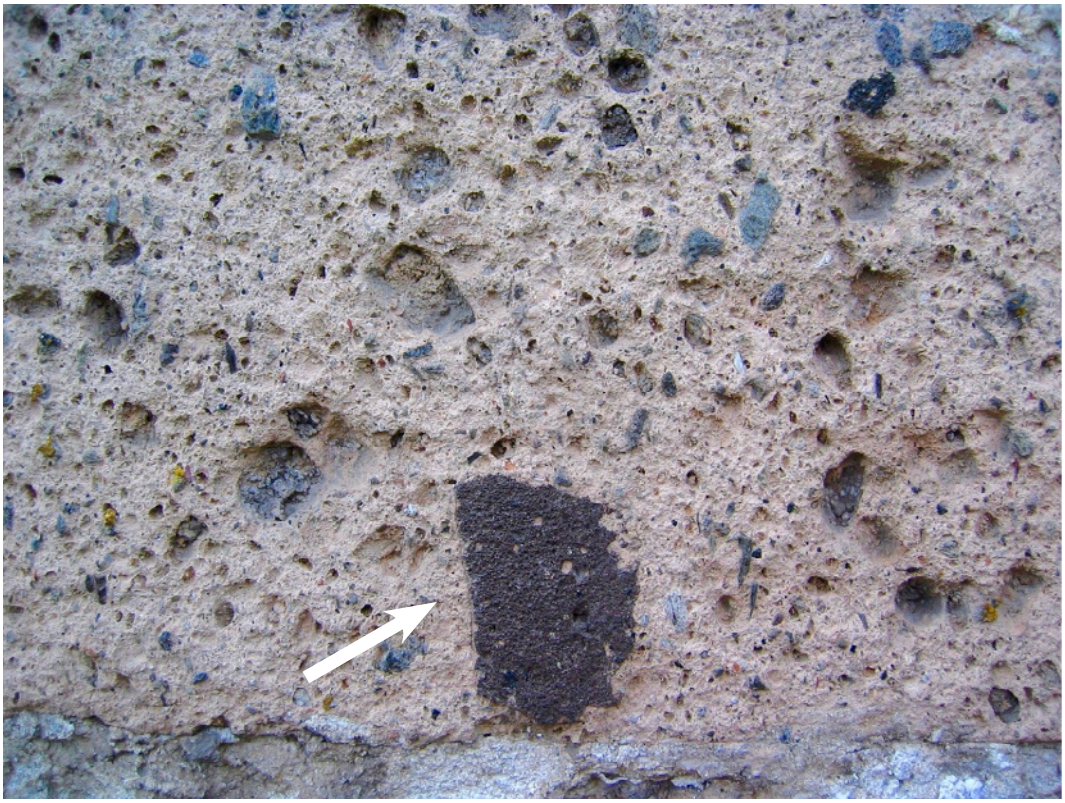


FIG. 51. **Vulkanische tufsteen uit de muur van het schip van de abdij van Postel.**

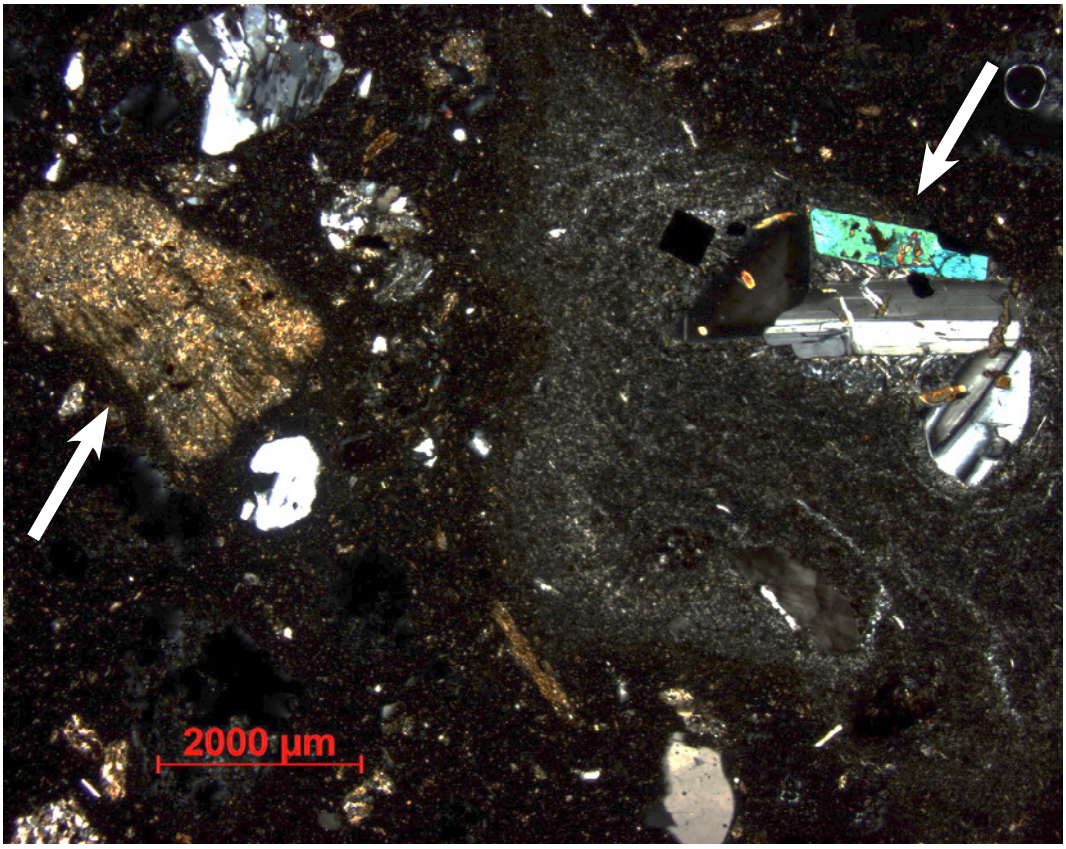


FIG. 52. **Microscopisch beeld van een slijpplaatje gemaakt in vulkanische tufsteen (doorvallend gepolariseerd licht met gekruiste nicols).**

Nog een weetje?

De exacte herkomstbepaling van Romeinse maalstenen uit basaltlava die gevonden werden in het noorden van het Romeinse Rijk (provincies *Gallia belgica* en *Germania Inferior*), was slechts mogelijk door een combinatie van petrografisch en geochemisch onderzoek (Hartoch et al, 2015; Reniere et al, 2016)

Vulkanische tufsteen gelijkt sterk op kalktuf (zie verder), zeker wanneer deze laatste vuil is of vol stof hangt. Een goede tip is zoeken naar fragmenten van basalt (zwart en poreus) en/of van andere gesteenten (zandsteen, schiefer) die in principe nooit voorkomen in kalktuf. Omgekeerd komen organische resten van mos en hogere planten, die karakteristiek zijn voor kalktuf, nooit voor in een vulkanische tufsteen.

De ondergrondse Romeinse ontginningsplaatsen van tufsteen ("Römerbergwerk") in de Vulkaaneifel in Meurin behoren sinds 2003 tot het UNESCO werelderfgoed. Na hun ontdekking in de jaren '50 en '60 van de vorige eeuw werden deze ondiepe ondergrondse groeven in 1998 door archeologen verder blootgelegd. Omdat men hier te maken had met de grootste Romeinse steengroeve ten noorden van de Alpen, besloot de Landkreis Mayen-Koblenz samen met het Vulkanpark, om deze bijzondere geosite mee op te nemen in het Geopark Vulkaneifel: sinds 2004 behoort het tot het netwerk van het wereldwijde UNESCO Global Geoparks (fig. 53). Tras is ook een synoniem voor de grijze of beige vulkanische tufsteen die in de Eifel tot hydraulische mortel wordt vermalen. Het gelijkt sterk op de Italiaanse pozzolana, een vulkanische as die ook al door de Romeinen werd ontgonnen in de buurt van Pozzuoli, Italië. Tras heeft sterke hydraulische eigenschappen en wanneer dit gemengd wordt met kalk en zand of met Portlandcement, is deze tras aangewezen voor waterbouwkundige constructies, zoals in Nederland, waar dit veel wordt gebruikt. Romeinse ontginningen van tras zijn nog steeds zichtbaar in het Duitse Brohldal in de Eifel (zie fig. 54), waar ze gekend zijn als "Trasshöhle".



FIG. 53. **Overzicht van de overkoepelde ondergrondse Romeinse ontginningen van tufsteen in Meurin, Eifel.**



FIG. 54. **Trasgrotten of Trasshöhle in het Brohldal in de Eifel, Duitsland.**



Detail van een blokje Nummulietenkalksteen met rijstkorrelachtige doorsneden van Nummulieten in het parement van de 16e eeuwse St.-Bartholomeuskerk van Geeraardsbergen.

HOOFDSTUK 11

NUMMULIETEN-KALKSTEEN

Nu willen we graag even stilstaan bij enkele “reuzen” uit de wereld van de microfossielen: de nummulieten. Deze nummulieten zijn de schijfvormige kalkskeletjes (sterk gelijkend op muntjes, vandaar hun naam) van grote foraminiferen (tot verschillende cm groot in diameter), een belangrijke groep van ééncellige micro-organismen die miljoenen jaren geleden in tropische zeeën leefden, ook bij ons. Voor geologen zijn deze fossielen belangrijk als gidsfossielen voor het Eoceen, het warme en vochtige tijdperk tussen 56 en 34 miljoen jaar geleden. Soms kwamen ze zo massaal voor, dat ze heuse kalkafzettingen vormden die evolueerden tot kalksteenbanken, de nummulietenkalksteen. Bekende monumenten die met dergelijke kalksteen zijn gebouwd, zijn o.a. de piramiden van Egypte (zie verder). Wij kennen nummulietenkalksteen echter ook uit Vlaanderen, meer bepaald de Ieperiaan kalksteen (ook Zandbergse steen genoemd), een belangrijke historische bouwsteen voor het zuiden van Oost-Vlaanderen. De naam “Ieperiaan” kalksteen verwijst naar het geologische tijdperk, het Ypresiaan of Ieperiaan (de oudste etage uit het Eoceen). Deze zandige kalksteen behoort tot het Lid van Moen uit de Formatie van Kortrijk. Het is de belangrijkste bouwsteen van de Boven-Dendervallei en de Vlaamse Ardennen. Wij hebben deze bijzondere steensoort (of een variant hiervan) ook aangetroffen in de Champagnestreek (Lutetiaankalksteen, in de buurt van Reims). In Limburg komen dergelijk Eoceen-afzettingen niet voor, maar er staan wél enkele geïmporteerde monumenten die met een dergelijke steen zijn gebouwd, meer bepaald gevels van oude huizen uit het stadsgedeelte (Antwerpen) van het Openluchtmuseum in Bokrijk (zie Dreesen et al, 2012: Geologische Wandelroute van Bokrijk, pp.61-63).
Foraminiferen bouwen hun kalkschaaltje op uit chemische stoffen die in het zeewater aanwezig zijn (calciumcarbonaten). Uit de chemische samenstelling van hun skelet kunnen we dan ook de samenstelling van het toenmalige zeewater afleiden ten tijde van hun leven. En als we het magnesiumgehalte van het kalkschaaltje meten, kunnen we zelfs de temperatuur van het zeewater afleiden. In het vroege Eoceen duiken nummulieten plotseling massaal op in onze streken. Dat betekent dat onze contreien toen één groot subtropisch “zwemparadijs” vormden. Door recent onderzoek van schaaltjes van nummulieten weten we dat de gemiddelde jaartemperatuur van het zeewater bij ons rond de 20 graden lag, tot zelfs 30 graden in de warmste periode van het Eoceen. Nummulieten lagen plat op de bodem in ondiep zeewater te baden in het zonlicht. Hun doorzichtige kalkskelet had veel poriën om zonlicht en zeewater binnen te laten. Ze waren immers ook een gastheer van kleine algen die via fotosynthese voedsel produceerden. Nummulieten leefden meerdere jaren. Hun skelet bestaat uit verschillende kamertjes: als ze groeiden, kwam er telkens een nieuw kamertje bij, naar schatting één per week. Net zoals de groeiringen van een boom vertellen die kamers hoe lang een nummuliet geleefd heeft. De kamers van de kalkschaal variëren in grootte, wat wijst op verschillende groeisnelheden die te maken hebben met de seizoenen: grote kamers in de zomer, kleine in de winter. Via de volgende weblink kunnen jullie een leuk filmpje zien (gemaakt door collega’s van de KULeuven, labo van paleontoloog Prof. Robert Speijer) van de microscopische opbouw van de schaal van één nummuliet, waarbij we inscannen op de kalkschaal: deze wordt als het ware, in overlangse doorsnede, laag per laag afgepeld, met behulp van een elektronenmicroscoop gefotografeerd en de opeenvolgende foto’s worden versneld weergegeven:
https://youtu.be/F9_-Eb34bsk

Fig. 55 is een detailopname van een stuk rosbruin gepatineerde bouwsteen bestaande uit nummulietenkalksteen (Ieperiaan kalksteen) in het parement van een kerk in Oost-Vlaanderen (Zandbergen-Geeraardsbergen), waar je heel duidelijk de spiraalvormig gerangschikte kamertjes kan zien van deze reuzenforaminifeer in de talrijke overlangse doorsneden. Let ook op de ellipsvormige dwarse doorsneden ervan die eerder op grote rijstkorrels lijken. De diameter van de grootste nummuliet (rechts op de foto) is ongeveer 2 cm in werkelijkheid. De roestbruine verkleuring is allicht te wijten aan de oxidatie van het aanwezige glauconiet (dit zijn de kleine groenzwarte zandkorrels op Fig.56)

Fig.56 is een microscopische opname (in doorvallend licht) van een slijpplaatje gemaakt in een fragment van een dergelijke nummulietenkalksteen. Je ziet hier dwarsdoorsneden van verschillende nummulieten ingebed in een zandige glauconiethoudende kalksteen (let op de kleine hoekige witte zandkorrels en de donkere afgeronde glauconietkorrels). De gele hars wijst op poriën (holten) in het gesteente. Je kan hier trouwens ook goed zien dat de wand van het schaaltje van de nummuliet uit radiaalvezelig calciet is opgebouwd.



FIG. 55. Detail van het oppervlak van een Nummulietenkalksteen als bouwsteen (Pollare, W-Vlaanderen).

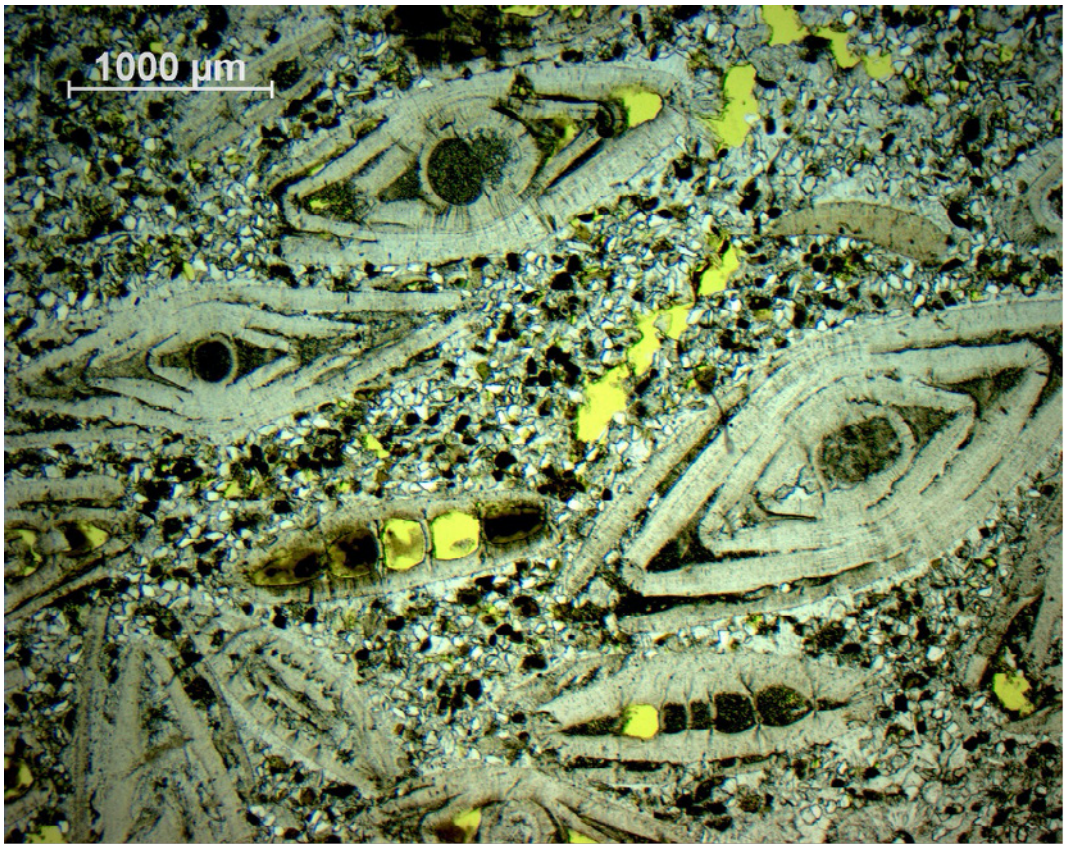


FIG. 56. Microscopische opname van een slijpplaatje in Nummulietenkalksteen.

Nog een weetje

We vinden analoge nummulietenkalksteen uit het Eoceen zelfs tot in het oude Egypte terug: de beroemde Cheops pyramide van Gizeh (fig.57) en de sfinx werden inderdaad met analoge nummulietenkalksteen gebouwd (de Mokattam kalksteen, https://www.cheops-pyramide.ch/khufu-pyramid/stone-quarries.html). De aanwezigheid van deze mariene fossielen werd zelfs gebruikt om het hardnekkige verhaal als zouden de pyramiden gebouwd zijn met een kunstmatige steen (een soort van beton gemaakt met geopolymeren) te ontkrachten. De "vader van de geschiedschrijving", de Griekse historicus Herodotos (5e eeuw NC) zou hun aanwezigheid in de stenen van de pyramiden, voor het eerst hebben vermeld.



FIG. 57. **De piramiden van Gizeh.** (http://earth.nautil.us/article/382/travels-in-geology-the-pyramids-of-giza)



Kleine met wit calciet opgevulde holten of geoden in zwart gepolijste crinoïdenkalksteen (stoepsteen).

HOOFDSTUK 12

PETIT GRANIT – BELGISCHE BLAUWE HARDSTEEN

Een vertouwde steen die velen bijna dagelijks tegenkomen in huis (keukenblad, vensterbladen, badkamer,...), rond het huis (stoep, trap,...), op straat (boordstenen, kasseien, standbeelden, ...) of op het kerkhof (grafstenen), is Belgische Blauwe Hardsteen of Petit Granit, in de volksmond vaak (maar foutief) "arduin" genoemd. Het is allicht de meest bekende en de meest gebruikte natuursteen van eigen bodem en zelfs van daarbuiten (denken we bijvoorbeeld aan Nederland). Spijtig genoeg ondervindt hij de laatste 2 decennia stevige concurrentie van veel goedkopere (maar zeker niet altijd evenwaardige of even mooie) Aziatische producten, zoals de Chinese of Vietnamese blauwe hardsteen. Onze Belgische Blauwe Hardsteen is inmiddels een beschermd merk geworden in Wallonië (© Pierre Bleue de Belgique). Hij is in het buitenland gekend onder andere namen, zoals "Belgian Black Fossil" (Engeland) of Piccolo Graniti (Italië). In Nederland noemen ze hem trouwens ook nog "stoepsteen" of "stinksteen", deze laatste benaming als verwijzing naar de geur van rotte eieren die vrijkomt als je er met een hamer op slaat. Er zijn heel wat ludieke verklaringen voor de benaming "Petit Granit" maar de meest plausibele is deze die we vinden in de Petit Larousse: de naam zou overgenomen zijn van het Italiaanse woord "granito" of "korrelig", voor een steen die gebruikt wordt in decoratie en die een textuur heeft gelijkend op die van graniet.

De steen is bijna uitsluitend samengesteld uit kleine fragmenten van fossielen (bioklasten), hoofdzakelijk afkomstig van crinoïden of zeelelies. Deze stekelhuidigen zijn van dezelfde familie als zee-egels, zeesterren en zeekomkommers. Crinoïden bestaan uit een voet, een stengel en een kelk met vangarmen, en daardoor sterk gelijkend op een plant. Crinoïden leefden vaak in "weiden" samen op de ondiepe zeebodem. Al de onderdelen van de crinoïde zijn opgebouwd uit kleine cilindertjes, die bestaan uit kristallen van calciet. Na hun dood vallen deze cilindertjes met duizenden op de zeebodem en worden ze door zeestromingen en golfwerking op grootte gesorteerd en over de omgeving verspreid. Dit fossielrijke kalkgruis stapelt zich op en evolueert dan onder invloed van de enorme druk van duizenden meters dikke bovenliggende sedimenten tot een harde crinoïdenkalksteen. Deze kolossale begraving verklaart de hoge dichtheid (amper enige porositeit!) en hardheid van de steen. Zijn donkere kleur (variërend van donkergrijs tot zwart, vooral goed zichtbaar na het polijsten van de steen) is te danken aan de aanwezigheid van heel fijn verdeeld organisch materiaal, dat door inkoling tot koolstof is geëvolueerd. Het is ook dit pigment dat verantwoordelijk is voor de waarneming van een grijsblauwe of blauwgrijze tint, hetgeen heeft geleid tot de benaming "blauwe steen".



FIG. 58: **Koraalkolonie (*Michelinia favosa*) in ruwe Petit Granit.**

Natuurlijk leefden er ook nog andere, kleinere en grotere, organismen samen met de zeelelies in zee en op de zeebodem zoals mosdiertjes (bryozoa), brachiopoden, foraminiferen en allerhande kleine of grote solitaire of kolonievormende koralen. Vooral deze laatste zijn opvallend en herkennen we als witte honingraatachtige structuren (*Michelinia favosa*; zie Fig. 58 en 59) .

Petit Granit stamt uit het Onder-Carboon en is van Tournaisiaan ouderdom, zo'n 350 miljoen jaar oud. De naam "Tournaisiaan" verwijst naar de stad Doornik (Tournai) en haar directe omgeving (Scheldebekken) waar er zeker al sinds de 15e eeuw steengroeven zijn gekend. Hij werd ook aanvankelijk Pierre de Soignies (Zinnik) of Pierre d'Écaussinnes genoemd, verwijzend naar de historische ontginningsplaatsen. Interessant is de kleurverandering van de steen, die evolueert van donkergrijs naar bleker grijs door blootstelling aan de lucht (zijn patina) én naar zwart bij het schuren (bijvoorbeeld door het veelvuldig belopen met schoenen) of polijsten ervan (vergelijk Fig. 58 en 59).

Fig. 60 toont een detailopname (macroscopische opname of door een handloep gezien) van het verweerde oppervlak van Petit Granit: we herkennen hier duidelijk cirkelvormige dwarsdoorsneden met een centraal kanaal (gelijkend op een gegroefde molensteen, zie pijl) naast lengtedoorsneden (langwerpige platte doorsneden) van deze cilindertjes (stengelleden) (in het centraal gedeelte van de foto). Bovenaan in de foto herkennen we ook een klein fragment van een mosdiertje (Bryozoa). De werkelijke grootte van de mooie ronde dwarsdoorsnede is ongeveer 0,5 cm.

Wanneer we onder de microscoop (doorvallend licht) naar een slijpplaatje kijken van een stukje Petit Granit (Fig. 61) dan herkennen we de talrijke brokstukken van fossielen: stengellidjes van crinoïden, naast fragmenten van takvormige Bryozoa met gaatjes (mosdiertjes) (centraal in de foto, zie pijl) en fragmenten van schelpen van brachiopoden (helemaal rechts op de foto, zie pijl) die allemaal sterk op elkaar zijn gepakt. De witte zones in het slijpplaatje zijn het heldere calcietcement (ook spariet genoemd).



FIG. 59: **Koraalkonie (*Michelinia favosa*) in door schoenen gladgeschuurde of gepolijste Petit Granit (traptrede).**



FIG. 60: **Macroscopisch detail van het verweerde oppervlak van Petit Granit met diverse doorsneden van stengellidjes van crinoïden.**

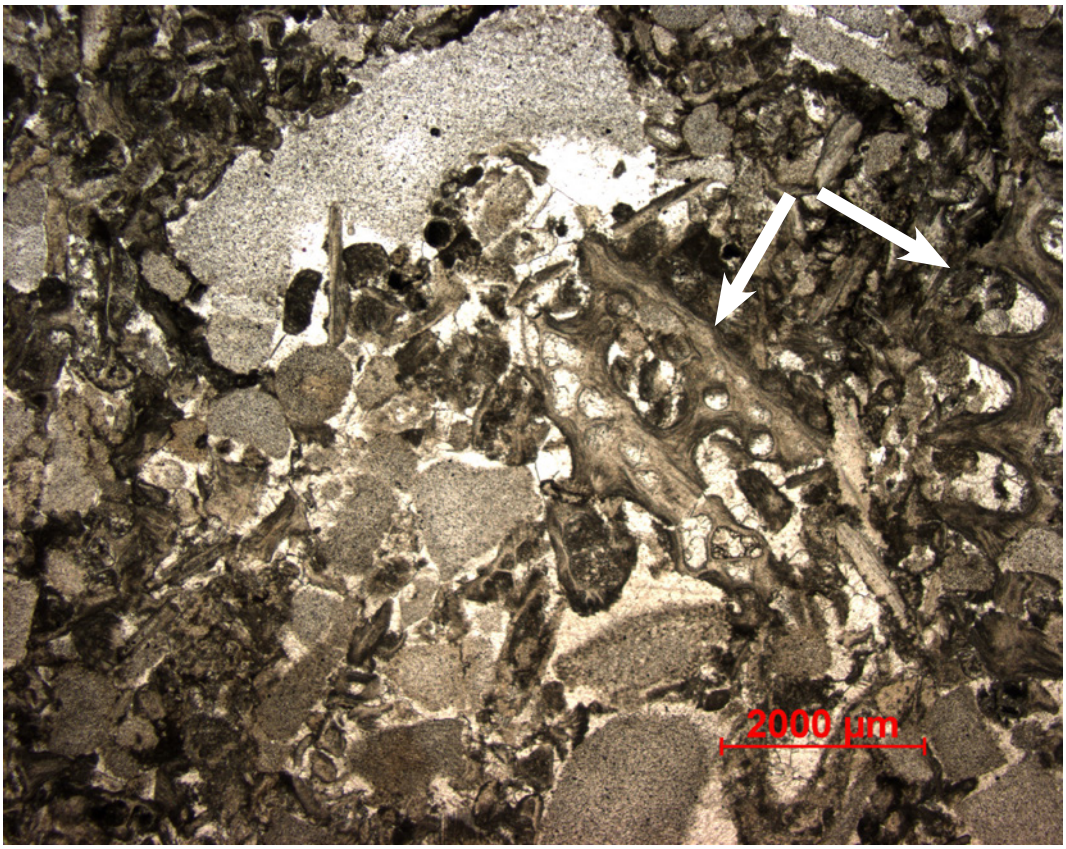


FIG. 61. **Microscopische opname van een slijplaatje in Petit Granit.**

Fig. 62 is een volgende microscopische opname (slijpplaatje) van Petit Granit, waar je nog andere fenomenen kan waarnemen: kalksteen wordt vaak gedolomitiseerd, d.w.z. het mineraal calciet ($CaCO_3$) waaruit de kalksteen bestaat wordt geleidelijk vervangen door het mineraal dolomiet ($CaMg(CO_3)_2$). Dit laatste mineraal herkennen we aan de typische kleine rhomboëdertjes. Ook opvallend is het feit dat de fossielfragmenten door de hoge druk van de bovenliggende lagen tijdens de gesteentevorming zo sterk op elkaar zijn gedrukt dat ze zelfs in elkaar zijn gedrongen. Op hun contact is een zgn. zigzagvormige styloliet ontstaan (zie pijl).

Fig. 63 ten slotte is een derde microscopische opname van een slijpplaatje, waarbij we tijdens de preparatie ervan een speciale selectieve kleurstof hebben gebruikt (alizarinerood) waardoor al het calciet rood (roze) wordt gekleurd en alle dolomiet ongekleurd of wit blijft. Zo herken je alle microscopische plaatsen in het slijpplaatje waar de kalksteen is gedolomitiseerd (zie pijl)... Je herkent bovendien ook goed het calcietcement (de blekere lichtroze zones) dat zich bij voorkeur of zelfs exclusief rond fragmenten van crinoïden heeft gevormd (dit fenomeen wordt ook syntaxiaal cement genoemd).

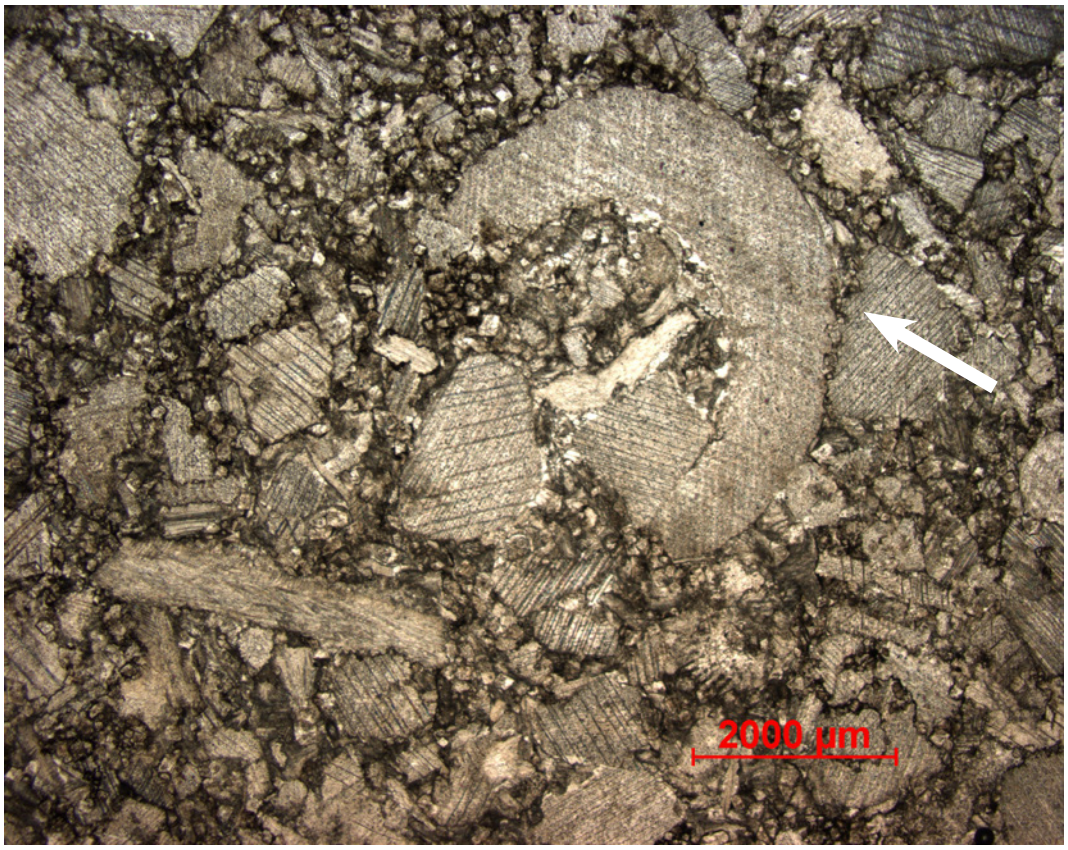


FIG. 62: **Microscopische opname van een slijpplaatje van Petit Granit: let op de vele sutuurcontacten.**

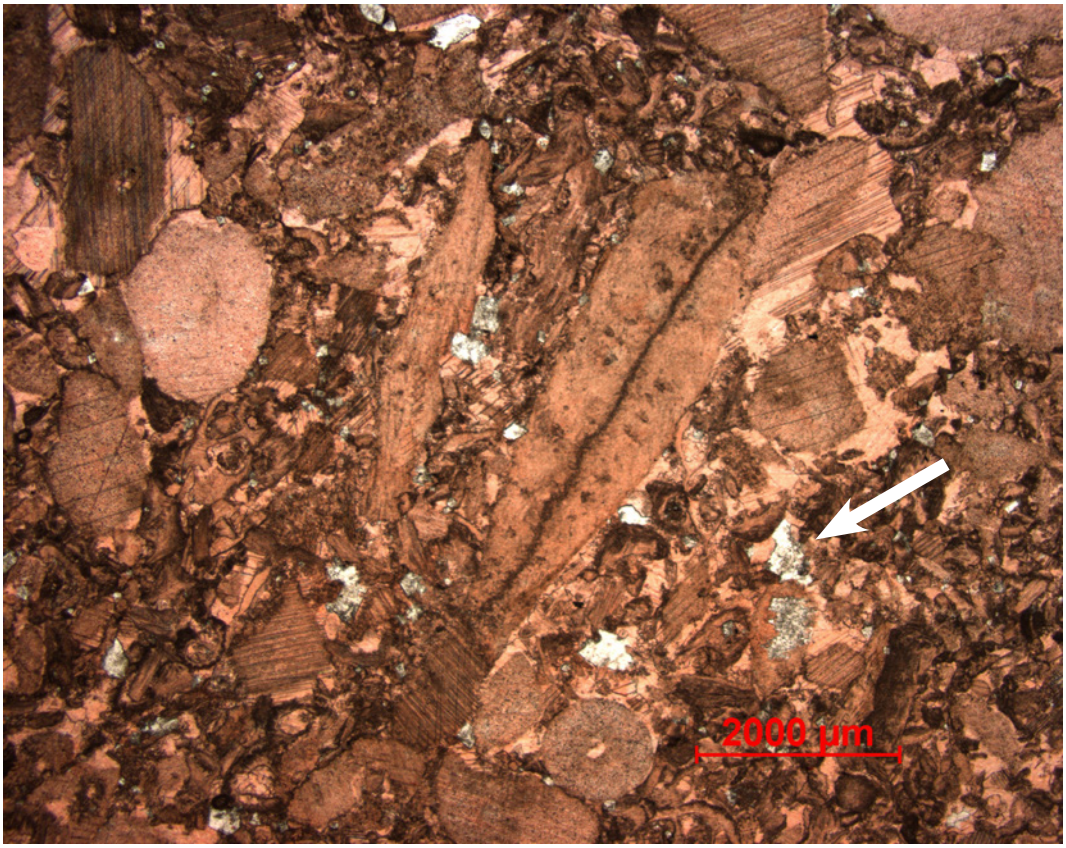


FIG. 63. **Micrscopische opname van een selectief gekleurd slijpplaatje van Petit Granit.**

Nog een weetje?

De Petit Granit of Belgische blauwe hardsteen is zonder twijfel de meest bekende Belgische decoratieve steen. Door de uitvinding van portlandcement rond 1850 (waarvoor men veel zuivere kalksteen nodig had) en de ontplooiing van het spoorwegnetwerk (waardoor het transport en de verspreiding binnen België werden gegarandeerd) verdween allicht het gebruik van een andere populaire blauwe hardsteen, de Maaskalksteen (zie verder), ten voordele van de Petit Granit. Deze laatste was trouwens veel homogener van kwaliteit dan de Maaskalksteen.

De populaire naam “arduin” voor Petit Granit is trouwens foutief omdat deze historische term initieel sloeg op een manier van behouwing van zowel ijzerzandsteen als witsteen (Ledesteen of Gobertangesteen). Petit Granit kreeg in 2015 ook de status van erfgoedsteen binnen Europa omwille van zijn aanwezigheid alom en waarde in ontelbare constructies, en omwille van zijn vele artistieke toepassingen (Pereira et al, 2015).



Detailbeeld van een bleekgrijs gepatineerde oölitische kalksteen (Vinalmont) met ooïden, intraklasten, solitaire koraaltjes en brachiopoden. Ondermuur (plint) en raamomlijstingen van het gerechtsgebouw in Tongeren.

HOOFDSTUK 13

KALKSTEEN VAN VINALMONT

Nu jullie Belgische blauwe hardsteen hebben ontdekt, is het tijd om even stil te staan bij een andere vertrouwde steen in ons straatbeeld, een andere populaire blauwe hardsteen, de Maaskalksteen: deze benaming groepeert een ganse reeks van blauwe kalksteenvarianten met een zeer bleke verweringskleur of patina (zeker vergeleken met de grijsgrauwe patina van de Petit Granit). Recent werd door een groep van Franstalige collega's en mijzelf een studie gemaakt van de diversiteit en van het historisch gebruik van deze groep kalkstenen. Hierbij willen we de benaming "Maaskalksteen" voortaan beperken tot de kalksteensoorten behorende tot de Formatie van Lives. Deze zijn van Midden-Viseaan ouderdom en afkomstig uit de Maasvallei, bij voorkeur uit de onmiddellijke buurt van de stad Namen (Dreesen et al, 2018). De federatie "Pierres et Marbres de Wallonie" heeft in het verleden echter nog extra blauwe hardsteensoorten onder dezelfde noemer ("Maaskalksteen") geplaatst, waaronder de kalksteen van Longpré en de kalksteen van Vinalmont, waarover we het in deze bijdrage willen hebben. De kalksteen van Vinalmont is in tegenstelling tot alle andere varianten van de Maaskalksteen, oölitisch van textuur, d.w.z. hij is opgebouwd uit minuscule kalkbolletjes die we ook al in vorige gevallenstudies (1, 4, 6, 8) hebben gezien. Deze kalksteensoort is stratigrafisch gezien ook jonger dan de Petit Granit (van Viseaan ouderdom, Petit Granit is van Tournaisiaan ouderdom) en hij wordt nog steeds in open steengroeven (dagbouw) ontgonnen in de buurt van Moha, ten noorden van Hoei, in de Maasvallei. Hij verschijnt als bouwsteen bij ons pas vanaf de 17e-18e eeuw, in tegenstelling tot de stromatolitische, oncolitische en koraalhoudende kalksteenvarianten van de Maaskalksteen en de zeer fijnkorrelige zwarte kalksteen (of het beroemde zwart marmer van Namen), die respectievelijk door de Middeleeuwers en Romeinen voor het eerst zijn gebruikt.
Op enkele zeldzame uitzonderingen na is de Maaskalksteen (en bij uitbreiding ook de Vinalmont kalksteen) beperkt tot het Maasbekken. De typische blauwe hardsteen voor het Scheldebekken is immers de Doornikse kalksteen.

Een van de voornaamste karakteristieken van de kalksteen van Vinalmont is zijn opvallende oölitische textuur die zelfs met het blote oog (tenminste als je er voldoende kort bij staat) en zeker met de handloep vrij gemakkelijk te herkennen is (zie Fig. 64). Op dit beeld zie je een opeenstapeling van vrij goed getrieerde, kleine ronde en afgeplatte bleekgrijze kalkbolletjes in een donkergrijze grondmassa. De maximale grootte van deze bolletjes is ca. 2-4 mm, gemiddeld zijn ze iets kleiner dan 1 mm. Een ander typisch macroscopisch kenmerk van deze steen is het voorkomen van een schuine en/of gekruiste gelaagdheid, die meestal goed opvalt in het straatbeeld (zie Fig. 65 en 66).

Fig. 65 toont een zgn. "lomperik"[3] gemaakt in Vinalmont kalksteen met een duidelijke schuine gelaagdheid (Maastrichterstaat, 96, Hasselt). Op Fig.66 is dan weer een hoekketting van het stedelijk museum Stadsmus in Hasselt te zien met verschillende blokken Vinalmont kalksteen waarin we ook kriskras gelaagdheid opmerken (vooral de hoogste kalksteenblokken in de hoekketting zijn wat dat betreft sprekend). Deze twee aspecten, het voorkomen van oölieten

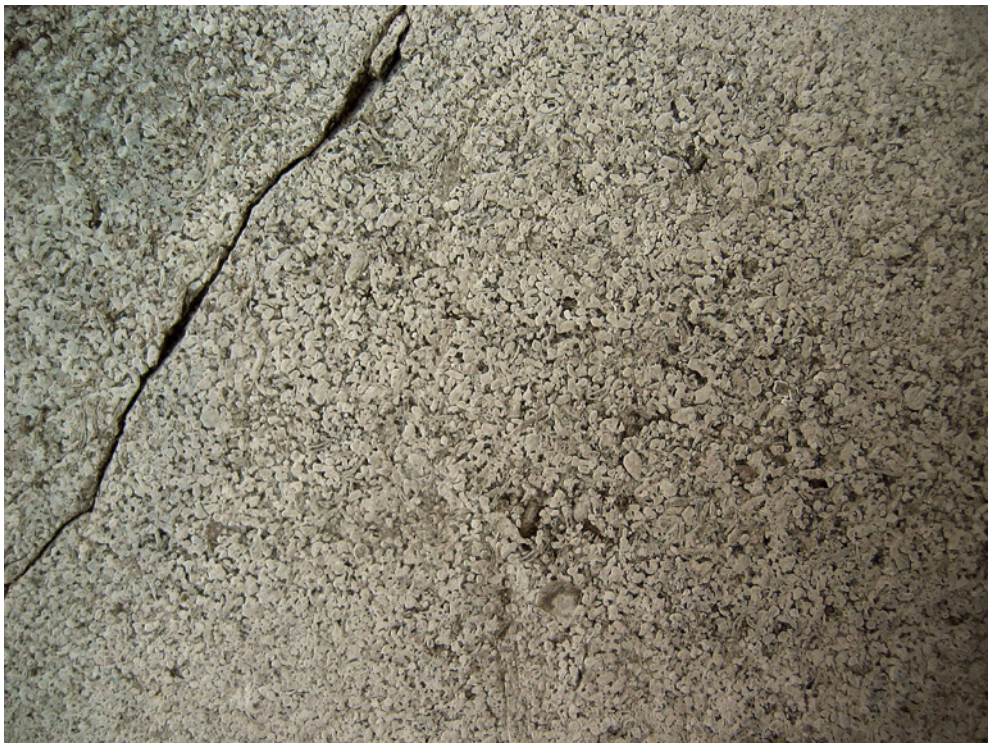


FIG. 64: **Detail van het wit gepatineerde oppervlak van oölitische Vinalmont kalksteen.**



FIG. 65 **(links) Lomperik in Vinalmont kalksteen met schuine gelaagdheid.**
FIG. 66 **(rechts) Hoekkettingen van blokken Vinalmont kalksteen met schuine en gekruiste gelaagdheden.**

en de aanwezigheid van een schuine/gekruiste gelaagdheid, wijzen op afzettingen in een ondiep en turbulent marien milieu van een tropische zee, zoals de recente zandbanken opgebouwd uit kalkbolletjes afgezet door sterke zeestromingen in de ondiepe waters rond de eilanden van de Bahama's. Hun stranden bestaan trouwens allemaal uit spierwit "zand" opgebouwd uit dergelijke oöïden. Voor alle duidelijkheid: een oöïde is het individuele kalkbolletje, een oöliet is het gesteente dat hieruit is opgebouwd (al worden de twee termen wel vaak door elkaar gebruikt).

Waaruit oöïden bestaan kunnen we pas duidelijk zien wanneer we een slijpplaatje maken van de oölitische kalksteen en dit onder een optische microscoop met doorvallend licht gaan bekijken. Zo toont Fig. 67 (staal genomen in de groeve van Moha) een eerste microscopische opname van een slijpplaatje gemaakt van een stukje Vinalmont kalksteen: op dit beeld zijn de karakteristieke kalkbolletjes in detail te zien en merken we op dat ze allemaal micritisch zijn, d.w.z. opgebouwd uit zeer fijnkorrelig calciet (donker). De concentrische opbouw is vaak moeilijk te zien (iets beter bij sterkere vergroting) en deze is soms beperkt tot één dun zwart micritisch kalklaagje. Wat wel heel goed zichtbaar is, is de aard van de kern, of het binnenste van de oöïden: deze kernen bestaan hoofdzakelijk uit stukjes fossiel (bioklasten) en in ons geval zijn dat vrijwel allemaal kalkschaaltjes (vaak ook volledige) van foraminiferen. Determinatie van deze foraminiferen wordt door geologen (micropaleontologen) vaak gebruikt om de geologische ouderdom van het gesteente te bepalen, vandaar dat dit ook een uitstekende manier is om de authenticiteit en de geologische herkomst van bepaalde archeologische objecten (bijvoorbeeld van Romeinse beelden of altaren in kalksteen) te achterhalen. Het slijpplaatje toont ook dat er niet alleen kalkbolletjes voorkomen maar ook enkele grotere ronde objecten (bovenaan in het midden) die samengesteld zijn uit identiek materiaal als de oölitische kalksteen. We noemen deze componenten "intraklasten" (fragmenten of klasten van licht verhard kalkrijk sediment, samengesteld uit oöïden, dus in feite van een oölitische kalksteen, en afkomstig uit hetzelfde afzettingsmilieu (vandaar het voorvoegsel "intra").

Fig. 68 is een microscopische opname van een slijpplaatje gemaakt van een ander, ietwat heterogener gedeelte van de Vinalmont kalksteen (ook afkomstig uit de groeve van Moha). Hierin bemerk je behalve oöïden en kleine fossielen

(foraminiferen en slakjes) ook nog andere langwerpige en wat grotere intraklasten (fragmenten van kalkrijk sediment met oöïden en fossielen). Vergelijk dit laatste microscopische beeld nu eens met de allereerste macroscopische opname van de steen (Fig. 64), waarop je naast "ronde" ook veel langwerpige of afgeplatte "bolletjes" ziet: deze laatste zijn de intraklasten. Noteer ook dat alles wat "zwart" of donker is in het slijpplaatje, bleekgrijs of aswit is in de steen en dat alles wat doorzichtig is (wit) in het slijpplaatje (dit is in feite het heldere en transparante calcietcement of spariet) donker is in de steen (hoger "grondmassa" genoemd)!

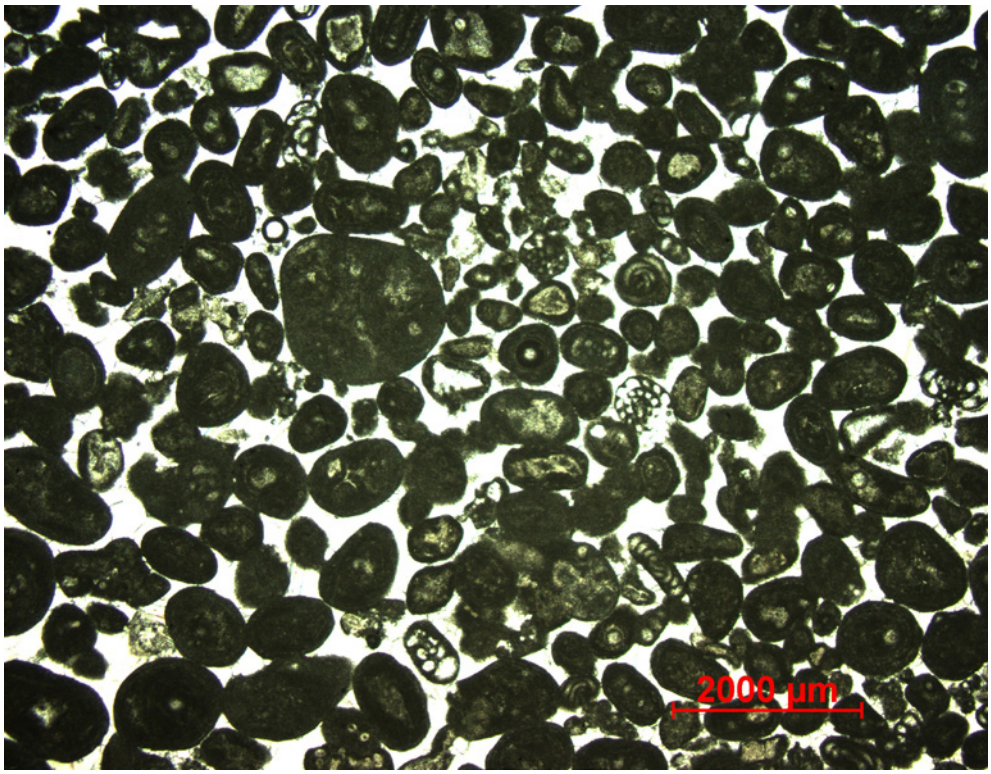


FIG. 67. **Microscopische opname van een slijpplaatje van Vinalmont kalksteen**

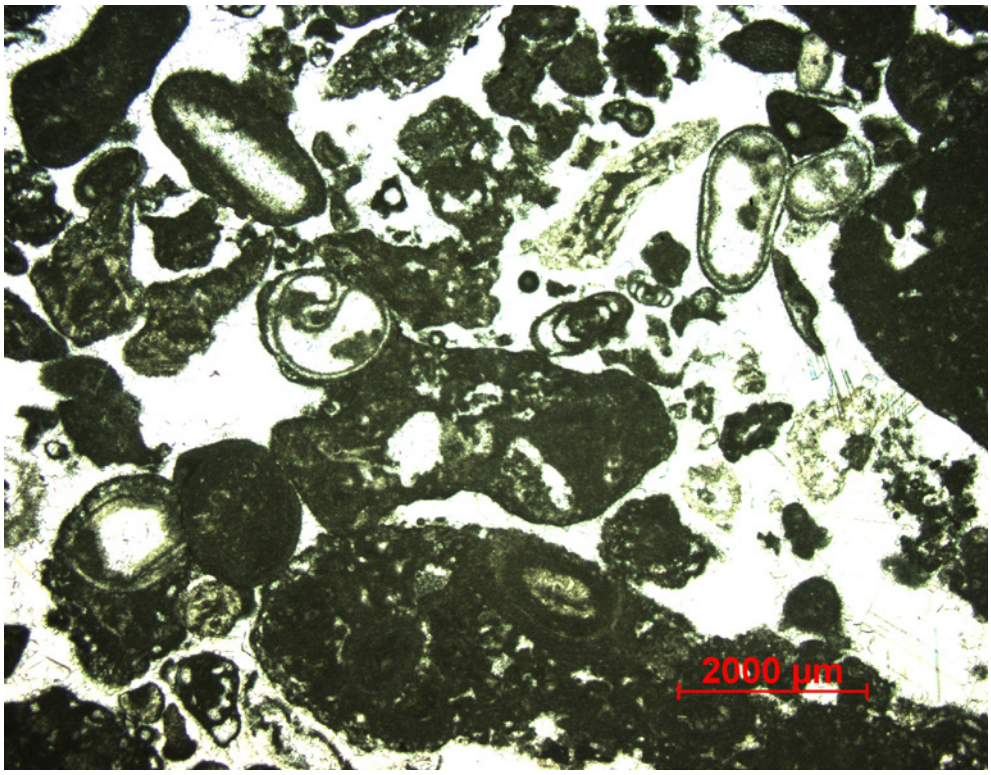


FIG. 68. **Microscopische opname van een slijpplaatje van Vinalmont kalksteen, met opvallend veel intraklasten.**

Nog een weetje?

De opvallende kriskras gelaagdheid in de Vinaalmontkalksteen lijkt op het eerste gezicht op zaagsporen (Fig.69). Dit opvallende patroon is echter niet het resultaat van mechanisch doorzagen van de steen, maar wel een structuur eigen aan het sediment: deze wordt veroorzaakt door de migratie van stroomribbels ten gevolge van stromingen van water of wind, met wisselende richtingen, zoals eb en vloed. Wanneer deze afzettingen symmetrisch zijn, dan noemt men dit ook een “visgraatpatroon” of “herringbone cross-stratification” (in het Engels).

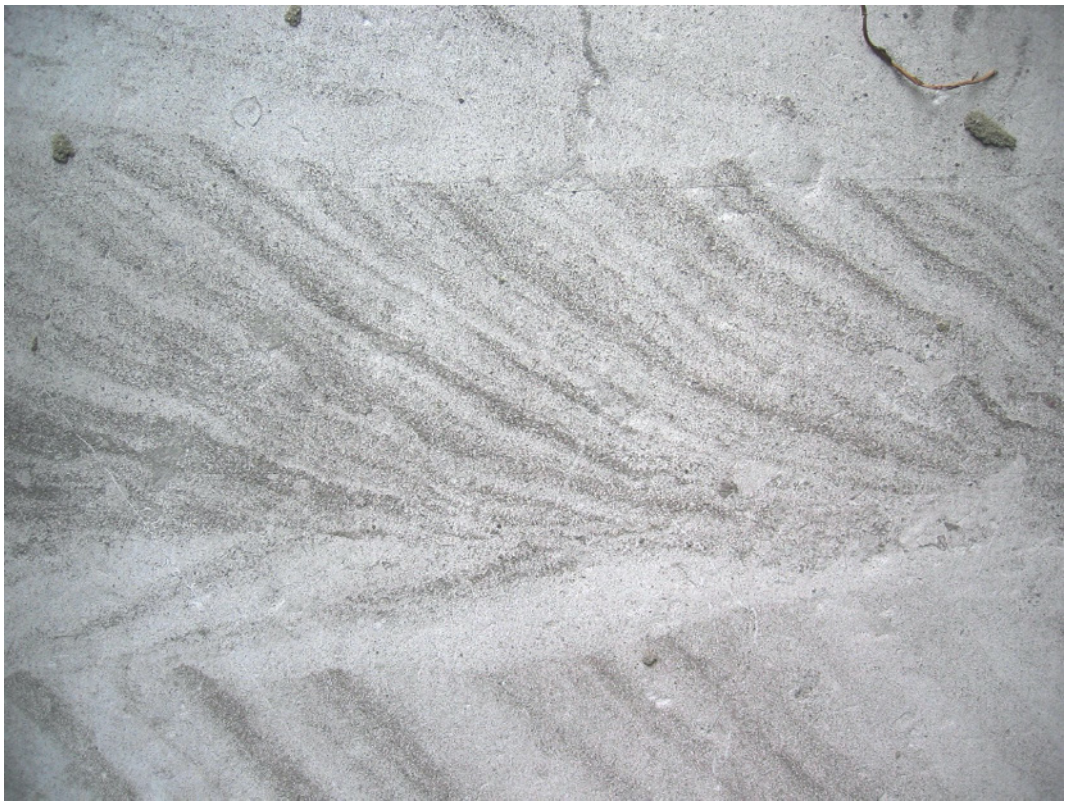


FIG. 69. **Kriskras gelaagdheid in oölitische Vinalmont kalksteen, plint van het Oud Gasthuis, Tongeren**



Actieve, met mos begroeide kalktufafzetting in en aan de voet van de Dreimühlen waterval (geklasseerd natuurmonument) nabij Nohn, Eifel, Duitsland.

HOOFDSTUK 14

KALKTUF – MOERASKALK

Een regelmatig voorkomend sedimentair gesteente dat zich nu nog altijd aan de oppervlakte van Zuid-Limburg vormt en dat als een échte inheemse bouwsteen kan beschouwd worden, is kalktuf. Andere benamingen hiervoor zijn bronnenkalk of moeraskalk. In het Engels wordt het "calcareous tufa", in het Frans "tuf calcaire" genoemd. Het is een biochemisch sedimentair gesteente (kalksteen - kalkrijke neerslag) en is witbeige tot bleek lichtbruin (koffie-met-melk) van kleur. Het is zeer poreus (sponsachtige textuur) en hierdoor vrij zacht maar het verhardt vrij snel door carbonatatie na blootstelling aan de (vochtige) lucht. Kalktuf is een kalkafzetting die zich vormt in zoetwater tengevolge van het neerslaan (precipitatie) van calciumcarbonaat of calciet ($CaCO_3$) uit oververzadigd *koud* rivier- en bronwater. Kalktuf wordt vaak (maar ten onrechte) als synoniem gebruikt van travertijn. Deze laatste is een gelijkaardige kalkafzetting die zich echter vormt in *warm* water (zoals warmwaterbronnen). Meestal is travertijn ook meer kristallijn en harder dan kalktuf. We vinden travertijn vaak terug als een commerciële decoratieve steen, bijvoorbeeld in de vorm van een tafelblad, toonblad of wandbekleding in en buiten winkelpanden, uitzonderlijk ook als bekleding van grote ruimten (Centraal Station in Brussel).

Kalktuf vinden we in Limburg voornamelijk als bouwsteen (kleine gezaagde blokjes) in diverse historische monumenten in en rond de Romeinse stad Tongeren. Voor de Romeinen was Rome een rolmodel. Ze waren verzot op travertijn: samen met vulkanische tufsteen en wit marmer is travertijn het meest populaire bouwmateriaal in Rome. Ze vonden hier bij ons een mooi equivalent of vervanger van travertijn, namelijk kalktuf. Een goed voorbeeld van het gebruik van kalktuf kan je trouwens zien in het volledig gerenoveerde Romeinse badhuis (thermen) van Heerlen (https://www.thermenmuseum.nl/overig/roman-bathing-in-coriovallum/ - je kan via deze webstek bovendien een gratis boek downloaden over het onderzoek en de restauratie van het badhuis én een uitgebreid rapport over de gebruikte natuursteen, waaronder kalktuf)

In Vlaanderen komen kalktufafzettingen voor onder zeer diverse vormen: kwelzones met kalkafzettingen op takjes, schors en bladeren, naast bronbeekjes met poreuze kalktufbrokken of sneller stromende watervalletjes met een typische afwisseling van verticale wanden en horizontale kommetjes in harde tufsteen. De tufvorming begint zelden aan het bronhoofd zelf maar meestal enkele tientallen tot honderden meters stroomafwaarts hiervan. Inschatten of het actieve of fossiele kalktufformaties betreft is niet zo vanzelfsprekend, maar de aanwezigheid van een dun kalklaagje op snel verteerbaar (wegrottend) organisch materiaal (bladeren, twijgjes) kan als een indicator voor actieve neerslagvorming gehanteerd worden. Kalktuf is dus een uiterst jonge geologische afzetting (Quartair en omzeggens allemaal Holoceen van ouderdom). De oudste afzettingen zijn "amper" enkele duizenden jaren oud, de jongste slechts enkele tientallen jaren. Actieve kalkafzettingen zijn vaak grijsblauw gekleurd door de aanwezigheid van blauwwieren. Deze neerslag gebeurt ten gevolge van het ontsnappen van CO_2 (gas) uit kalkrijk (hard) water bij het naar buiten stromen, zodat het in het water aanwezige bicarbonaat (HCO_{3^-}) niet meer oplosbaar is en neerslaat als carbonaat.
Organismen spelen hierbij trouwens een belangrijke rol. Bij een actieve rol veroorzaakt fotosynthese mee de neerslag, terwijl bij een passievere rol losliggende objecten (slakkenhuisjes, zandkorrels, twijgjes,...) bedekt worden met calciet en langzaam in de kalkafzetting worden ingesloten. Het vegetatieaspect van kalktufbronnen wordt in hoofdzaak bepaald door mossen. Zij spelen vooral een rol als substraat voor kiezelwieren (diatomeeën) en cyanobacteriën. De groeisnelheid van deze calcietkorsten kan enkele mm per jaar bedragen. Sommige kalktufafzettingen worden soms wel metersdik. Voorbeelden hiervan zijn gekend uit de Maasvallei (bij Royseux). Het voorkomen van kalktuf in de natuur is direct gebonden aan het onderliggende geologisch substraat: het grondwater moet uiteraard eerst aangerijkt worden met kalk uit kalkrijke geologische lagen, vervolgens kan er kwel ontstaan waar grondwater aan de oppervlakte komt op het contact met een ondoordringbare laag, zoals klei of kleiig zand. In Limburg is de bron van kalk bijvoorbeeld te zoeken in het Lid van Alden Biezen (zeer rijk aan fossiele schelpjes). Kalkrijke kwellen ontspringen in Zuid Limburg op het contact met onderliggende kleilagen uit het Lid van Henis (Formatie van Borgloon, Oligoceen). Zo komen mooie kalktufafzettingen voor in verschillende bronbeekjes in de omgeving van Borgloon.
In de Voerstreek komt de kalk uit het krijt van de Formatie van Gulpen (Maastrichtiaan). De kalkrijke bronbeekjes met vorming van kalktuf ontspringen op het contact met het onderliggende kleiige zand van de Formatie van Vaals (Campaniaan). Wanneer je in de Voerstreek fietst, kan je kalktufwatervalletjes bewonderen in de buurt van Sint-Martens-Voeren (Geologische fietsroute Voerstreek-Mergelland 2013, pagina 29-30). Indrukwekkende actieve kalktufvorming is o.a. ook nog te zien in de Gaume (hier zijn deze kalktufafzettingen gekend als "crons" (imposante kegelvormige kalktufafzettingen in de buurt van watervalletjes op steil aflopende rotsformaties) en in de omgeving van Treignes of

Vierves-sur-Viroin (kalktuf-fzettingen en kleine dammetjes of terrassen op de bodem van zijriviertjes van de Viroin). Maar ook in de Condroz, meer bepaald op de bodem van de Hoyoux, tussen Régissa en de Pont-de-Bonne, kan je nog steeds prachtige actieve kalktufafzettingen bewonderen.

Wil je meer weten over kalktufvorming in Limburg, dan moet je zeker het volgende artikel lezen: Dreesen, R. & Janssens, A. Voorkomen en gebruik van kalktuf in Zuid-Limburg. LIkona Jaarboek 1997, 7, pp. 10-21.

Fig. 70 toont een blokje beige kalktuf (ongeveer 10 x 10 cm) uit een 2e-3e eeuwse kelder van een Romeins burgerhuis dat werd blootgelegd tijdens opgravingen in de Vermeulenstraat in Tongeren. De kelder is ondertussen helaas vernietigd om plaats te ruimen voor een ondergrondse parking. Je herkent hierin goed de karakteristieke alveolaire of sponsachtige structuur met talrijke onregelmatige of buisvormige holten die verwijzen naar de inmiddels weggerotte organische bestanddelen.

Figuur 71a-b toont details van een cron-achtige kalktufafzetting uit de provincie Luxemburg (nabij Montauban, Buzenol): je ziet hier duidelijk de continu doorgaande “verstening” door opeenvolgende kalkafzettingen op levende mossen waarbij deze volledig door calcietkorsten worden ingekapseld en er vaak gladde, slijmerige bloemkoolachtige oppervlakken ontstaan (fig. 71b).



FIG. 70. **Blokje kalktuf uit een Romeinse kelder, Tongeren.**

Fig. 72 is een microscopische opname (in doorvallend licht) van een slijpplaatje gemaakt van een stukje recente kalktufafzetting uit Zammelen (nabij Kortessem, in de Mombeekvallei) waarin je nog een “spookbeeld” ziet van een stukje mos (let op de mooie vertakkingen en de aanwezigheid van nog een stukje levend mos!) dat inmiddels is verdwenen en helemaal bedekt wordt door een korst van calcietkristallen (langwerpige calcietkristallen - zie helemaal bovenaan in de foto). Door het wegrotten van het ingekapselde organische materiaal ontstaan de karakteristieke buisvormige holten in de kalktuf.



FIG. 71a. **Recente cron-achtige kalktufafzetting met mosbegroeiing (links) met in Fig. 71b een detail ervan met bloemkoolachtige gladde structuren (rechts).**

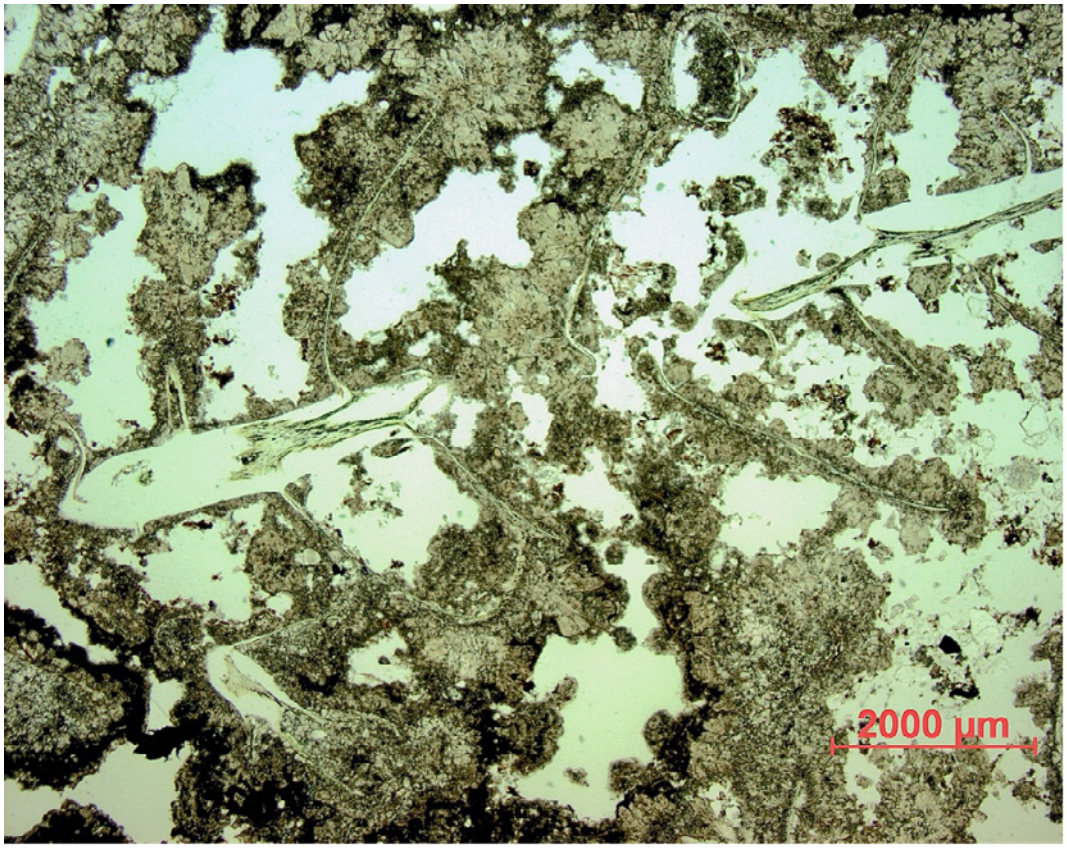


FIG. 72. **Microscopische opname van een slijpplaatje van een recente kalktufafzetting met spookbeeld van een takje mos.**

Fig. 73 is een microscopische opname van een slijpplaatje (in doorvallend licht met gekuiste polarisatoren) gemaakt in hogergenoemde bloemkoolachtige structuren (kleine “knolletjes”) waarin je een afwisseling ziet (zie pijl) van relatief brede heldere banden met grote langwerpige en vezelige calcietkristallen (spariet) en smallere donkere banden met zeer fijnkorrelig calciet (micriet). Deze afwisseling weerspiegelt in feite de seizoensgebonden neerslag van calciet (in de hand gewerkt door door cyanobacteriën): heldere grofkorrelige calcietneerslag tijdens de warmere zomermaanden (met veel zonlicht en hierdoor sterkere fotosynthese) in tegenstelling met donkere fijnkorrelige beperkte calcietneerslag tijdens de wintermaanden (met veel minder zonlicht en sterk verminderde fotosynthese).

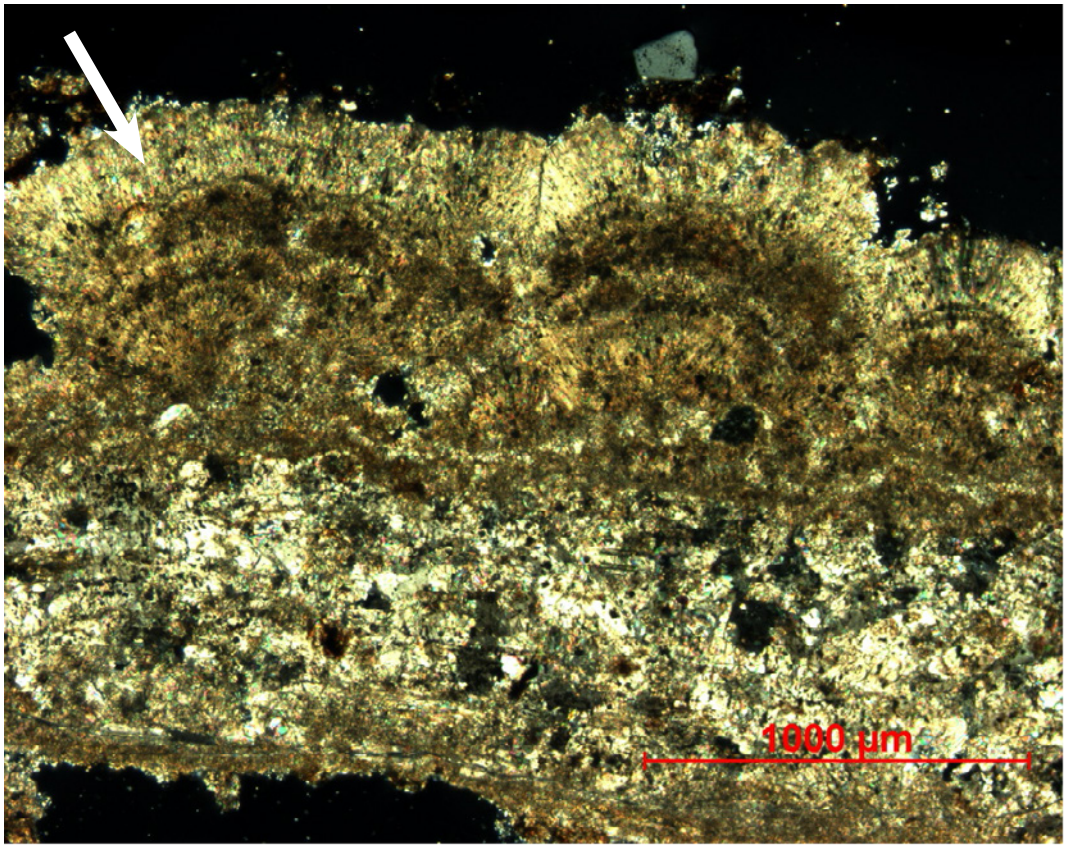


FIG. 73. **Microscopische opname van een slijpplaatje van een recente kalktufafzetting. Let op de “groeiringen” in de kalkknolletjes.**

Nog een weetje?

"Aquaductmarmer" is een heel bijzondere decoratieve steen die tijdens de Middeleeuwen (vooral tijdens de 12e-13e eeuw) werd ontgonnen uit gelaagde kalkafzettingen (zgn."sinterkalk") in de Romeinse aquaduct (Eifelaquaduct) die de Romeinse stad Keulen vanuit de Eifel met water bevoorraadde (capaciteit van 20.000 m^3 per dag). Heel karakteristiek zijn de zuiltjes (tot 1m lang) die hieruit werden vervaardigd evenals dunne transparante platen. Dit materiaal is sterk verwant met kalktuf en travertijn. Het vormt zich in continu contact met lopend water en gelijkt op kalktufafzettingen in rivieren (Surmelhindi et al, 2013). De fijngelaagde kalkkorst die meer dan 30 cm dik is geworden (zie fig. 74) in de 190 jaar dat de aquaduct in gebruik is geweest (sinds zijn bouw in 80 NC) ontstond door chemische neerslag van $CaCO_3$ uit oververzadigd kalkrijk water dat afkomstig was uit bronnen in de Kalkeifel (bij Nettersheim). Karel de Grote liet reeds zuiltjes uit deze kalksinter maken om er zijn Paltskapel in Aken mee op te smukken. Prachtige voorbeelden van dit Aquaductmarmer zijn te bewonderen in diverse kerken uit de Rijn-Maas regio (Siegburg, Bas Münstereifel, Abdij Maria Laach) tot in Nederland (o.a. de St. Servaaskerk in Maastricht), Engeland (Canterbury) en Denemarken toe (Roskilde).



FIG. 74. **Afzetting van kalksinter ("Aquaductmarmer") in een deel van het Romeinse Eifelaquaduct bij Euskirchen-Kreuzweingarten (Duitsland). De maximale dikte van deze kalksinter is hier ca. 30 cm.**



Verzameling van strandkeien van koraalkalksteen uit het Asbiaan (Onder-Carboon), doorboord met boorgaten van boormossels, strand van Berwick-upon-Tweed, Northumberland, oostkust van Engeland. Identieke keien werden door Middeleeuwse Hanzeschepen als ballaststenen meegenomen en in de voorhavens van Brugge achtergelaten.

HOOFDSTUK 15

BIOLOGISCHE VERWERING

Aan de klifkusten van Normandië en Cap Blanc Nez zijn sporen van moderne bio-erosie, verwering en afbraak van gesteenten door levende organismen vaak goed te zien. In een van de vorige hoofdstukken zagen we reeds hoe korstmossen gaatjes in kalksteen kunnen maken als gevolg van oplossing door organische zuren. In deze bijdrage kijken we naar mariene organismen die verantwoordelijk zijn voor het maken van kleine gaatjes of zelfs van hele grote gaten in relatief zachte gesteenten zoals klei, krijt en kalksteen. De meest opvallende van deze mariene "steeneters" zijn boorschelpen, zoals boormossels (*Pholas dactylus*), die vingerdikke en vingerlange gaten kunnen boren (Fig.75). Maar er zijn ook andere mariene steeneters, zoals slikkokerwormen die kleinere gaatjes maken, zoals we hieronder verder uit de doeken gaan doen: dat doen ze niet alleen in andere schelpen (zoals oesters en wulken), maar ook in kalksteen.

Fig. 75 toont grote gaten (diameter 1-2 cm) in een kalksteen gemaakt door boormossels.
Fig. 76 toont kleinere gaatjes, gemaakt door borstelwormen.
Fig. 77 is een oude pentekening van de boormossel en haar boorgaten.
Fig. 78 toont de boosdoener zelf, *Pholas dactylus*, in het engels ook "angel wings" (engelenvleugels) of "piddocks" genoemd.

Het zijn echter de kleinere gaatjes op Fig. 76 die ons nu in het bijzonder interesseren. Deze gaatjes zijn slechts enkele mm in diameter. Deze figuur geeft ons een gedetailleerd beeld van zulk een doorboord materiaal. We zien talrijke en smalle gaatjes in een achtvorm bestaande uit een doublet van 2 kleine gaatjes (1-2 mm in diameter) die vlak naast elkaar liggen en nadien met elkaar versmelten. Dit is het resultaat van de bio-erosieve actie van een slikkokerworm (een specifieke soort van borstelworm - *Polydora ciliata*) (zie Fig. 79): deze worm boort kleine (verticale) U-vormige gangetjes in kalksteen (waarin een deel van zijn lijf verborgen zit). Met behulp van kleine partikeltjes (klei) uit het zeewater maakt hij ook buisjes (kokers) die tot enkele cm boven de steen uitsteken. De boorgaatjes zijn ook mede het resultaat van chemische producten die door de worm worden gegenereerd.
We zijn met deze eigenaardige boorgaten recent geconfronteerd geworden tijdens een studie van Romeinse votiefaltaren in steen die in 1970 (en later) door vissersboten in de huidige Oosterschelde met sleepnetten naar boven zijn gehaald. Deze stenen votiefaltaren waren opgedragen aan een lokale godin, Nehalennia genaamd, als dank voor een behouden vaart per boot over het gevaarlijke kanaal naar Engeland en terug. Een replica van een Romeinse tempel ter ere van deze godin werd opgericht nabij de vindplaats in Colijnsplaat. Er zijn minstens 160 volledig bewaarde altaren en vele honderden brokstukken opgevist die verspreid over een tiental musea, hoofdzakelijk in Nederland, worden bewaard. Eén Nehalennia-altaar staat opgesteld in Brussel, in het Museum voor Kunst en Geschiedenis. De grootste collectie altaren bevindt zich echter in het Rijksmuseum voor Oudheden (RMO) in Leiden. (zie: https://www.rmo.nl/collectie/topstukken/nehalennia-altaar/).

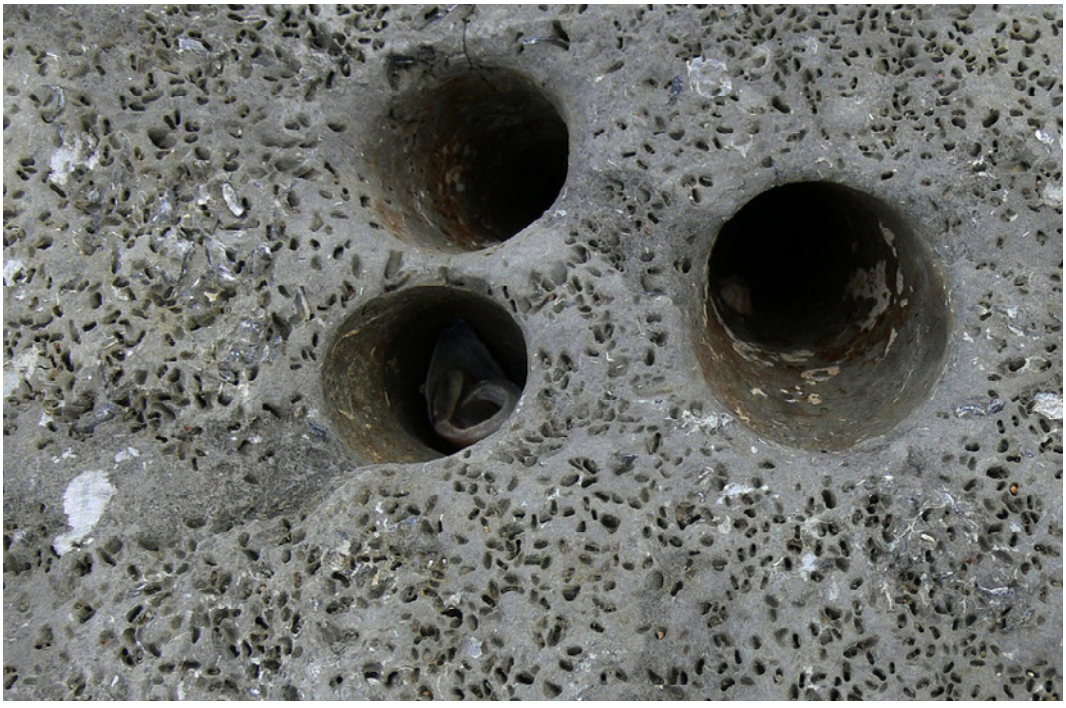


FIG. 75. **Detail van een kalksteen doorboord met gaten van boormossels en kleinere gaatjes van borstelwormen.**



FIG. 76. Detail van het oppervlak van een door borstelwormen aangetaste kalksteen.

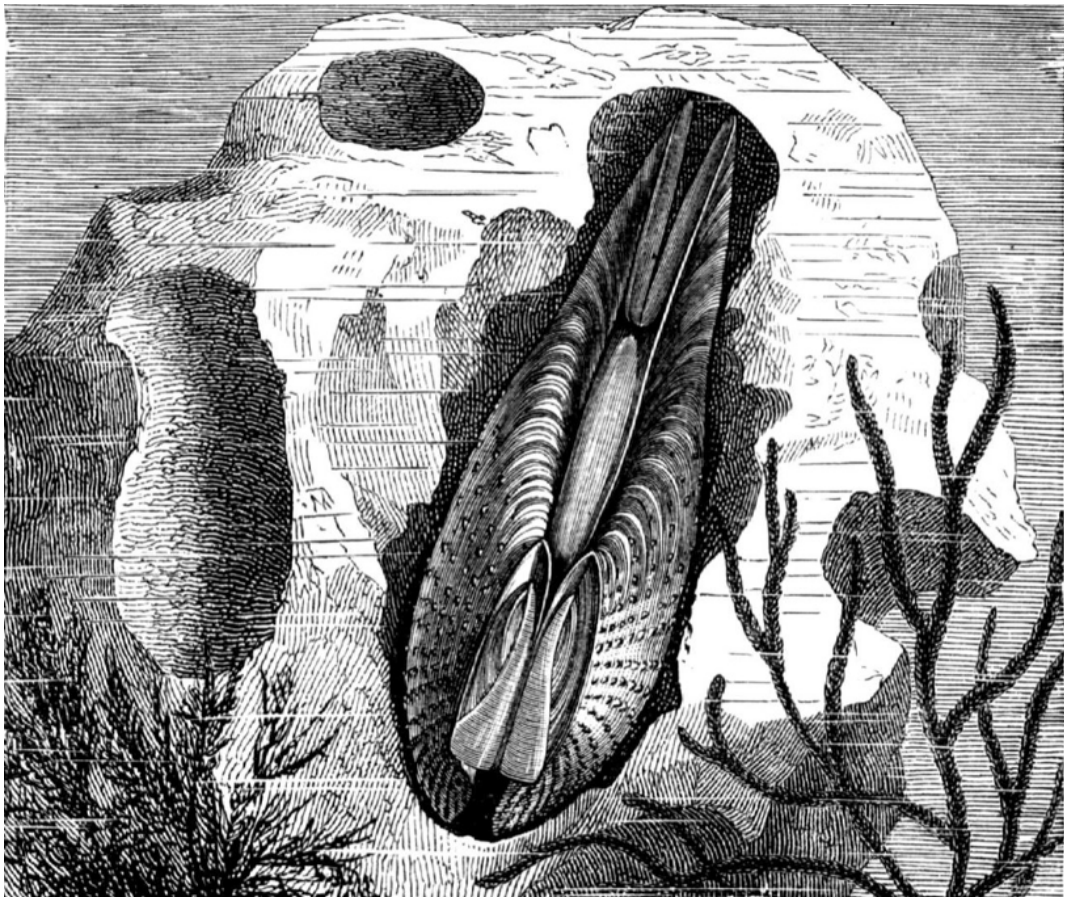


FIG. 77. Oude pentekening van een boormossel en zijn boorgaten (auteur onbekend).



FIG. 78. *Pholas dactylus* **(https://www.colleconline.com/en/items/84336/coquillage-fossile-bivalvium-pholadidae-pholas-dactylus-linne-1758).**

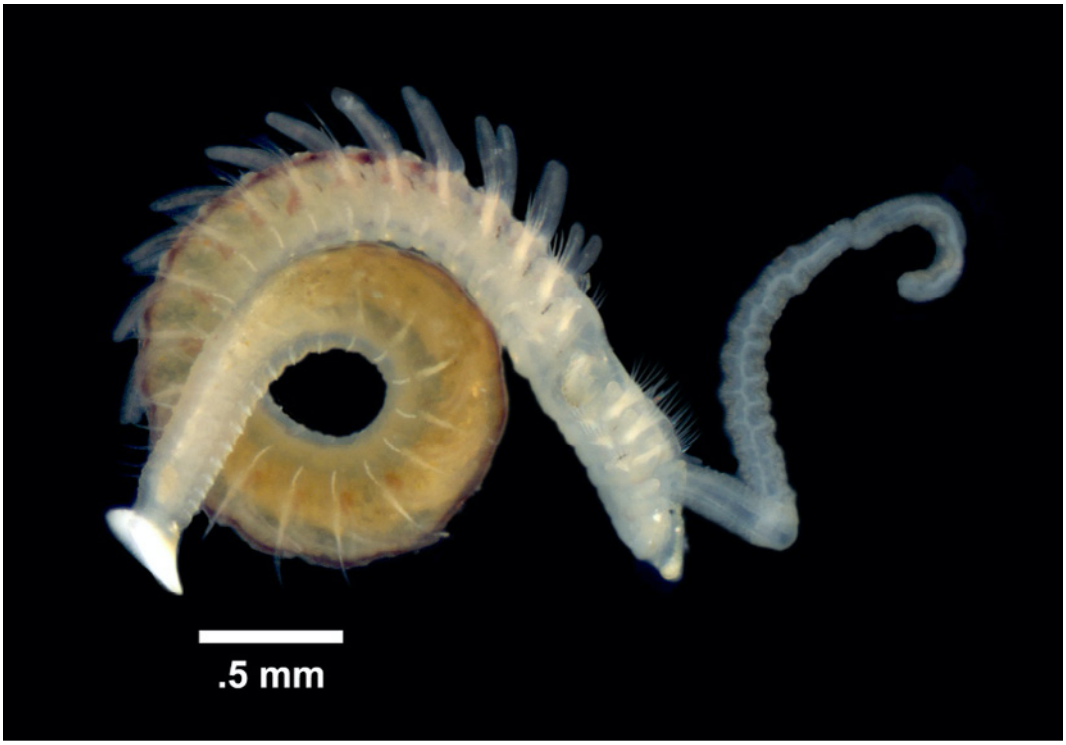


FIG. 79. **Levende borstelworm (***Polydora ciliata***) (https://collections.peabody.yale.edu/search/Record/YPM-IZ-097191).**

Fig. 80a toont een mooi bewaard Nehalennia-altaar uit dit museum. Fig. 80b toont dan weer een detail van het pokdalige oppervlak van een gelijkaardig stenen altaar, ontstaan door de jarenlange destructieve inwerking van slikkokerwormen. Dit altaar heeft allicht gedurende verschillende eeuwen blootgelegen op de zeebodem en is continu gekoloniseerd geworden door dergelijke "steeneters". Na reiniging van de steen kwam er een sterk gecorrodeerd of aangevreten oppervlak te voorschijn. Het was voor de geoloog dan ook heel moeilijk om met behulp van het blote oog of met een handloep de exacte natuur van de steen te achterhalen. Dit vergde destructief onderzoek. Op basis van microscopisch onderzoek (via slijpplaatjes van kleine stukjes steen die we van brokstukken uit de collecties mochten bemonsteren) was het wél mogelijk om de juiste geologische herkomst van de stenen altaren te achterhalen. Het merendeel (ca. 80%) ervan is gemaakt uit Lotharingse kalksteensoorten afkomstig uit de cuesta's (met kalksteen van Jura-ouderdom) in Noordoost-Frankrijk. Via de Maas en/of de Moezel/Rijn werden deze blokken steen per schip naar Zeeland vervoerd en vermoedelijk werden ze in werkplaatsen ter plekke tot altaren verwerkt.
Fig. 81 ten slotte is een microscopische opname van een slijpplaatje gemaakt van een stukje kalksteen van een Nehalennia-altaar, genomen in doorvallend gepolariseerd licht (met gekruiste polisatoren). De steen is een oölitische kalksteen volledig opgebouwd uit kleine micritische oöïden (let op de schaal). Het verweerde (gecorrodeerde) buitenoppervlak van de steen is goed te herkennen. Vergelijkend petrografisch onderzoek met stalen uit verlaten kalksteengroeven in Noord-Frankrijk heeft toegelaten om deze specifieke steen als Kalksteen van Chémery te identificeren: deze is van Bathoniaan (Jura) ouderdom, afkomstig van de zgn. Maascuesta, gelegen ten zuidoosten van Charleville-Mézières (in de Champagne-Ardenne: zie ook het geologisch kaartje met de verschillende lokale steensoorten, via deze weblink: http://web.ac-reims.fr/lithotheque/html/geolhom/rochesutiles/pierrebatir.php?piste=chemery).
Je kan op deze microscopische opname goed de verticale boorgangen zien van onze slikkokerworm, die bovendien gedeeltelijk zijn opgevuld met zandkorrels. In dit zand herkennen we zelfs een korreltje glauconiet (groen) tussen de kwartskorrels (met karakteristieke grijze en witte interferentiekleuren). Dit wijst erop dat het zeezand waarschijnlijk geremanieerd Tertiair zand is (zand afkomstig van geologische lagen die op de zeebodem dagzomen en door zeestromingen zijn meegenomen en verder verspreid) dat na het afsterven of verwijderen van de kokerworm in de gaatjes is beland en blijven steken.



FIG. 80a. **(links): Nehalennai altaar opgesteld in het RMO in Leiden (**https://www.rmo.nl/wp-content/uploads/topstuk/015423.jpg**). Fig. 80b (rechts): detail van het altaar met een pokdalig oppervlak, aangevreten door slikkokerwormen.**

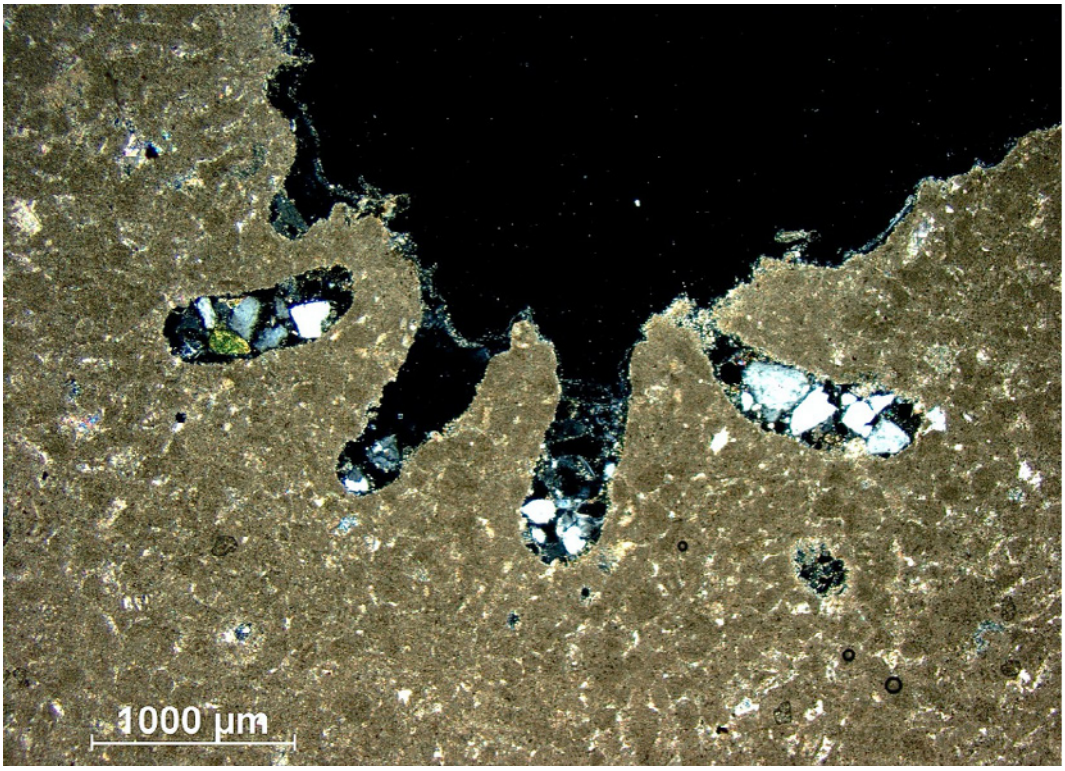


FIG. 81. **Microscopische opname van een slijpplaatje doorheen het door borstelwormen aangevreten buitenoppervlak van een Nehalennia-altaar, gemaakt uit oölitische Chémery kalksteen.**

Nog een weetje?

De aanwezigheid van subrecente boorgaten van boormossels in afgeronde keien van kalksteen, gevonden in verschillende archeologische sites van het voormalige Middeleeuwse havenlandschap van Brugge (Fig. 82), leverde bijkomend bewijs voor de hypothese dat deze keien ooit op het strand werden opgeraapt en als ballaststenen op schepen tijdens de Hanzeperiode naar hier werden meegenomen. Dit argument, samen met de resultaten van het microscopisch onderzoek van de kalkstenen, wees op een herkomstgebied gelegen langs de Engelse oostkust, vlak onder de grens met Schotland (De Clercq et al, 2017).

Je kan hieronder het volledige verhaal lezen:
http://www.zwinproject.ugent.be/nl/studie-van-ballaststenen
en
https://core.ac.uk/download/pdf/288817567.pdf



FIG. 82. **Ballaststeen van Paleozoische kalksteen, volledig doorboord door boormossels en slikkokerwormen, afkomstig van kalksteenformaties langs de Oostkust van Engeland en gevonden in de streek van Brugge (Foto: W. De Clercq)**



Oud stenen grafkruis in Maaskalksteen met talrijke oncoïden, op het kerkhof van de 9e eeuwse St.-Pancratiuskerk van Mesch, de oudste stenen kerk in het meest zuidelijk gelegen kerkdorp van Nederland.

HOOFDSTUK 16

ONCOÏDEN EN ONCOLIETEN

Dit hoofdstuk gaat over kalkknolletjes en kan ook als extra aanvulling van hoofdstuk 13 (kalktuf) beschouwd worden. Sommige kalktufafzettingen die zich vormen op de bodem van kalkrijke riviertjes bestaan uit kleine bolletjes, ook oncoïden genoemd. Deze oncoïden zijn poreuze kalkbolletjes opgebouwd uit onregelmatige concentrisch geordende laagjes of korstjes van calciumcarbonaat (calciet). De naam is afgeleid van het Griekse woord "onkos" dat massa, volume of gezwel betekent (denk maar aan "oncologie"). Deze knolletjes vormen zich vaak rond een kern of een nucleus, die in het geval van kalktuf vaak bestaat uit een stukje schelp of zelfs een ganse schelp, zoals kleine slakjes. Het calciumcarbonaat ($CaCO_3$) wordt afgezet door korstvormende microben of cyanobacteriën. Oncoïden (en alle hieruit gevormde gesteenten, oncolieten genoemd) worden soms ook als ronde stromatolieten beschouwd. Stromatolieten vormen horizontale lagen en/of heuveltjes (kegels), oncoïden eerder bolvormige of sferische structuren.



FIG. 83. **Detail van verweerde Maaskalksteen met kleine oncoïden, St.-Aldegondiskerk in Alken.**

Oncoïden of oncolieten (beide termen worden doorgaans door elkaar gebruikt) zijn meestal indicatoren van warm en ondiep zeewater, maar ze zijn ook gekend uit onze moderne zoetwatermilieus, zoals kalkrijke riviertjes. Ze zijn in principe groter dan 2mm, meestal groter dan 1 cm, maar worden zelden groter dan 10 cm. De ronde vorm kan verklaard worden door licht rollen over een rivierbodem, maar dat hoeft niet per se. Oncolieten en stromatolieten bestaan reeds sinds het Precambrium. Een mooi voorbeeld van een fossiele, marien (in zeewater) gevormde oncoliet (in principe de naam gebruikt voor het gesteente dat volledig of grotendeels opgebouwd is uit oncoïden), is de oncolitische variant van Maaskalksteen, die we regelmatig als historische bouwsteen terugvinden. De mooie oncolitische kalksteen afgebeeld op Fig. 83 troffen we aan als waterlijst in de Sint-Aldegondiskerk van Alken. De grootste oncoïden meten hier ongeveer 1 cm. De kalksteen (of beter gezegd, de waterlijst gemaakt uit deze oncolitische kalksteen) ligt op zijn kop want we zien in deze macroscopische foto (van een detail van de kalksteen) duidelijk een mooie zgn. gegradeerde gelaagdheid met van onder naar boven, een geleidelijke toename van de grootte van de oncoïden.

Maar keren we even terug naar de zoetwateroncoïden. Op Fig. 84 zien we een hoopje rozeachtig wit-beige oncoiden (diameter van 0,5 cm tot 2-3 cm: de koperen munt van 1 Eurocent meet 1 cm) die we in 1998 verzamelden in een tijdelijke bouwput (Aquafin-waterzuiveringsstation van Kolmen, tussen Sint-Lambrechts-Herk en Alken) gelegen in de alluviale vlakte van de Herk. In het boekje van de geologische fietsroute Herk & Mombeek (2009) vind je op pagina 31 (figuur 26b) een geologisch profiel van de wanden van deze bouwput met een schematische voorstelling van de stratigrafische opvolging van de hier aanwezige geologische lagen. Opmerkelijk is het feit dat de knolletjes in dunne lenzen (10-25 cm dik) werden aangetroffen tussen Holocene zwarte veenrijke klei, kleiig veen en houtrijk veen. Deze lenzen getuigen allicht van overstromingen door kalkrijke waters (beladen met knolletjes) kort bij de samenvloeiing van de Mombeek en de Herk. Dat de Mombeek kalkrijk is, kan bijvoorbeeld ook worden aangetoond door de zeer kalkrijke Pleistocene afzettingen (boordevol fossiele schelpen, afkomstig uit stroomopwaarts geërodeerde Tertiaire lagen) die we in 1996 onder de veenlagen in de Mombeekvallei hebben aangetroffen in een grote tijdelijke bouwput (Aquafin-waterzuiveringsinstallatie) bij Wimmertingen, en door de (moderne) aanwezigheid van rivierkreeftjes in de Mombeek (die inmiddels spijtig genoeg door de vervuiling van het water zijn verdwenen).



FIG. 84. **Recente zoetwateroncoïden als lensvormige afzetting in veen (Kolmen, Sint-Lambrechts-Herk).**

Fig. 85 en Fig. 86 tonen goed bewaarde dunschalige witte schelpen van slakjes die vaak als kern of nucleus dienen van deze oncoïden. Deze Holocene zoetwaterslakjes behoren tot de soorten eeltslak (*Lithoglyphus naticoides*), leverbotslak (*Galba truncatula*) en grote diepslak (*Bithynia tentaculata*)[4], een extra bewijs voor een biotoop van zwak stromend (kalkrijk?) zoet water, waarin zich ook de oncoïden vormden.

Om hun interne opbouw te bestuderen hebben we enkele oncoïden microscopisch onderzocht. Hiertoe hebben we de grootste exemplaren uit ons staal geselecteerd, vervolgens ingebed in een geel gekleurde epoxyhars en ten slotte hebben we er enkele slijpplaatjes van laten maken. Het resultaat zien jullie in de volgende 2 foto's.



FIG. 85. **Detail van recente zoetwateroncoïden met zoetwaterslakken als nuclei.**



FIG. 86 **Dunschalige zoetwaterslakken als kern van oncoïden.**

Fig. 87 is een microscopische opname van een slijpplaatje (gemaakt in doorvallend licht), die de mooi concentrisch opgebouwde en licht golvende poreuze structuur (geel = porositeit) toont van één van de grotere oncoïden. Zoals vroeger reeds besproken bij de recente kalktufafzettingen, zien we hier ook weer afwisselend donkere (micriet) en heldere banden (spariet) in de laagjes calciumcarbonaat, hier specifiek rond een ondetermineerbare poreuze kern. Bij een sterkere vergroting van een stukje van deze concentrisch opgebouwde kalkknol ontdekken we in Fig. 88 ganse waaiers of struikvormige kolonies van buisvormige (zgn. filamenteuze) organismen: dit zijn cyanobacteriën of blauwgroenwieren. De buisjes staan loodrecht georiënteerd op de concentrisch gevormde calciumcarbonaatlaagjes en geven hierdoor het knolletje een intern radiaalstralig aspect. De kleine witte partikeltjes tussen de filamenten in het calciumcarbonaat zijn zeer waarschijnlijk kleine hoekige kwartskorrels (silt tot fijn zand) die tijdens de groei mee werden ingesloten. De gele vlekken zijn open holten die verantwoordelijk zijn voor het poreuze aspect en het korrelig aanvoelen van de kalkknolletjes. Terloops vermelden we hier nog dat het lievelingsvoedsel van sommige van de aanwezige slakkensoorten, zoals de hogergenoemde leverbotslak, algenmatten van blauwgroenwieren blijken te zijn.

Verkalkte filamenten van dergelijke blauwgroenwieren (ook gekend onder de naam van *Girvanella*) vinden we regelmatig terug in Paleozoïsche kalkstenen die in ondiep marien water werden gevormd, zoals de oncolitische Maaskalksteen. Volgens sommige auteurs zou de afbraak van duizenden van dergelijke minuscule kalkbuisjes verantwoordelijk zijn voor het ontstaan van belangrijke hoeveelheden kalkmodder die later door begraving (druk van de bovenliggende lagen) tot kalksteen versteenden.

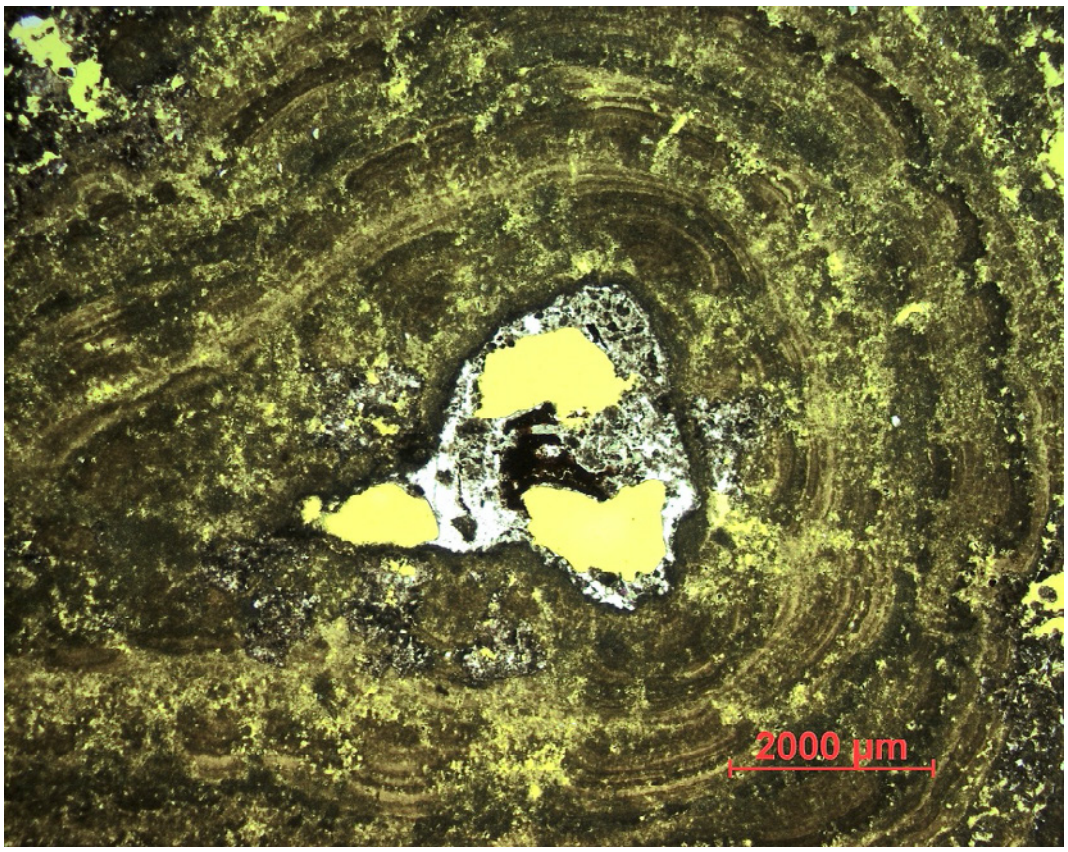


FIG. 87. **Microscopische opname van een slijpplaatje gemaakt doorheen één zoetwateroncoïde met mooie concentrische laagjes van calciet.**

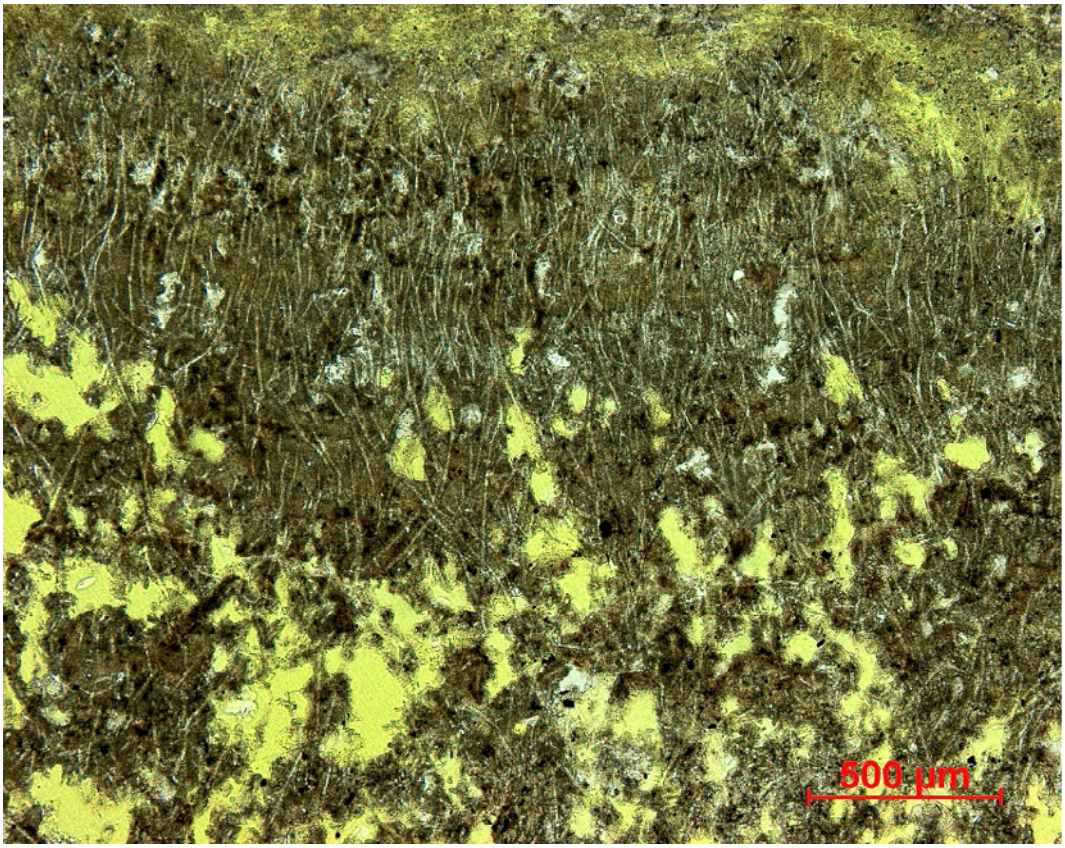


FIG. 88. **Detail van vorige foto: buisvormige of filamenteuze cyanobacteriën in een zoetwateroncoïde.**

Nog een weetje?

Verschillende Paleozoïsche oncolietrijke kalkstenen worden in Vlaanderen aangetroffen als historische bouwsteen of decoratieve steen. Zo is er een oncolietrijke variant van de Maaskalksteen gekend uit het Onder-Carboon, die in het Maasbekken voorkomt vanaf de 14e-15e eeuw. Karakteristiek voor de oncoïden in deze steensoort is hun kern die vaak bestaat uit uit een fossiele schelp (brachiopode).

Verder bestaat er een bijzondere oncolitische variëteit van de Gotland kalksteen (van Siluur ouderdom) afkomstig van het Zweedse eiland Gotland in de Baltische Zee. Vooral tijdens de 17e eeuw werd deze steen als ballaststeen door de Oostzeevaarders meegenomen om hun schepen met lichte houtlading een stabielere ligging te geven (Slinger, 1982). We hebben grote grafzerken gemaakt uit dergelijke oncolitische Gotland kalksteen teruggevonden in verschillende kerkgebouwen in en rond Brugge (o.a. in de St.-Salvator- en de Onze-Lieve-Vrouwekerk van Brugge en in de Onze-Lieve-Vrouw-Hemelvaartkerk van Damme).



Riffen van recente schelpkokerwormen op het strand van Wissant, met de witte krijtkliffen van Cap Blanc-Nez op de achtergrond (Côte d'Opale, Pas-de-Calais, Frankrijk).

HOOFDSTUK 17

KOKERWORMEN

Moderne borstelwormen (*Polydora ciliata*) kunnen een destructief gedrag vertonen in en op kalksteen. Deze borstelwormen bezitten echter geen fossiliseerbare kokers of buisjes (ze bestaan immers hoofdzakelijk uit klei), zodat ze ook niet als fossiele schelpen bewaard kunnen worden en we alleen sporen (kleine boorgangen of gaatjes) zien op kalksteen, dat ze als substraat hebben gebruikt. Anders is het gesteld met kokerwormen waarvan we wél regelmatig fossiele schelpen (wormkokers dus) terugvinden in diverse soorten kalksteen of zandige kalksteen, zoals Maastrichtersteen (Boven-Krijt ouderdom), Ledesteen, Nummulietenkalksteen en Lutetiaankalksteen (de laatste drie zijn van Eoceen ouderdom). Wat doorgaans wordt aangeduid als kokerwormen of serpuliden zijn in feite mariene ringwormen (Annelida), meer bepaald borstelwormen (Polychaeta) uit de groep van de Sedentaria. Deze graven zich in het zachte substraat (bijvoorbeeld zand) in en vormen kleine langwerpige kokers van kalk, waarin ze leven. Daarbij is de lengte van de koker uiterst variabel. Het dier zelf kan vele malen kleiner zijn dan de koker waarin het leeft, en het beweegt hierin vrij rond, dit in tegenstelling tot kokerbewonende weekdieren zoals de stoottandjes (Scaphopoda). De meeste kokerwormen komen voor in zee, hoewel een aantal het uithoudt in uiterst zout of brak water. Het merendeel komt voor op waterdieptes tussen 0 en 100 m. De diertjes (hier: *Ditrupa arietina*) steken een tentakelkrans uit die dient voor zuurstofvoorziening en het vangen van voedseldeeltjes in suspensie (zie Fig. 89a). De worm bezit ook enkele klieren waarmee hij korreltjes calciumcarbonaat produceert (Fig. 89b), ingebed in een slijmachtig materiaal. Hiermee bouwt hij aan de voorzijde de kokerwand verder op: deze koker is dubbelwandig en bestaat uit een binnenste donkere laag van homogeen fijnkorrelig calciet en een buitenste heldere laag van naaldvormige kristallen van calciet. Deze interne structuur kunnen we zeer goed zien in slijpplaatjes van enkele stalen gemaakt in de hogergenoemde steensoorten (zie verder).

Fig. 90 toont een concentratie van buisjes van de fossiele kokerworm *Pyrgopolon mosae* in een gezaagd blok fossielrijke Maastrichtersteen (variëteit Sibbesteen, ontgonnen in Sibbe nabij Valkenburg). Deze concentraties vertegenwoordigen vermoedelijk stormafzettingen (z.g."tempestieten") waarbij de buisjes van de kokerwormen volgens de stromingsrichting zijn georiënteerd. Ze vormen ook hardere grofkorrelige niveaus (zgn. "hardgrounds") in het relatief zachtere korrelkrijt. Bovendien worden deze sterk poreuze lagen (als gevolg van de aanwezigheid van talrijke holle buisjes) gemakkelijk verkiezeld en vormen ze een aparte groep van historische bouwstenen in Zuid-Limburg, die we kennen als "tauw" of "verkiezelde tauw" (Dusar et al, 2011).

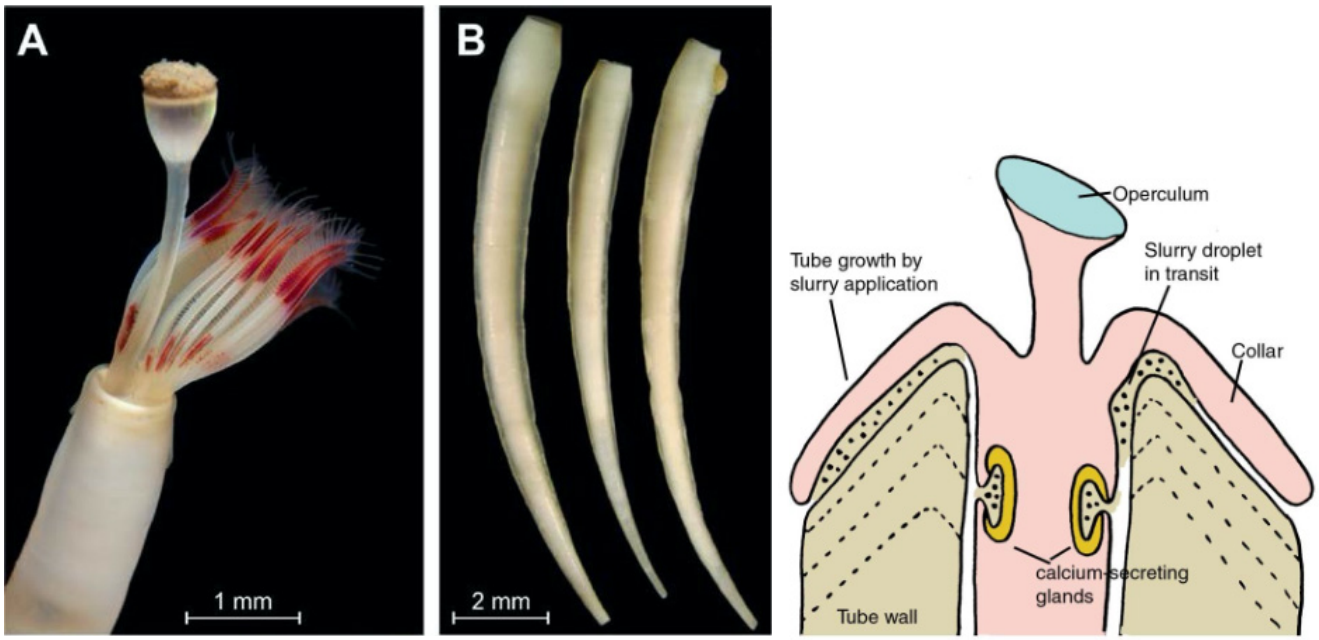


FIG. 89A (links): details van een recente kokerworm, overgenomen uit Rzhavsky, A.V. et al, 2014. Calcareous tubeworms (Polychaeta, Serpulidae) of the Arctic ocean. KMK Scientific Press

FIG. 89B (rechts): doorsnede van het kopuiteinde van een levende kokerworm, overgenomen uit Simkiss, K. & Wilbur, K.M., 1989. Biomineralization. Cell biology and mineral deposition. Academic Press, pp. 190–204.



FIG. 90. **Concentratie van kalkkokerwormen in Maastrichtersteen. Gezaagde blokken Sibbesteen uit Valkenburg**

Fig. 91 toont een microscopische opname (in doorvallend licht met gekruiste polarisatoren) van zulk een stukje tauw, waarin de cirkelvormige doorsnede van de schelp van een kokerworm (bestaande uit calciet) nog duidelijk zichtbaar is (zie pijl, links) samen met nog wat kleinere fragmenten van fossiele schelpen (echinodermen?) zwemmend in een goed verkiezelde grondmassa. De grondmassa zelf is opgebouwd uit een groot aantal zeer kleine kristallen van kwarts (microkwarts), wat grotere kwartskristallen en zeldzaam vezelig chalcedoon als concentrische opvulling van grotere holten (zie pijl, rechts op de foto).

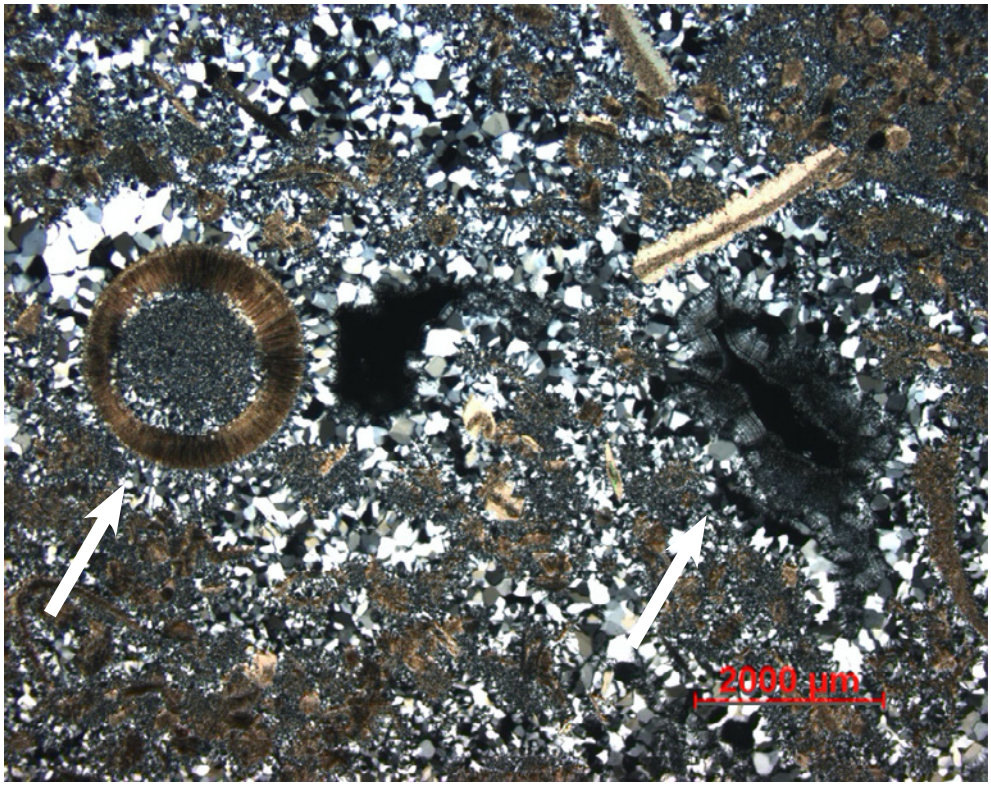


FIG. 91. **Microscopische opname van een slijpplaatje van verkiezelde tauw met een doorsnede van een kokerworm (links).**

Een andere bekende fossiele kokerworm uit het Eoceen is *Ditrupa strangulata*. Fig.92 toont een macroscopische detailopname van een verweerd oppervlak van Ledesteen (uit de sokkel van het bekende standbeeld "Paardenkracht" in Hasselt) met een concentratie aan fossiele kokers van *Ditrupa*, waarvan we hier verschillende volledige exemplaren, dwarsdoorsneden en langwerpige doorsneden zien. De veel kleinere witte spiraalvormig opgebouwde fossiele schelpjes zijn foraminiferen (Nummulieten) die we in hoofdstuk 11 uitvoerig hebben behandeld. Fig. 93 en 94 zijn microscopische detailopnames van slijpplaatjes (genomen in doorvallend licht) van respectievelijk Ledesteen en Nummulietenkalksteen, waar we goed de dubbelwandige (of zelfs driedubbelwandige) opbouw van een *Ditrupa*-kokerworm kunnen bekijken. Fig. 95 ten slotte is een microscopische opname van een slijpplaatje gemaakt in een staal van Lutetiaankalksteen (bouwsteenkwaliteit St. Vaast), waarbij opnieuw geel epoxyhars werd gebruikt om de porositeit te accentueren. Ook hier zijn enkele dwarsdoorsneden van een gelijkaardige soort kokerworm goed herkenbaar te midden van fijner fossielgruis, waaronder meerkamerige foraminiferen (Milioliden; onderaan rechts, zie pijl).



FIG. 92 **Concentratie van kokerwormen (*Ditrupa*) in een verweerd stuk Balegemse kalkzandsteen.**

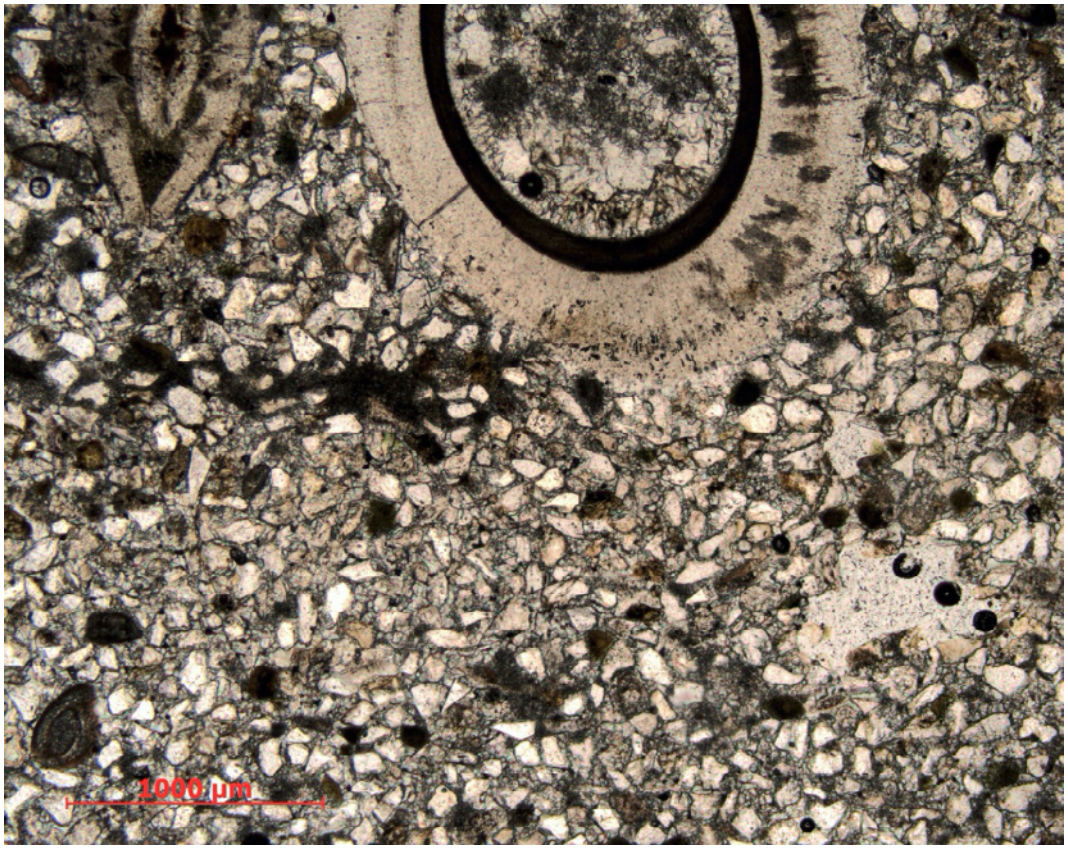
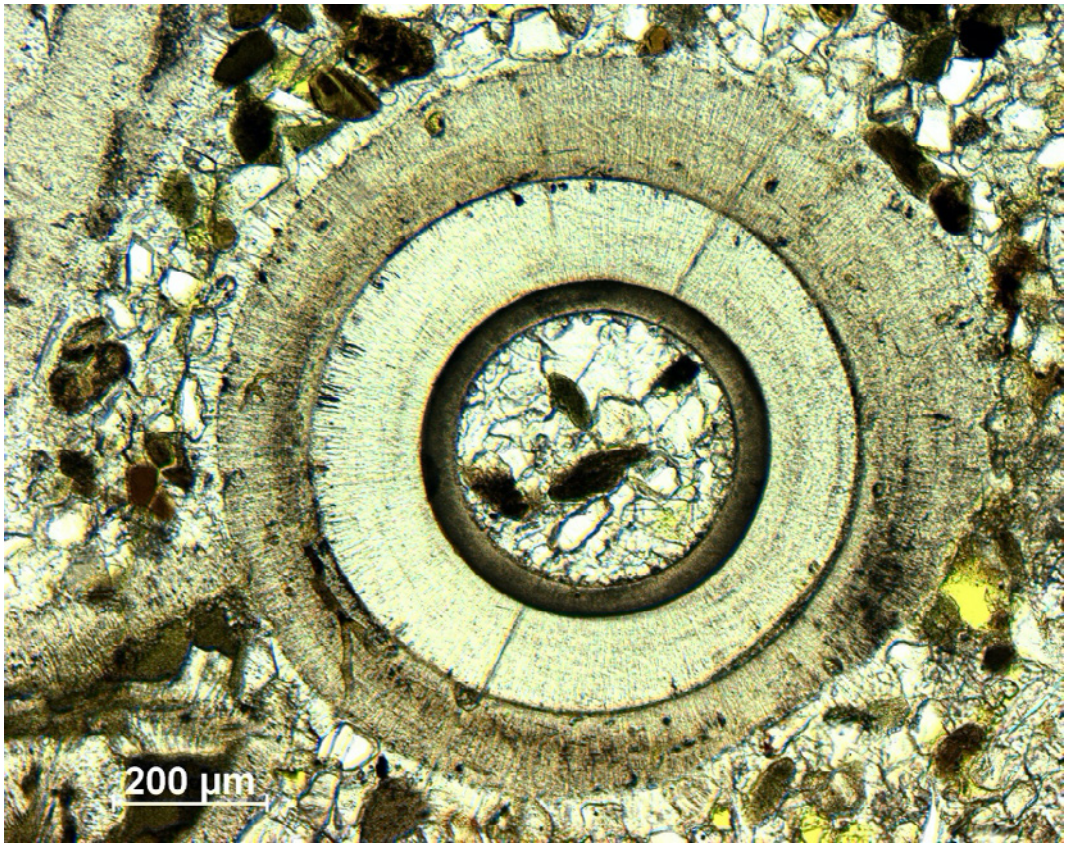


FIG. 93 **(boven) en fig. 94 (onder): microscopische opnamen met doorsneden van** *Ditrupa strangulata*.



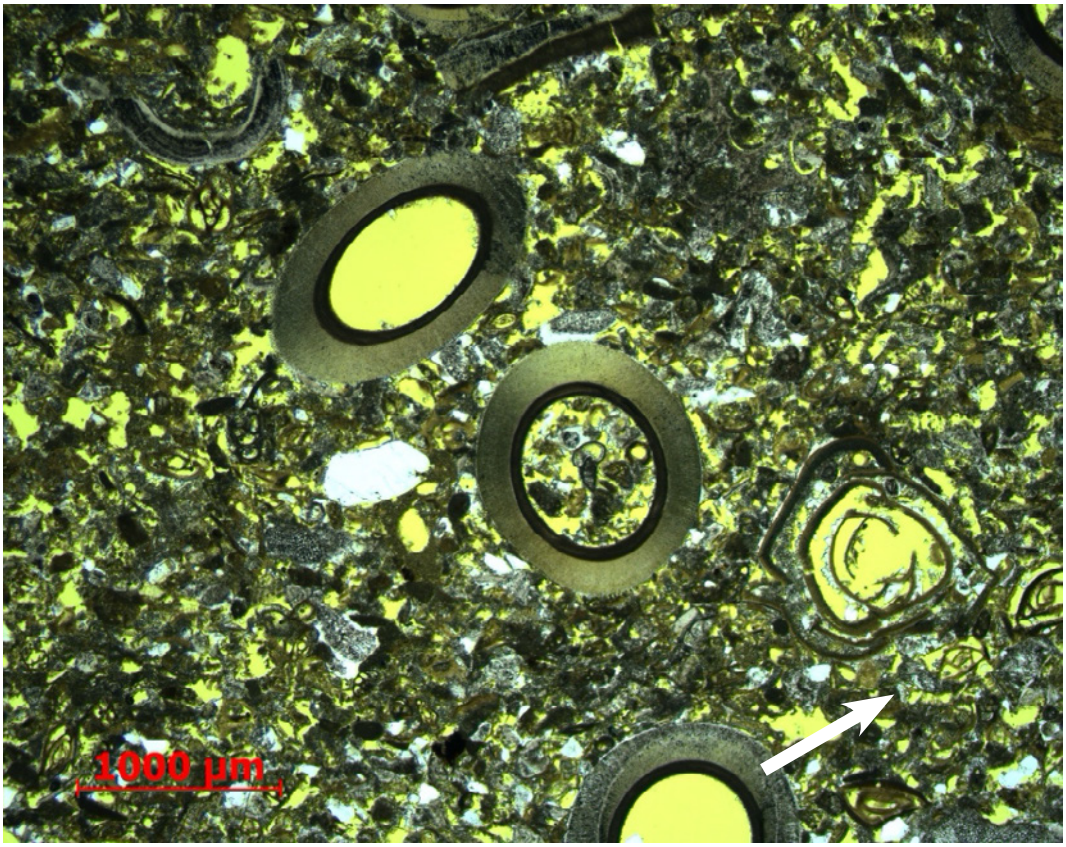


FIG. 95. **Microscopische opname van een staal Lutetiaankalksteen met verschillende doorsneden van kokerwormen.**

Nog een weetje?
Sommige kokerwormen, zoals de recente zandkokerworm (*Sabellaria alveolata*) kunnen honingraatachtige rifstructuren bouwen. Deze kokerworm komt in de hele Noordzee voor. In de baai van Mont Saint-Michel in Frankrijk worden deze *Sabellaria alveolata*-riffen beschouwd als de grootste rifformaties in Europa. In tegenstelling tot de hoger beschreven kokerwormen gebruiken *Sabellaria*-kokerwormen zandkorrels en schelpgruis om hun kokers mee te bouwen. De schelpkokerworm (*Lanice conchilega*) leeft in zelfgemaakte cilindervormige kokers van aaneen geklitte schelpstukjes in zand of zandig slib. Hij vormt banken (of riffen) bij de laagwaterlijn, vaak bij het uiteinde van de strandhoofden of verder in zee (een mooi voorbeeld hiervan zie je op p. 128).



Tegels in Aziatische blauwe hardsteen (diverse Vietnamese fossielrijke kalksteensoorten) lokaal gebruikt bij de herinrichting van het Hasseltse stadscentrum.

HOOFDSTUK 18

TAN SHAN EN BUDHPURA: GEVAAR UIT HET OOSTEN?

We zijn zo gewoon om Belgische blauwe hardsteen (Petit Granit) en Famenniaanzandsteen ("Grès belge") in ons dagelijkse straatbeeld te zien, dat we er vaak niet bij stilstaan dat deze beide, voor ons zo vertrouwde en oerdegelijke Belgische steensoorten, sinds een 20-tal jaren sterk bedreigd worden door invoer van (veel) goedkopere Aziatische producten. Zo zien we dat er nu overal in Vlaanderen bij de herinrichting of de restauratie van stadspleintjes of andere grote openbare ruimten vaak gekozen wordt voor deze producten i.p.v. voor onze Belgische stenen die nog steeds voorradig zijn. Nochtans zouden kwaliteit en duurzaamheid moeten primeren boven kostprijs en zouden zowel ecologische als ethische aspecten (hun ecologische voetafdruk en de problematiek van moderne slavenarbeid) mee in overweging moeten worden genomen. Wij werden in het verleden regelmatig geconfronteerd met gedupeerde klanten, omdat de naamgeving "blauwe hardsteen" en "grès" of "zandsteen" te breed gehanteerd wordt en hierdoor ook van toepassing is op (op het eerste gezicht) gelijkaardige Aziatische "blauwe" hardsteen (Vietnamese en Chinese blauwe hardsteen) of Indische zandsteen. In deze bijdrage staan we even stil bij twee van de meest "populaire" ingevoerde Aziatische natuursteensoorten, de **Chinese blauwe hardsteen** (Tan Shan kalksteen) en de **Indische zandsteen** (Kandla of Budhpura zandsteen), waarbij we kort ingaan op de oorzaak van enkele van hun esthetische en mechanische defecten en vooral hoe we dit microscopisch hebben kunnen achterhalen.

De **Chinese blauwe hardsteen** is een blauwgrijze oölietische kalksteen (Fig. 96) opgebouwd uit vrij grote oöïden die "zwemmen" in een grondmassa van helder calciet (spariet). Behalve de opvallende kalkbolletjes zien we in de steen ook vaak - en dit is vooral goed te zien op een natte steen, of na polijsten - grote onregelmatige "vlekken" (Fig.97; de munt van 5 Eurocent dient als schaal). Deze vlekken worden door het groot publiek vaak als verdacht ervaren (vervuiling?), maar in feite zijn ze volkomen natuurlijk van oorsprong. Het zijn immers grote, wat donkerder of lichter gekleurde intraklasten of fragmenten van hetzelfde gesteente. De kalksteen zelf komt uit de zuidelijke provincie Shandong (Noordoost-China) en is van Midden-Cambrium ouderdom. In die periode maakte het gebied deel uit van een gigantisch carbonaatplatform dat gedurende 70 miljoen jaar standhield en zich over meer dan 150.000 km^2 uitstrekte. Microscopisch onderzoek heeft aangetoond dat deze oölitische kalksteen vrij sterk gedolomitiseerd is (gemiddeld 20 % dolomiet, lokaal tot meer dan 70%). Fig. 98 toont een microscopische opname (in doorvallend licht) van een slijplaatje van een dergelijk stuk gedolomitiseerde oölitische kalksteen. Let op de suikerachtige textuur van de dolomietkristallen en de opbouw van de oöïden die micritisch zijn en concentrisch opgebouwd. Het preparaat werd selectief gekleurd met alizarinerood waardoor alle calcietkristallen rozerood kleuren en alle dolomietkristallen ongekleurd (wit) blijven. Echter, door deze dolomitisatie verhoogt de porositeit. In deze secundaire porositeit kan water indringen. Daarnaast bevat de steen vaak stylolieten of oplossingsvoegen, ontstaan door sterke compactie: hierdoor kunnen ongewenste mechanische defecten en verkleuringen ontstaan. Langs deze stylolieten is de hechting immers niet steeds optimaal (ze bevatten concentraties van kleimineralen die water opnemen en bij vorst de steen kunnen laten kapotvriezen). De stylolieten bevatten bovendien vaak hogere concentraties van dolomiet en pyriet (dat fijnverdeeld voorkomt in de kalksteen en bovendien ook in de ooïden). Dit pyriet zal in onze vochtige lucht oxideren ("roesten") en aanleiding geven tot geelbruine verkleuring. Fig. 99 toont een microscopische opname (in opvallend licht) van een niet met glas afgedekt slijpplaatje van een stylolietzone in Chinese blauwe hardsteen, waarin de tot goethiet (roest of ijzerhydroxide) verweerde pyrietkristallen, als heldere blauwgrijze zones ("coatings") rond de rhomboëdrische dolomietkristallen oplichten. Let ook op de bruine verkleuring rond de dolomietkristallen.

Indische zandsteen (ook Kandla of Budhpura genoemd) bestaat in grijze, gele en rode tinten en wordt verwerkt tot allerhande soorten straatstenen. Je kan er tegenwoordig (helaas) niet meer naast kijken in vele van onze Vlaamse steden. Deze zandsteen kwam regelmatig in opspraak door het kapotspringen ervan na een vochtige winterperiode (zie Fig. 100) en het verschijnen van lelijke donkerbruine verkleuringen (zie verder). Petrografisch onderzoek bleek ook hier aangewezen om de oorzaak van deze schadefenomenen te achterhalen. De hier getoonde (grijze) zandsteensoort (Kandla Grey) is afkomstig uit Budhpura, gelegen in de provincie Rajasthan (Indië). Er bestaat weinig geologische informatie over de steen maar we weten intussen dat hij van Precambrium ouderdom is en tot de zgn. Bundi Hill Formatie (Vindhyiaan gebergte) behoort. Karakteristiek is de fijne korrel, het relatief gladde oppervlak en de aanwezigheid van mm-hoge reliëfverschillen (trapjes t.g.v. afschilfering). Uit microscopisch onderzoek blijkt de steen een fijnkorrelige arkosische of veldspaathoudende zandsteen te zijn. Fig. 101 is een microscopische opname van een slijpplaatje hiervan, genomen in gepolariseerd licht met gekruiste polarisatoren. Opmerkelijk is de fijn gelaagde opbouw bestaande uit dunne horizontale laagjes (max. 1 mm dikte) van goed gesorteerde en goed aan elkaar gekitte hoekige zandkorrels met een kwartsitische textuur. Mineralogisch gezien bestaan de zandkorrels uit kwarts, veldspaat, chert, glimmers (let op de korrel met de mooie blauwe interferentiekleur) en zware mineralen die aan elkaar gekit zijn met een mica-kwartsrijk cement. De veldspaten zijn vaak sterk verweerd tot kleimineralen waardoor ze lokaal volledig wegeroderen en er een secundaire porositeit ontstaat. Fig. 102 toont een dergelijke kleine veldspaatkorrel (midden, zie pijl) die sterk verweerd is langs de splijtingsvlakken van het veldspaatkristal. Linksboven zien we trouwens een

donkere zone, nu grotendeels met kleine grijze kleimineralen opgevuld (kaoliniet), afkomstig van een inmiddels volledig verdwenen veldspaatkorrel (holte). Bovendien blijken er in de zandsteen ook nog dunne laagvormige concentraties voor te komen van opake (niet doorzichtige) korrels die bestaan uit chemisch minder stabiele zware mineralen (zoals hoornblende en pyroxeen), én pyriet, die na verwering een verhoogde porositeit doen ontstaan. Fig. 103 toont deze verhoogde porositeit aan de hand van de gele epoxyhars die de secundaire poriën opvult en hierdoor goed accentueert. Deze nieuwgevormde zgn. secundaire porositeit is gesloten, d.w.z. dat bevriezend water geen expansieruimte krijgt zodat de kristallisatiedruk van het ijs het gesteente zal doen barsten: de steen is dus duidelijk vorstgevoelig! Wanneer een dergelijk pyrietrijk laagje aan of kort onder het steenoppervlak ligt kan roestvorming optreden (ook nog in de hand gewerkt door de voegmortel) waardoor het oppervlak van de steen volledig bruin gaat verkleuren (Fig. 104).

Nog een weetje?

Het verlies aan kasseipatrimonium in België en Nederland is schrijnend, zowel in historische stadscentra, op plattelandswegen als op erven of binnenpleinen van private gebouwen. Bij de herinrichting van autoluwe stadskernen is er vernieuwde belangstelling voor het gebruik van kasseien, maar er worden eerder importstenen gebruikt die voornamelijk van Aziatische oorsprong zijn. De essentiële kwaliteiten van kasseien zijn: een lage impact op het milieu tijdens hun hele levensduur en hun bijdrage in de opwaardering van het stedelijk gebouwde patrimonium. Historische Belgische straatstenen zijn erg divers van samenstelling en van eigenschappen en ze bezitten een unieke en onvervangbare geodiversiteitswaarde (Elsen et al, 2014).
Voor wie nog extra informatie wil over deze problematiek, verwijzen we graag naar de volgende artikels:
https://www.yumpu.com/nl/document/read/29749621/een-bedreiging-voor-inheemse-natuursteen-dimension

https://docplayer.nl/2796004-De-verkleuring-van-blauwe-hardsteen-ontrafeld.html

https://studylibnl.com/doc/1349710/polycaro-17-nl.---bestratingsgids.be



FIG. 96. **Chinese blauwe hardsteen. Macroscopische opname met goed herkenbare en vrij grote oöïden.**



FIG. 97. **Grote intraklasten bestaande uit oölitische kalksteen in Chinese blauwe hardsteen.**

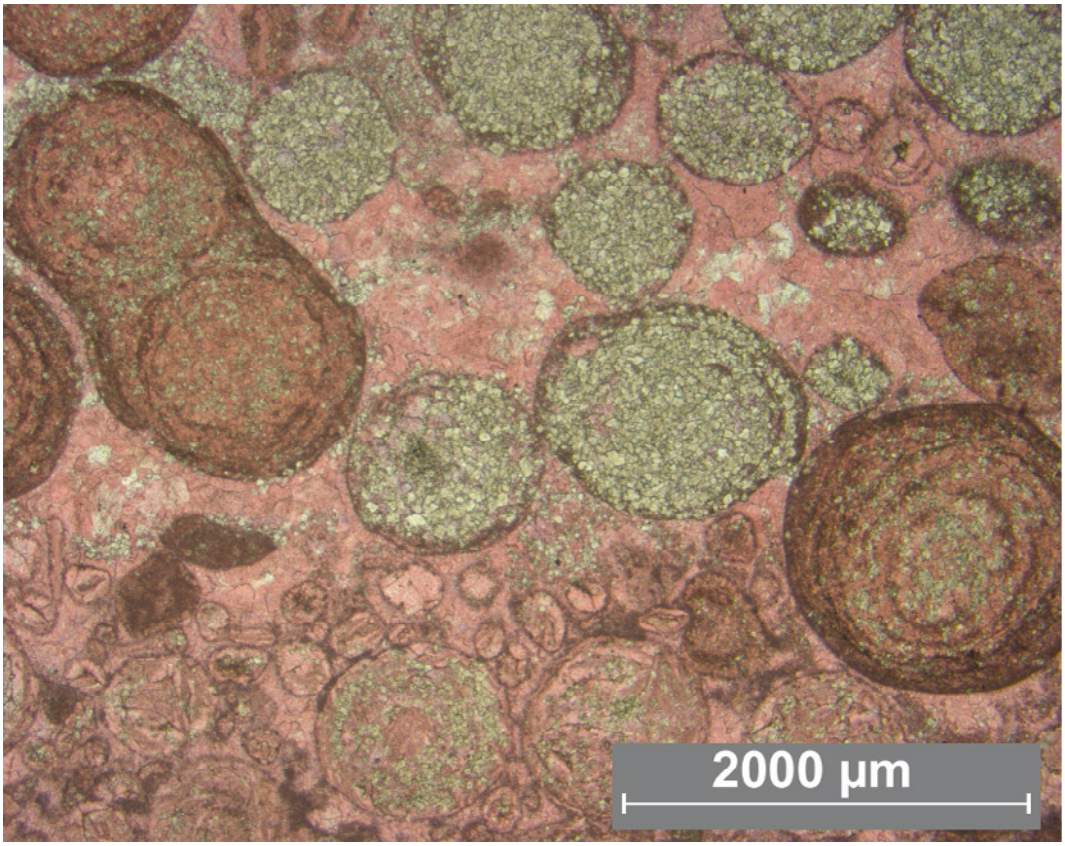


FIG. 98. **Microscopische opname van een slijpplaatje van Chinese blauwe hardsteen.**

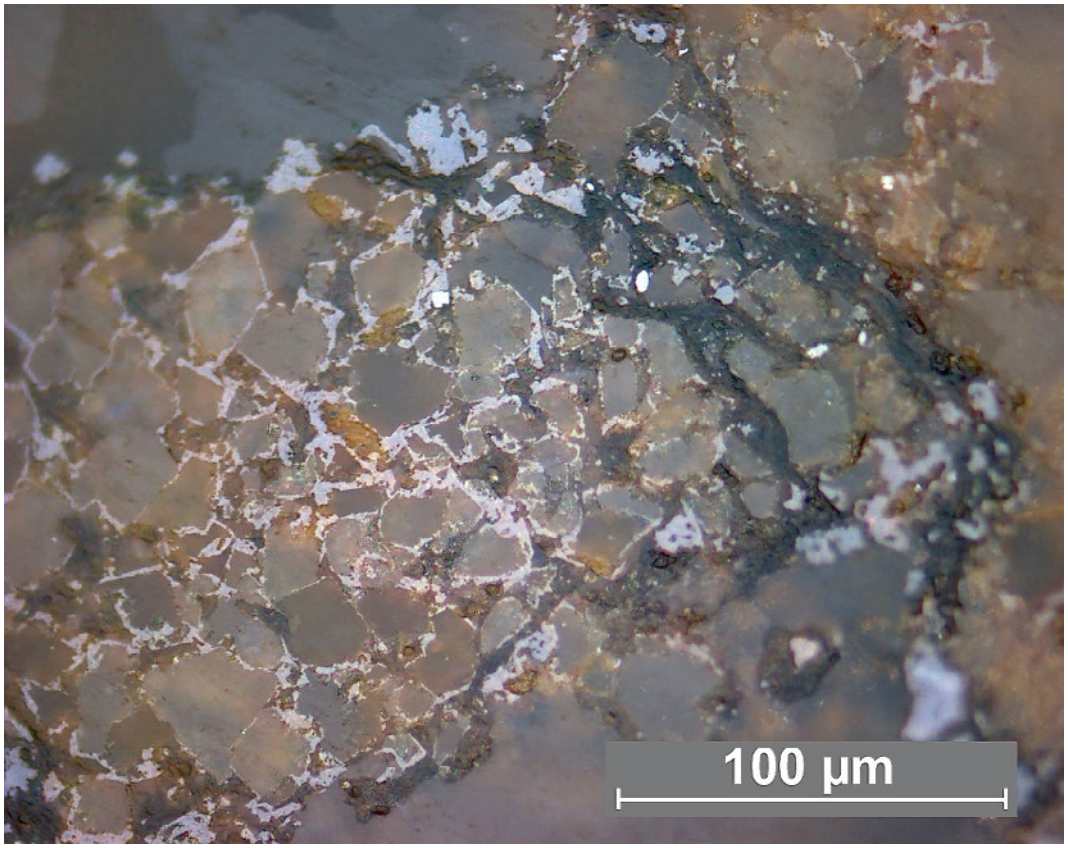


FIG. 99. Microscopische opname van een slijpplaatje van Chinese blauwe hardsteen, in opvallend licht.



FIG. 100. Schade aan platines (kasseien met een vlakke bovenkant) gemaakt van Indische zandsteen.

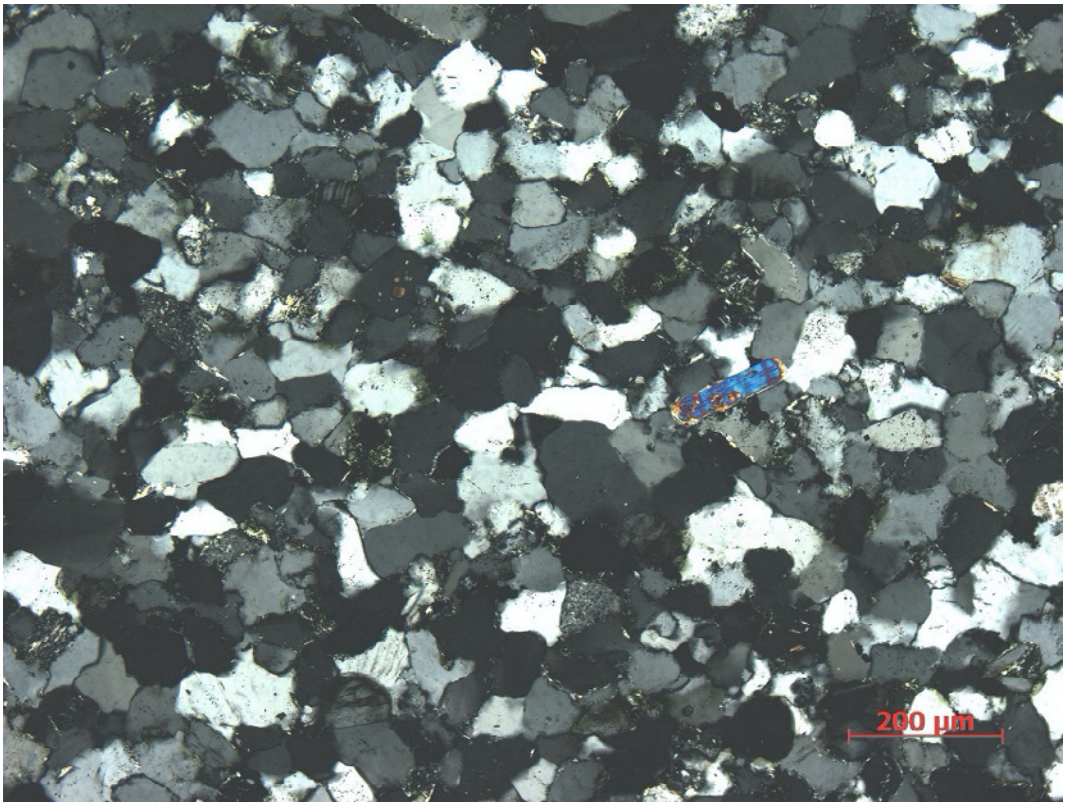


FIG. 101. **Microscopische opname van een slijpplaatje van Indische zandsteen.**

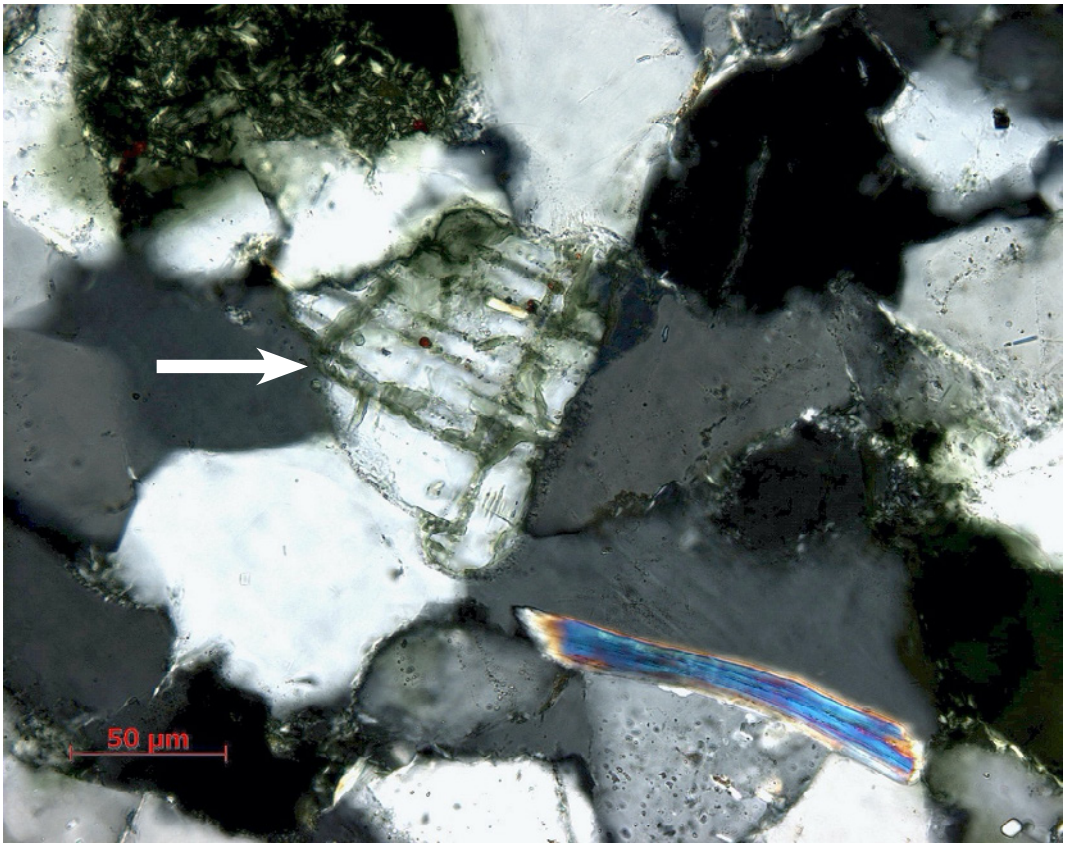


FIG. 102. **Detailopname van een slijpplaatje van Indische zandsteen, met gecorrodeerde veldspaatkorrel (midden).**



FIG. 103. Microscopische opname van een slijpplaatje van Indische zandsteen, met verticaal op elkaar volgende laagvormige concentraties van zware mineralen.



FIG. 104. **Bruin verkleurde oppervlakken van platines in Indische zandsteen.**



Parement en raamomlijstingen van de 13e eeuwse Sint-Jan-De-Doperkerk van Walsbets, volledig gemaakt in grijsgele tufsteen van Lincent, boven een rij van grijze kwartsiet van Tienen (ondermuur). De sterke afbladdering van de steen is het gevolg van zijn grote vorstgevoeligheid door de aanwezigheid van talrijke gesloten holten van opgeloste sponsnaalden.

HOOFDSTUK 19

SPONSNAALDEN (SPICULAE)

Dit hoofdstuk gaat over fotogenieke microfossielen die we frequent terugvinden in sedimentaire gesteenten van België, meer bepaald **spiculae** of **sponsnaalden**. Spons- of skeletnaalden zijn onderdelen van het inwendige skelet van sponzen (*Porifera*), die aan het weke sponslichaam (geleiachtige massa rond een centrale holte) bescherming en stevigheid bieden. Dit skelet bestaat uit organische of minerale bestanddelen. De biologische indeling van sponzen (er zijn zo'n 8400 soorten bekend) is gebaseerd op de chemische samenstelling en de symmetrie van de sponsnaalden. Deze kunnen behalve uit spongine (een eiwit) uit calciumcarbonaat (calciet) of uit opaal (kiezelzuur) bestaan. Kalksponzen (*Calcarea*) bezitten spiculae van calciet, terwijl Sclerospongiae (koraalsponzen) een basisskelet hebben bestaande uit calciet. Opaal is het basisbestanddeel van kiezelspiculae die hoofdzakelijk voorkomen bij de *Demospongiae* (gewone sponzen) en bij de Hexactinelliden (glassponzen). De uitgestorven groep van de stromatoporen zou een aparte orde van deze Demospongiae vertegenwoordigen. Sponzen behoren tot de oudst bekende ongewervelde meercellige dieren op aarde. Hiervan verschenen de eerste op het einde van het Precambrium (zo'n 600 miljoen jaar geleden). Fig.105 toont het oudst gekende minisponsje, bestaande uit fosfaat, in 2015 ontdekt in China).

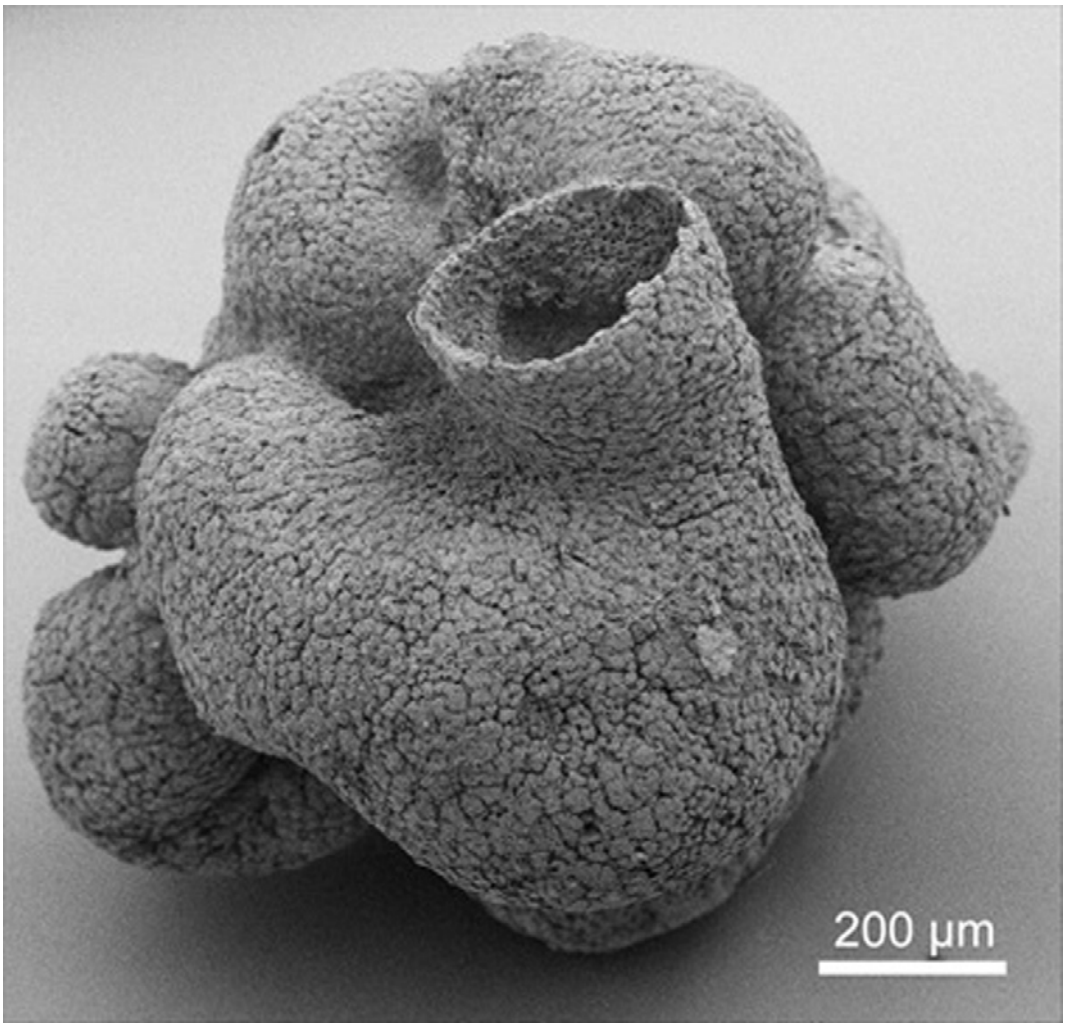


FIG. 105. **Overgenomen van** https://phys.org/news/2015-03-oldest-sponge-china.html

De spiculae van sponzen kunnen in 2 groottetypen worden onderverdeeld. Enerzijds zijn er de *megascleren* die met het blote oog zichtbaar zijn (ze worden 0,1mm tot 10 mm groot): zij vormen de bouwstenen van het hoofdskelet van de spons. Daarnaast hebben we *microscleren* (met een grootte van 0,01 mm tot 0,1 mm) die veelal los in de geleiachtige massa van de spons zitten. De microscleren gaan na de dood van de spons meestal verloren omdat ze oplossen. De megascleren zijn echter goed fossiliseerbaar en hierdoor bruikbaar voor de wetenschap (paleontologie en stratigrafie). Sponsnaalden zijn zeer gevarieerd van vorm. Fig. 106 illustreert goed de diversiteit van spiculae van recente Demospongiae: ze worden vaak onderverdeeld op basis van het aantal assen, hun symmetrie, het aantal en de vorm van de stralen. Zo worden één-, twee-, vier- en vijfassige spiculae onderscheiden. Bovendien komen ook zgn. *sterrasters* voor, eigenaardige sferische of kogelvormige spiculae (zie Fig. 106 rechtsboven).

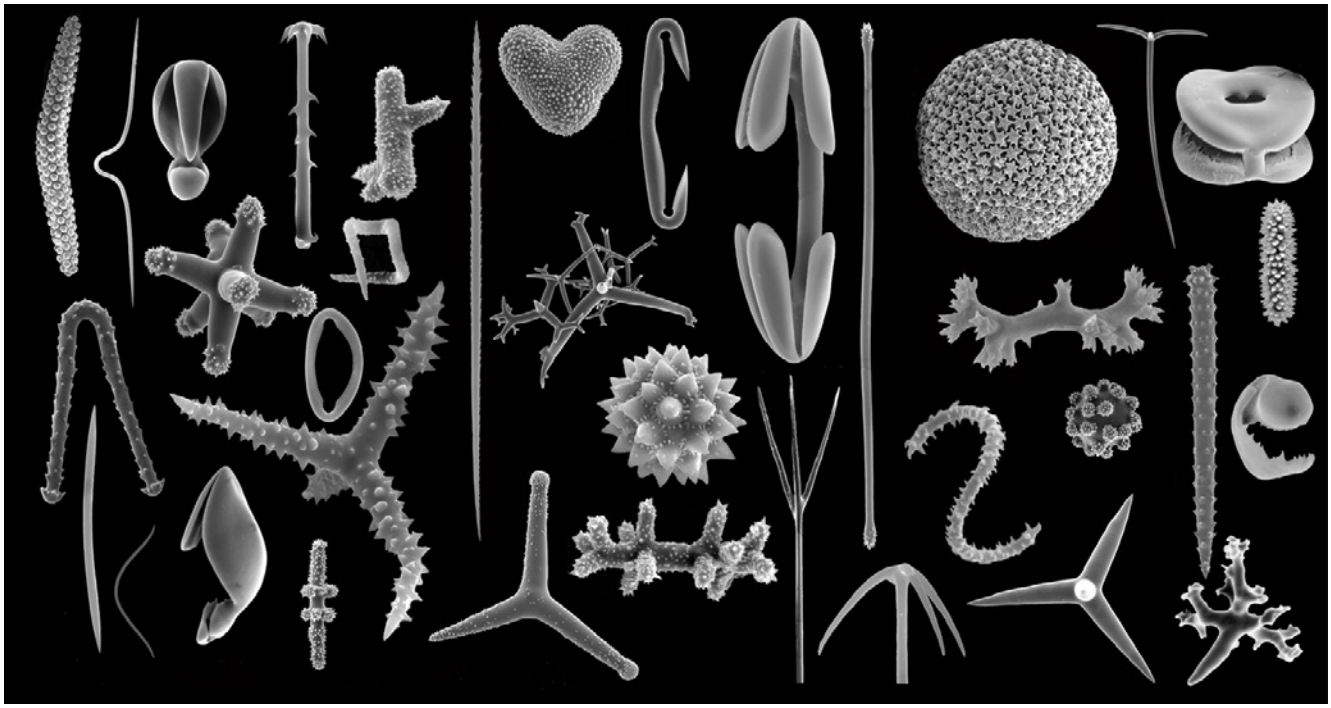


FIG. 106: **Overzicht van de vormrijkdom van recente sponsnaalden, overgenomen van** https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Demospongiae_spicule_diversity.png

Een plots of sterk verhoogd voorkomen ("bloei") van mariene organismen zoals phytoplankton (cyanobacteriën, coccolieten), radiolaria, diatomeeën, én sponzen, kan soms worden gelinkt aan verhoogde vulkanische activiteit. Daarbij zal een sterke toename van de hoeveelheid nutriënten (waaronder ijzer) uit vulkanische assen, de biologische activiteit in het oppervlaktewater van de oceanen sterk stimuleren. Sponsnaalden komen regelmatig voor in sedimentaire gesteenten, en dit in quasi alle gekende geologische perioden. Maar soms zijn ze uitzonderlijk talrijk aanwezig, zoals in enkele specifieke Belgische gesteenten, van oud naar jong: het Rode marmer van Baelen (Famenniaan, Boven-Devoon), de Tufsteen van Lincent (Paleoceen) en de veldsteen (Ieperiaan, Eoceen). Het opaal (biogeen silica) van kiezelrijke sponsnaalden is chemisch niet erg stabiel en zal vaak gaan oplossen, waardoor er een secundaire porositeit ontstaat en het omringende sediment of gesteente dikwijls ook gaat verkiezelen. Het opaal zal in principe worden omgezet naar meer stabielere kwartsvormen, zoals chalcedoon en (mega)kwarts. Biogeen silica wordt tijdens de diagenese vaak vervangen door calciet, pyriet, glauconiet en fosfaat.

Het **Rode marmer van Baelen** is in feite een kalksteen die ontstond uit de verstening van een reusachtige kalkslibheuvel (een zgn. "mud mound") gevormd en bevolkt door bacteriën, sponzen, crinoïden en andere microproblematica (dit zijn kleine organismen waarvan men de juiste biologische affiniteit nog onvoldoende kent). Verspreid in de grondmassa van de kalksteen vinden we regelmatig kiezelsponsnaalden terug. Fig. 107 is een microscopische opname (in doorvallend licht) van een slijpplaatje gemaakt van een staal van de roodgekleurde kernzone van het Rode marmer van Baelen: let op de aanwezigheid van talrijke dwars- en lengtedoorsneden van kleine éénassige sponsnaalden links in het midden van de foto. De grote ronde objecten zijn doorsneden van crinoïden. De eigenaardige, langwerpige en getande witte calcietrijke (kristallijne) structuren in het rode marmer kennen we als "stromatactis": je ziet fragmenten hiervan in Fig. 107, één onderaan en één helemaal bovenaan. Stromatactisstructuren zijn zeer karakteristiek voor de andere, meer bekende Belgische rode marmers uit het Frasniaan: deze structuren zouden holten vertegenwoordigen die ontstonden na het wegrotten van de weke sponslichamen, en die nadien snel met grofkorrelig calciet werden opgevuld. Fig. 108 toont een microscopische opname van een slijpplaatje (in doorvallend licht) van een staal van een kalkmodderrijke zone in de kalkslibheuvel. Hierin is een mooie doorsnede te zien van een vierassige megascleer (je kan het centrale kanaal goed zien). Op dezelfde foto zie je bovendien een stuk schaal van een slak (rechtsboven) en kleine, beige gekleurde buisvormige kalkwieren (linksonder).

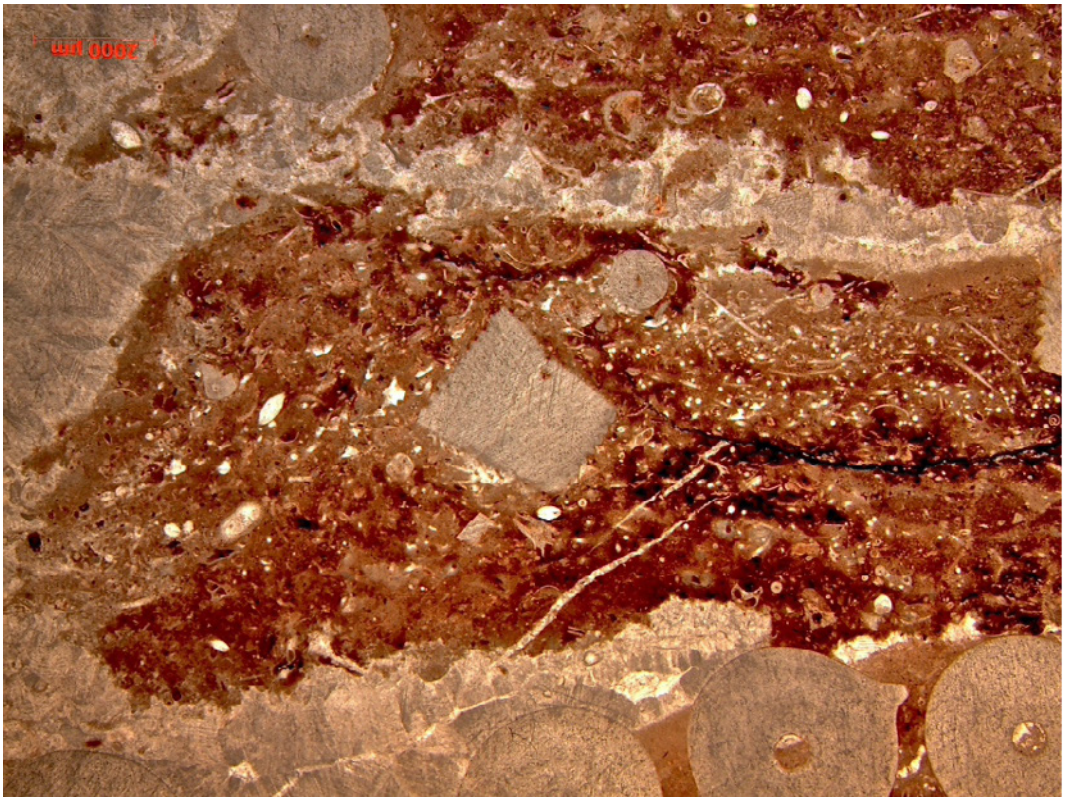


FIG. 107. **Microscopische opname van een slijpplaatje gemaakt in het Rode marmer van Baelen, met mooie stromatactis structuren en talrijke kleine sponsnaalden in de matrix.**



FIG. 108. **Doorsnede van een sponsnaald. Microscopische opname van een slijpplaatje van het Rode marmer van Baelen.**

Een belangrijke historische bouwsteen voor het Getebekken is de **Tufsteen van Lincent**, een lichtgele tot groengele, zachte kiezelrijke en licht glauconiethoudende kalksteen, die vroeger werd ontgonnen ten zuiden en ten oosten van Sint-Truiden. Deze kalksteen is zeer rijk aan sponsnaalden. Meestal zijn de spiculae opgelost en laten ze langwerpige holten achter die je gemakkelijk met het (geoefende) blote oog of met behulp van een handloep kan waarnemen. De aanwezigheid van talrijke minuscule gesloten holten (secundaire porositeit) is dé reden voor de slechte reputatie van deze steen. Hij heeft namelijk een hoge vorstgevoeligheid, tenminste als je hem volledig onbeschermd (zonder te kaleien) laat aan de buitenkant van een gebouw of monument. Fig. 109 toont een microscopische opname (in doorvallend licht) van een slijpplaatje gemaakt van de Tufsteen van Lincent, waarbij de talrijke dwars- en lengtedoorsneden van enkelvoudige (éénassige) of vertakte (meerassige) holle buisjes (opgeloste spiculae) goed opvallen naast een kleine meerkamerige foraminifeer en een zeldzame groene glauconietkorrel. Fig. 110 is een gelijkaardige microscopische opname van een slijpplaatje. Deze toont bovendien enkele doorsneden van kleine ovaalvormige spiculae met radiaalstralige structuur, de zgn. sterrasters. Het kiezelzuur dat door oplossing van de spiculae vrijkomt gaat de kalksteen verkiezelen en zorgt voor veel hardere grijzere kernen in de steen.
Fig. 111 toont een microscopische opname (doorvallend gepolariseerd licht met gekruiste polarisatoren) van een slijpplaatje in dezelfde Tufsteen van Lincent, waar de holten van de opgeloste sponsnaalden terug werden opgevuld met vezelig chalcedoon (afwisselend wit en grijs in beeld).

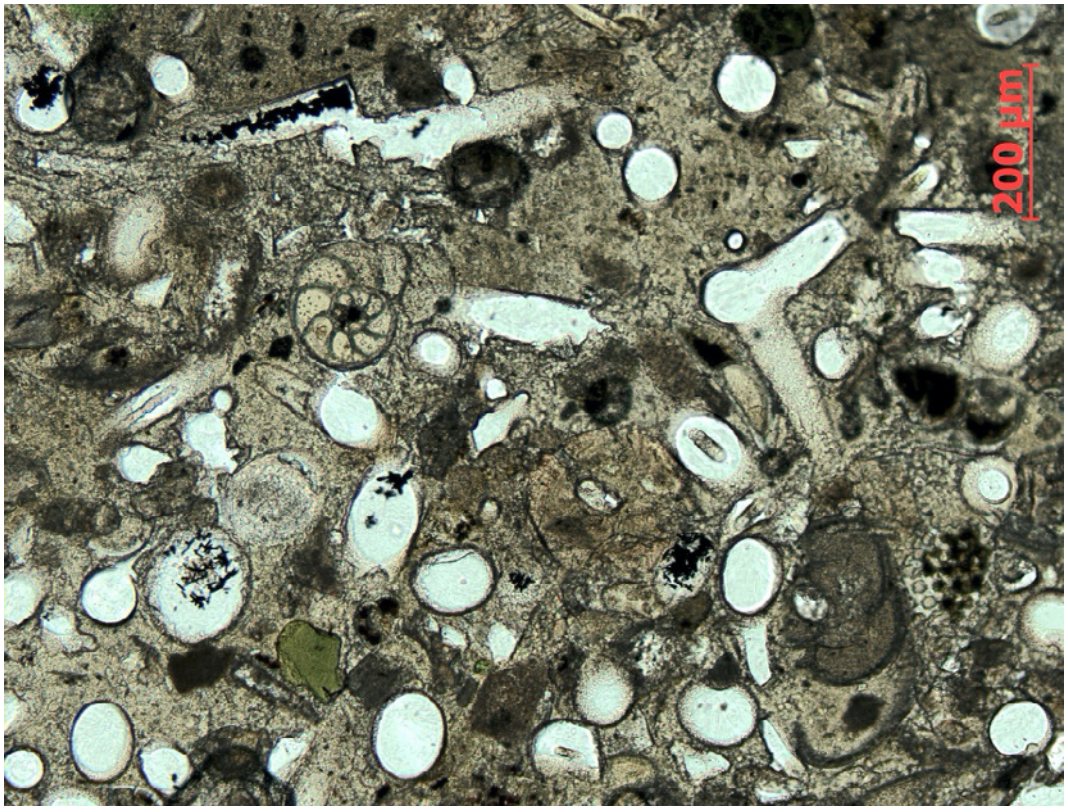


FIG. 109. **Tufsteen van Lincent. Microscopische opname van een slijpplaatje met mooie doorsneden van sponsnaalden**

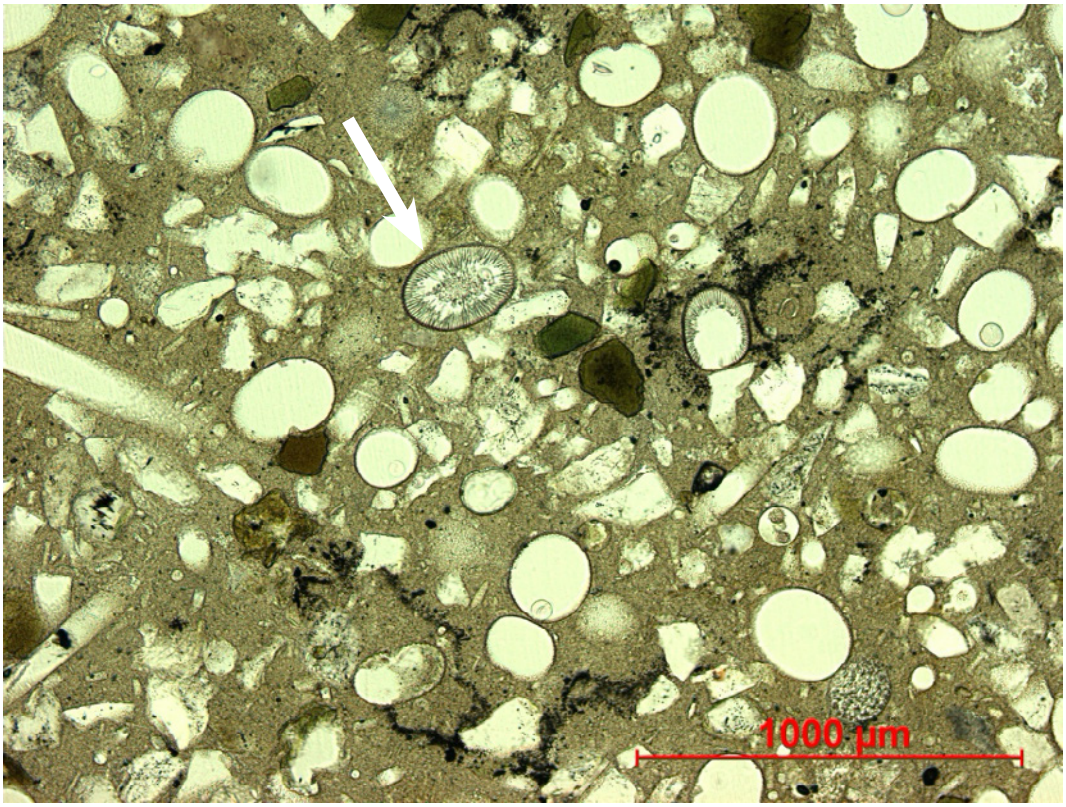


FIG. 110. **Tufsteen van Lincent. Microscopische opname van een slijpplaatje.**

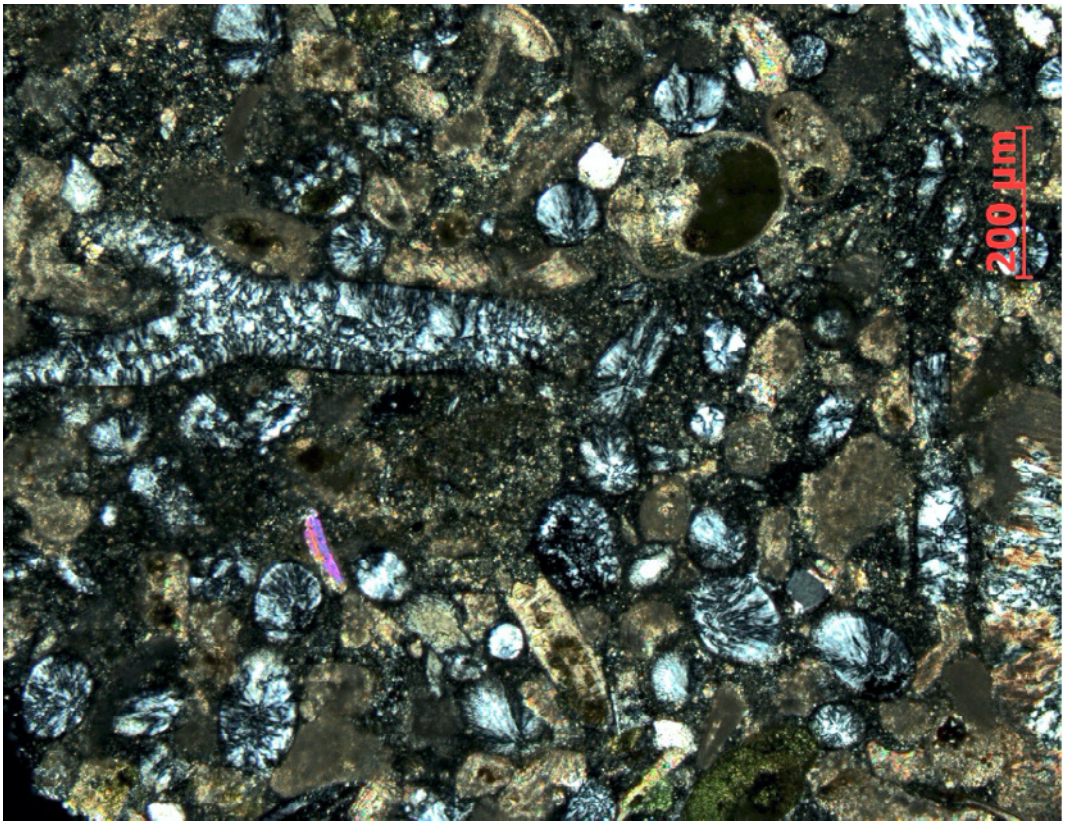


FIG. 111. **Tufsteen van Lincent. Microscopische opname van een slijpplaatje (gepolariseerd licht met gekruiste polarisatoren).**

Veldsteen ten slotte is een van de oudst gekende en gebruikte bouwstenen uit West- en Oost-Vlaanderen. Het is een groengrijze, verkiezelde, glauconiethoudende zandsteen, waarvan de kleur wijst op de wisselende intensiteit van de verkiezeling: hoe donkerder, hoe meer verkiezeld doorgaans. Lokaal komen in de veldsteen ook aanrijkingszones voor van sponsnaalden (origineel opaal van samenstelling), die vaak zijn opgelost en/of vervangen door chalcedoon. Karakteristiek voor de veldsteen is het feit dat er een dunne opaalfilm voorkomt rond de zandkorrels en dat de ruimte ertussen doordrongen is of vervangen door chalcedoon. Dit kan je goed zien op de volgende twee foto's (Fig. 112 en 113). Deze foto's stellen hetzelfde microscopische beeld voor van een slijpplaatje, gemaakt in een stuk sterk verkiezelde veldsteen, bij doorvallend licht (Fig.112, zonder gekruiste polarisatoren; Fig. 113 met gekruiste polarisatoren en met toevoeging van een gipsfilter). De met chalcedoon opgevulde spiculae zijn heel goed herkenbaar (blauw-geel-paars) evenals de volledig verkiezelde (glazige) grondmassa (lichtbeige gekleurd in Fig. 112): dit blijkt uit de overeenkomstige homogene paarse kleur in Fig. 113 (effect van de combinatie van gekruiste polarisatoren en gipsfilter, verwijzend naar het isotrope karakter van cryptokristallijn kwarts). De onregelmatige afgeronde korrels zijn de zandkorrels, waarrond je de dunne transparante opaalfilm ook goed kan herkennen. De aanwezigheid van sponsnaalden in het Rode marmer van Baelen wijst op de speciale sponsrijke biotoop van deze kalkslibheuvel, terwijl de grote rijkdom aan sponsnaalden in zowel de Tufsteen van Lincent als de veldsteen waarschijnlijk kan verklaard worden door periodes van verhoogde vulkanische activiteit in de Atlantische Oceaan tijdens het Laat Paleoceen en Vroeg Eoceen. Het zeewater werd aangerijkt met het silicium uit de vulkanische assen. Diverse organismen konden hiermee hun skeletten bouwen.

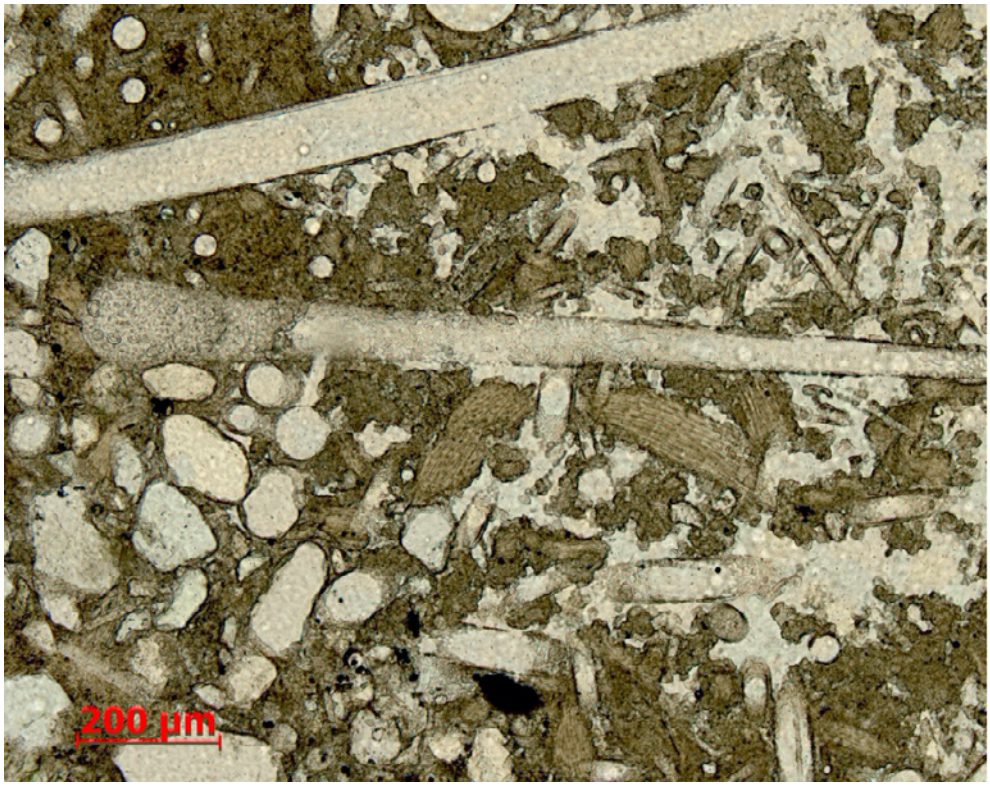


FIG. 112. **Veldsteen. Microscopische opname van een slijpplaatje.**

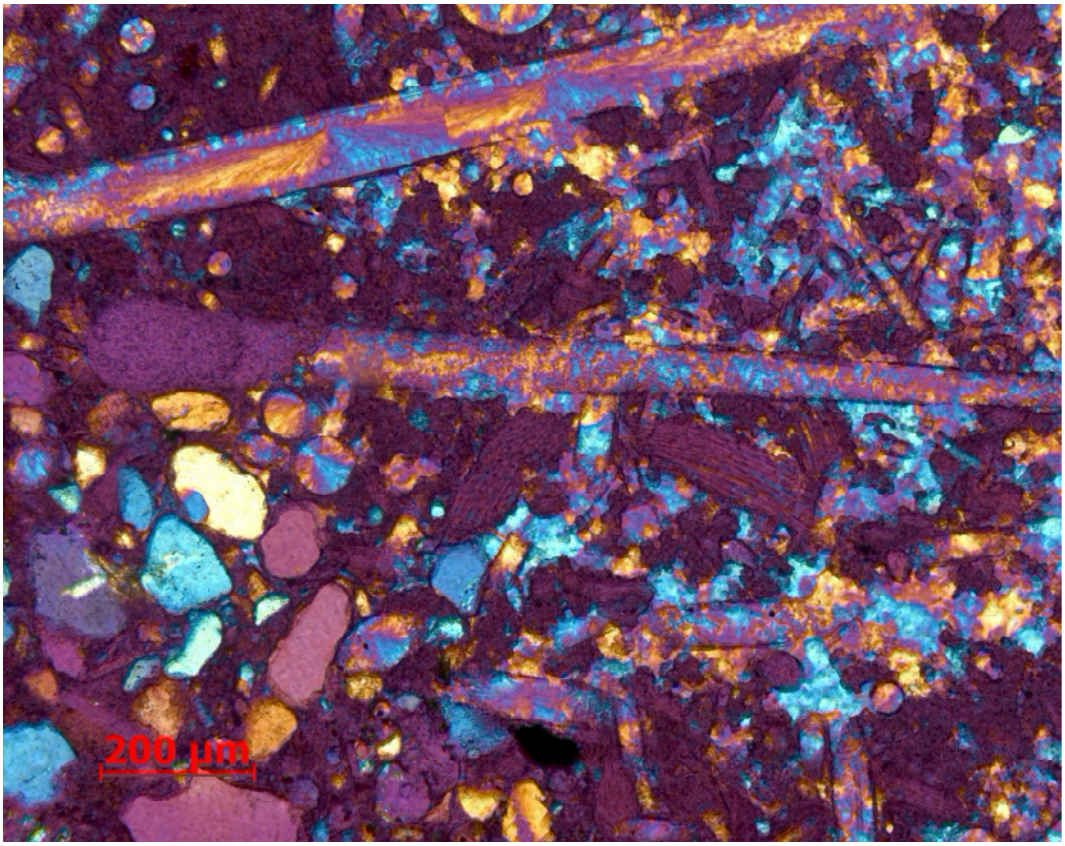


FIG. 113. **Veldsteen. Microscopische opname van een slijpplaatje. Zelfde beeld als Fig. 115, maar hier genomen in doorvallend gepolariseerd licht met gekruiste nicols.**

Nog een weetje?

De oorsprong van het kiezelzuur in vuursteen is grotendeels te wijten aan het oplossen van kiezelsponsnaalden die aanwezig zijn in het krijt of korrelkrijt van de Formaties van Gulpen en Maastricht. Je kan deze scherpe naaldjes soms voelen met je vinger op een vers glad breukvlak van de vuursteen en met je handloep kan je ze bovendien heel duidelijk zien. De macroscopische en microscopische identificatie van dergelijke microfossielen kan een belangrijk hulpmiddel zijn, naast dat van meer gesofistikeerde geochemische technieken zoals XRF en ICP-MS, bij de herkomstbepaling van prehistorische lithische artefacten gemaakt uit vuursteen.



Stuk Romeinse mozaïekvloer bestaande uit stukjes van diverse en zeer kleurrijke antieke marmers, afkomstig uit verschillende regio's van het Middellandse Zeegebied. (Griekenland, Turkije, Egypte, Tunesië). Huis van Cupido en Psyche, Ostia Antica, Rome, Italië.

HOOFDSTUK 20

WIT MARMER

Bij het woord “wit marmer” denken we spontaan aan de beroemde witmarmeren beelden zoals de prachtige David van Michelangelo of de indrukwekkende Trevifontein van Bernini in Rome, of nog aan de majestueuze witmarmeren zuilen en altaren in Vlaamse barokke kerken. Vrijwel al deze objecten werden gemaakt uit Carrara-marmer, een spierwit en vrij hard, metamorf gesteente dat volledig is opgebouwd uit één mineraal, helder calciet (of dolomiet). De calcietkristallen hierin zijn in alle richtingen georiënteerd en geven aan de steen een suikerachtige (saccharoïde) structuur (denk maar aan een suikerklontje) met talrijke kleine calcietkristallen die schitteren in het zonlicht en die goed waarneembaar zijn op een vers breukvlak. Het woord marmer is trouwens afgeleid van het Griekse woord “marmaros” voor “glanzende steen”. Marmer is een metamorf gesteente ontstaan uit kalksteen onder zeer hoge druk en temperatuur. Hierdoor zijn alle fossielen en sedimentaire structuren in de kalksteen vernietigd en is de steen volledig kristallijn geworden. Sinds de klassieke oudheid wordt wit marmer gebruikt in de beeldhouwkunst: het materiaal was zeer geliefd bij Griekse en Romeinse beeldhouwers omdat het licht enkele mm in de steen kan doordringen. Fig.114 is een detail van een Romeins beeldhouwwerk (deksel van een sarcofaag) in wit marmer, opgesteld in het Archeologisch Park (Museum) van Ostia Antica, bij Rome.



FIG. 114. **Romeins beeldhouwwerk uitgevoerd in wit marmer. Ostia museum, Italië.**

Wit marmer is zeer kostbaar en de klassieke beelden die we in musea kunnen bewonderen kosten fortuinen. Vandaar dat er vaak vervalsingen voorkomen en antiekhandelaren en musea zeer beducht zijn voor de aankoop van valse kopieën of “antieke” beelden gemaakt van moderne witte marmers. De klassieke witte marmers worden vaak genoemd naar de plaats van ontginning, zoals Carrara (Italië), Pentelikon, Naxos, Paros (Griekenland), Proconnesus (Turkije), enz. (Fig. 115). “Belgische marmers” anderzijds zijn strikt genomen geen échte marmers omdat ze niet metamorf zijn, maar kalksteensoorten. Ze werden (en worden nog steeds) zo genoemd omwille van hun goede polijstbaarheid en kleurenpracht (aders). Hun benaming wordt echter behouden omwille van cultuurhistorische en commerciële redenen. Voor al wie meer wil weten over onze mooie Belgische marmers verwijs ik graag naar het mooie boek dat hierover in 2014 is verschenen (De Ceukelaire et al, 2015).

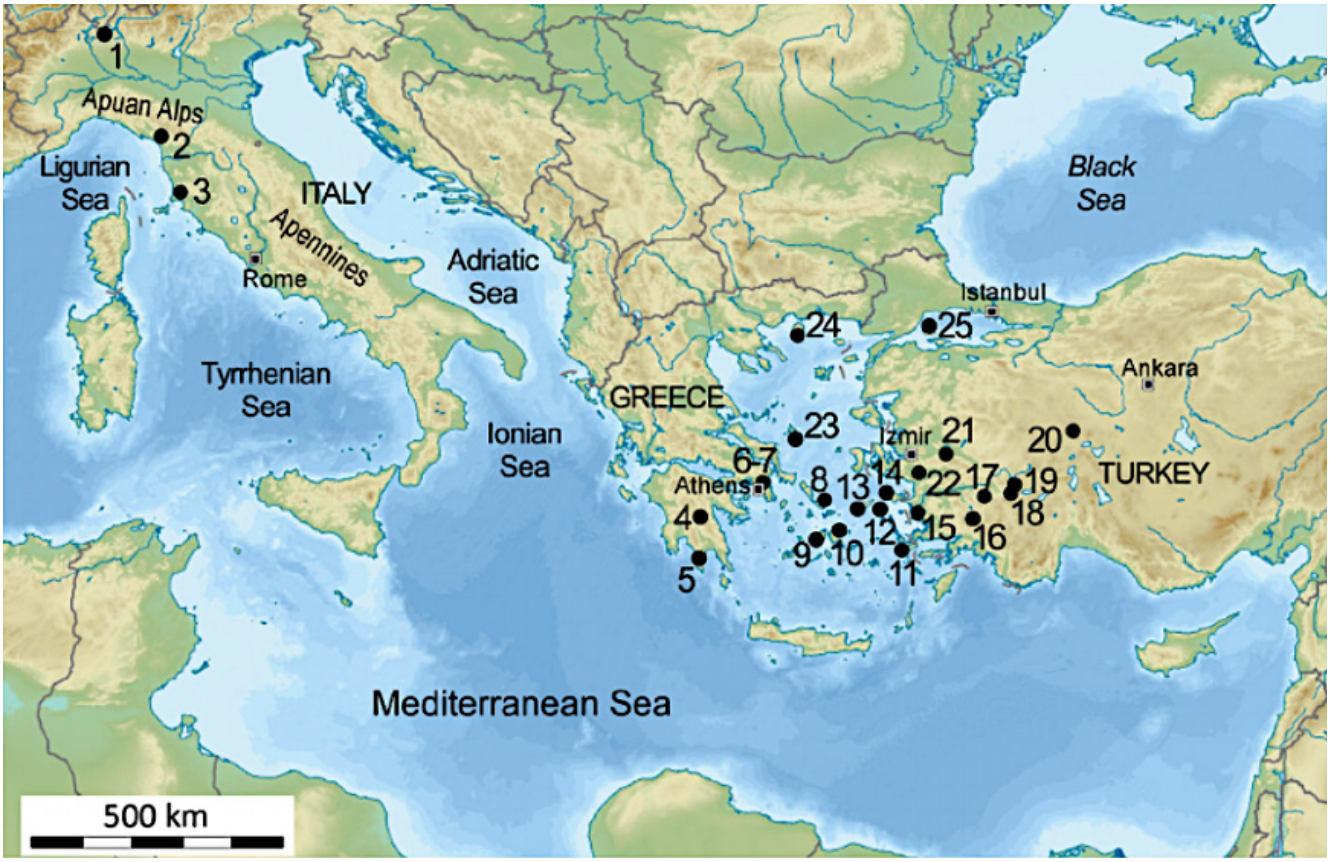


FIG. 115. **Kaartje met de locatie van de ontginningsplaatsen (steengroeven) van de belangrijkste antieke witte marmers in het centrale en het oostelijke gedeelte van de Middellandse Zee. Legende: 2: Carrara, 6-7: Pentelische bergen, 9. Paros, 10: Naxos, 25: Proconnesus (Figuur overgenomen uit Antonelli & Lazzarini, 2015).**

Een goede techniek om de verschillende, sterk op elkaar gelijkende, variëteiten wit marmer van elkaar te onderscheiden is microscopisch onderzoek van slijpplaatjes. De Gentse professoren Luc Moens en Paul De Paepe hebben in de jaren '80 van de vorige eeuw baanbrekend werk verricht in de herkomstbepaling van klassieke witte marmers. Zij combineerden petrografisch onderzoek met geochemisch onderzoek en isotopenanalyse (van de stabiele koolstof- en zuurstofisotopen). Ze verzamelden referentiemateriaal uit alle tot hiertoe bekende antieke marmergroeven uit het Middellandse Zeegebied en voerden hierop de hogervermelde microscopische en geochemische analyses uit. Door vergelijkend onderzoek van gelijkaardige analyses uitgevoerd op kleine boorkernen (diameter 15 mm) in diverse objecten in wit marmer, met deze van hun referentiecollectie, konden zij de juiste herkomst achterhalen en "echt" van "vals" onderscheiden. Een aantal beroemde musea in de USA en Frankrijk bleken niet zo blij te zijn met sommige onderzoeksresultaten. Tegenwoordig beschikken we over uitgebreide referentiedatabanken die gebaseerd zijn op de resultaten van vele honderden gepubliceerde analyses. Het meest succesvol blijkt een combinatie te zijn van petrografisch onderzoek met onderzoek van de stabiele isotopen van koolstof en zuurstof, de twee hoofdelementen van wit marmer.

In het kader van het onderzoek naar de herkomst van Romeinse decoratieve gesteenten in de voormalige *civitas Tungrorum*, hebben we kleine stalen van wit marmer mogen analyseren. Deze fragmenten zijn afkomstig van verschillende witmarmeren objecten (stukjes van plinten, kroonlijsten, mozaïekfragmenten, e.d.) uit de collecties van het Gallo-Romeins Museum in Tongeren (archeologische opgravingen van de museumsite in de Kielenstraat en van de Onze-Lieve-Vrouwe-Basiliek). Hieruit werden slijpplaatjes vervaardigd en kleine stukjes marmer werden voor isotopenonderzoek verstuurd naar een buitenlands laboratorium dat over de nodige apparatuur (massaspectrometer) en expertise beschikte.
De voornaamste petrografische kenmerken die toelaten om antieke witte marmers uit het Middellandse Zeegebied van elkaar te onderscheiden zijn de gemiddelde en (vooral) de maximale korrelgrootte van de calcietkristallen (hoofdbestanddeel van wit marmer), hun vorm (eventuele heterogeniteit van de kristallen, mozaïeken of clusters van kristallen), hun mogelijke voorkeursoriëntatie (bijvoorbeeld uitgerokken korrels), de aard van hun onderlinge contacten

(rechte of sutuurcontacten, driepuntscontacten,...), en de eventuele aanwezigheid van accessorische mineralen zoals glimmers, veldspaat, epidoot, amfibolen, serpentien, sulfiden, oxiden, enz.
De volgende vier foto's zijn microscopische opnames (telkens genomen in doorvallend gepolariseerd licht met gekruiste polarisatoren) van slijpplaatjes gemaakt van stukjes wit marmer uit vondsten van de hogergenoemde archeologische opgravingen in Tongeren. Calciet wordt gekenmerkt door mooie parelmoerkleurige interferentiekleuren. Ook vallen overal splijtingsvlakken (parallelle lijnen in de kristallen) op, die in diverse richtingen zijn georiënteerd als gevolg van de willekeurige oriëntatie van de calcietkristallen (die in principe 3 verschillende splijtingsrichtingen bezitten volgens het rhomboëdrische kristalstelsel).

Fig. 116 is een microscopisch beeld van een slijpplaatje in een stukje Carrara-marmer, gekarakteriseerd door een mooi polygonaal mozaïek van homogene of equigranulaire kleine calcietkristallen (kristallen van ongeveer dezelfde grootte) zonder voorkeursoriëntatie, met typische rechte tot lichtgebogen kristalvlakken en soms driepuntscontacten tussen de korrels. Accessorische mineralen (veldspaat) zijn zeldzaam. De maximale korrelgrootte is hier ongeveer 600 micrometer. Dit marmer wordt ook marmo lunense genoemd en is afkomstig uit Carrara, Toscane, Italië (Luni is de Latijnse naam voor Carrara).

Fig. 117 is een microscopisch beeld van een slijpplaatje gemaakt in een stukje Pentelisch marmer. Hier vertonen de calcietkristallen een lichte voorkeursoriëntatie door de wat uitgerokken vorm, met gebogen tot gegolfde kristalvlakken. De maximale korrelgrootte bedraagt zowat 800 micrometer. Deze witte marmer wordt ook marmor pentelicum genoemd en is afkomstig uit de marmergroeven in het Pentelikongebergte, Griekenland.

Fig. 118 is een microscopische opname van een slijpplaatje gemaakt van een stukje Proconnesisch marmer. Dit marmer vertoont een typische heterogene korrelgrootte en -textuur met kleine en grote calcietkristallen, waarbij de korrels vaak onregelmatige sutuurcontacten vertonen. De maximale korrelgrootte bedraagt hier 2,4 mm. Dit marmer is gekend als *marmor proconnesium* en is afkomstig van het eiland Proconnesus, het huidige Turkse Marmara Adasi.
Een opmerkelijk resultaat van dit onderzoek naar de herkomst van Romeinse witte marmers van Tongeren, was het feit dat de Romeinen in België ook lokale materialen hebben gebruikt als goede alternatieven voor de (dure) witte marmers uit het Middellandse Zeegebied. Zo hebben we kunnen vaststellen (en dit werd én microscopisch én via isotopenonderzoek aangetoond) dat de Romeinen grofkorrelige witte calcietaders gebruikten die voorkomen in een sterk met calciet dooraderde Ardense kalksteen, zoals de "Gris des Ardennes" (zie Fig. 119), een mooie variant van Belgisch grijs marmer. Fig. 120 is een microscopische opname van een slijpplaatje van dergelijk grofkorrelig "wit marmer", waarin je zeer grote calcietkristallen kan opmerken, gekarakteriseerd door een "golvende" interferentiekleur met "zwevende uitdoving" (geleidelijke overgang naar zwart). Op basis van het microscopisch onderzoek van een slijpplaatje gemaakt van een klein steenfragment dat de calcietader afboordde, hebben we kunnen we aantonen dat deze grofkorrelige witte calcietader effectief afkomstig was uit een stuk Belgisch grijs marmer (oorspronkelijk een kalksslibheuvel of mud mound daterend van het Boven-Frasniaan). We herkennen op Fig. 121 een mooi microfacies van bacterieel gevormde calcietstructuren langs de witte calcietaders (kijk bijvoorbeeld naar de "gevlokte" structuur linksboven, een "wolk" bestaande uit kleine donkere vlokken van micriet). Helemaal linksboven zie je bovendien nog een kleine meerkamerige foraminifeer. De rest bestaat uit met (donker) micriet omrande bioklasten zwemmend in een (heldere) sparietmatrix.

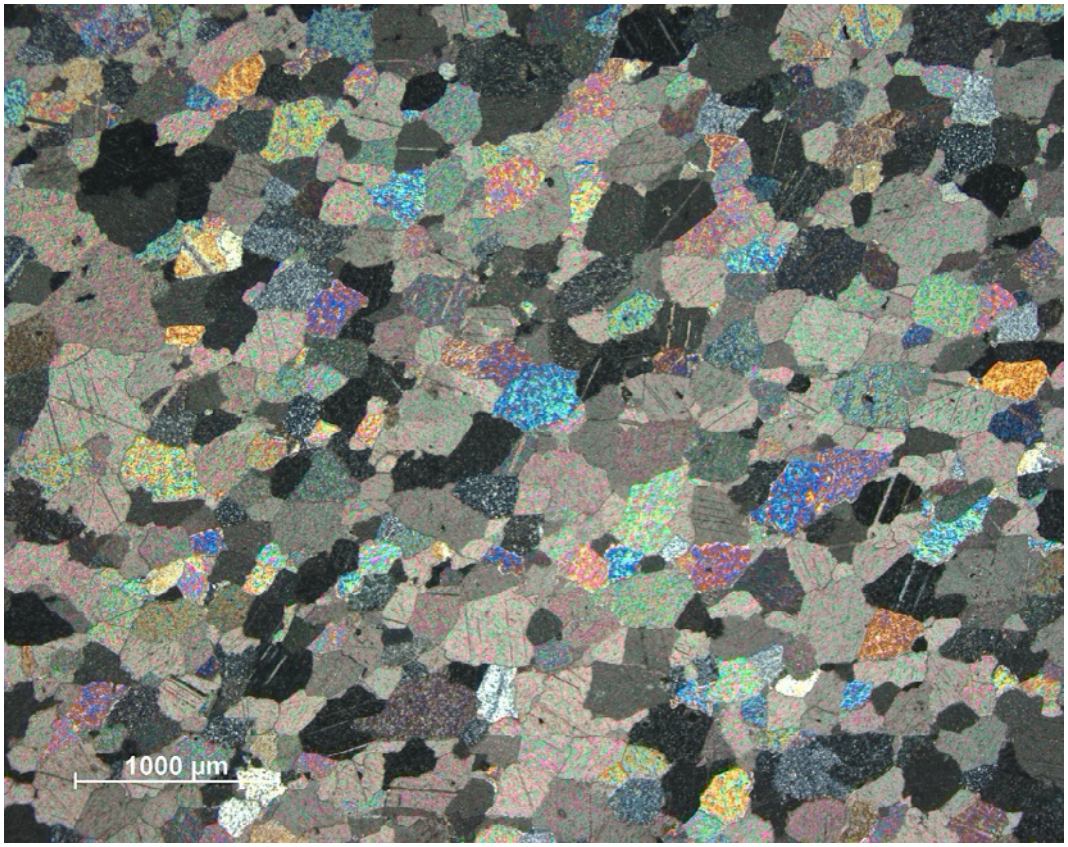


FIG. 116. Carrara-marmer, microscopische opname van een slijpplaatje.

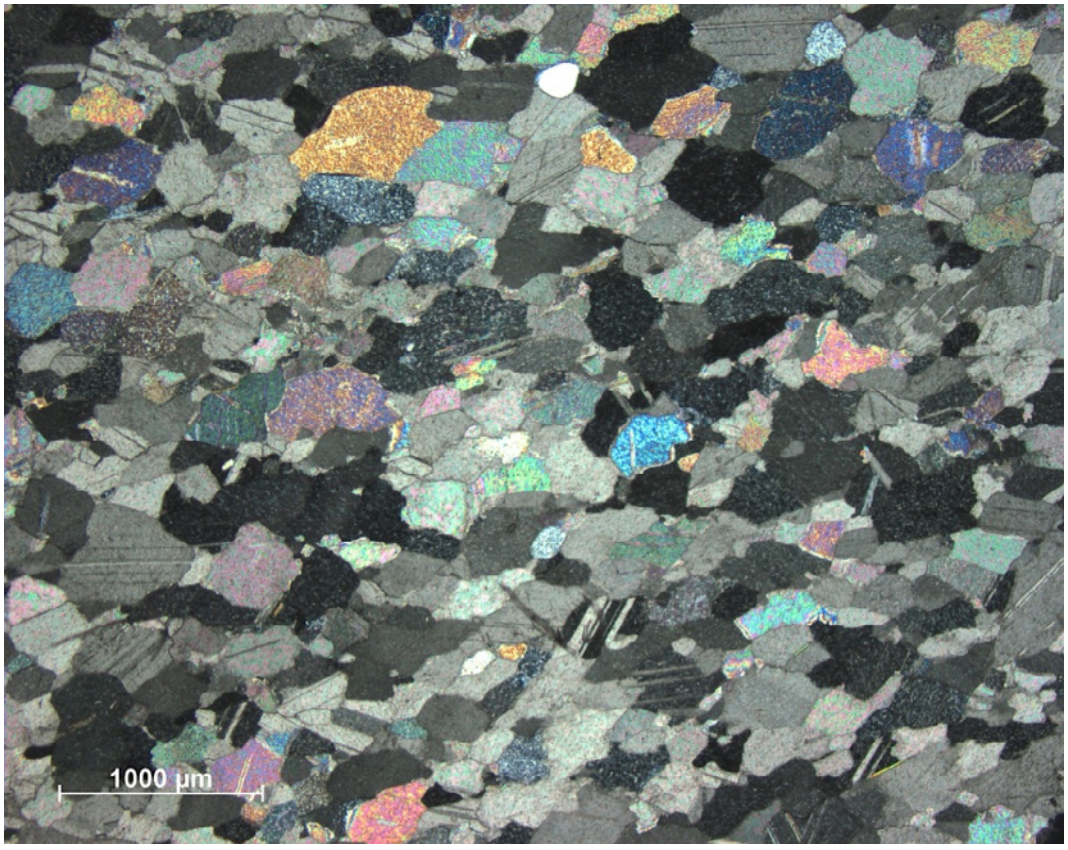


FIG. 117. Pentelisch marmer, microscopische opname van een slijpplaatje

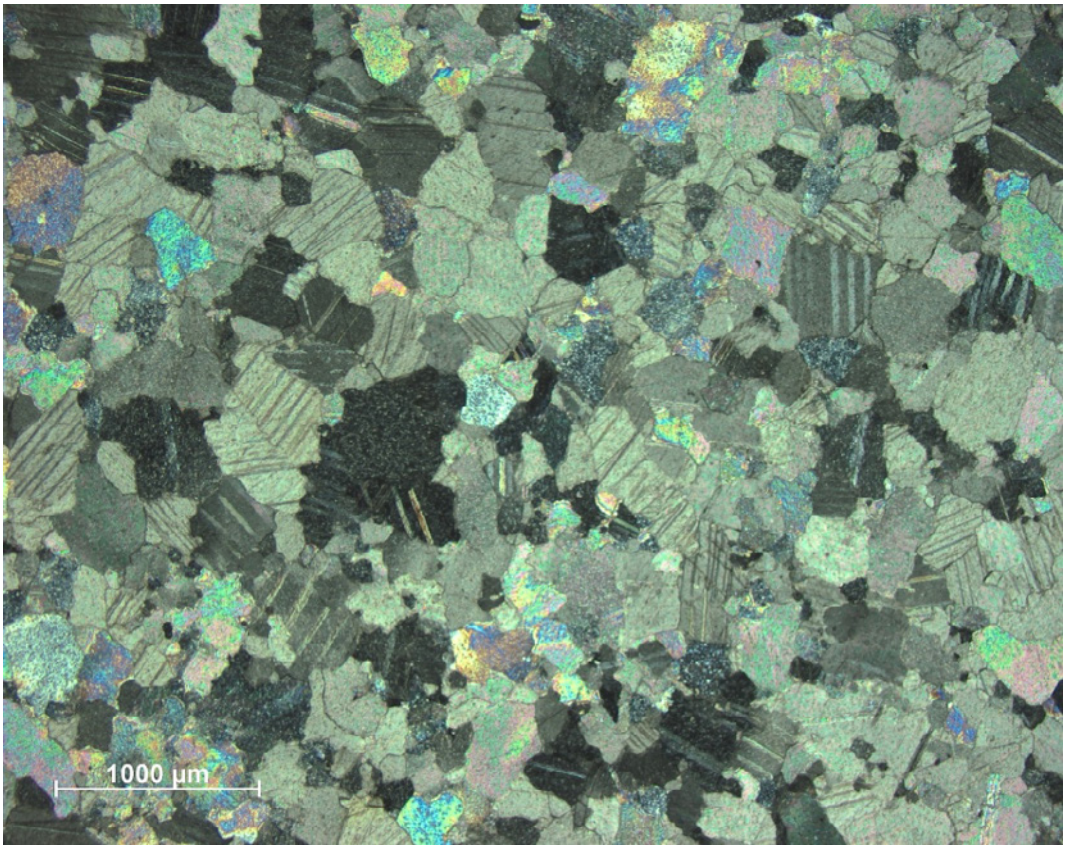


FIG. 118. **Proconnesisch marmer, microscopische opname van een slijpplaatje**



FIG. 119. **Gris des Ardennes. Stuk Romeinse marmerversiering, Tongeren.**

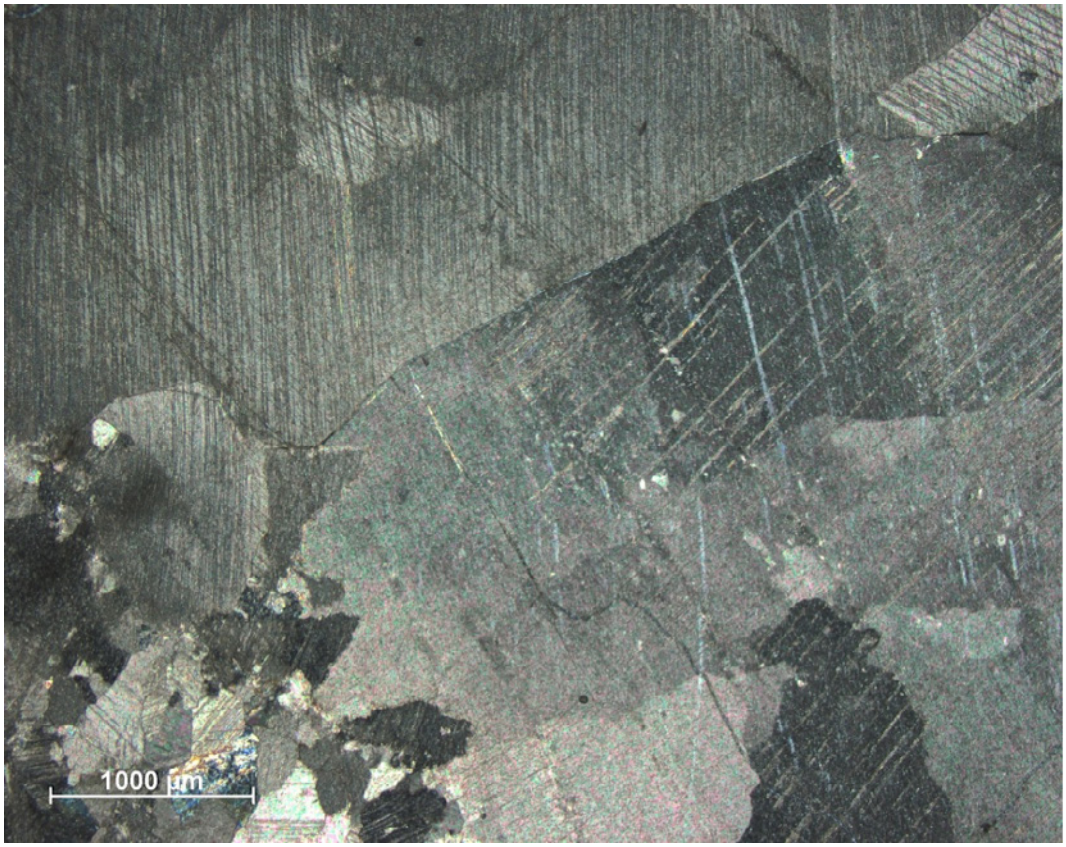


FIG. 120. **Wit adercalciet. Microscopische opname van een slijpplaatje.**

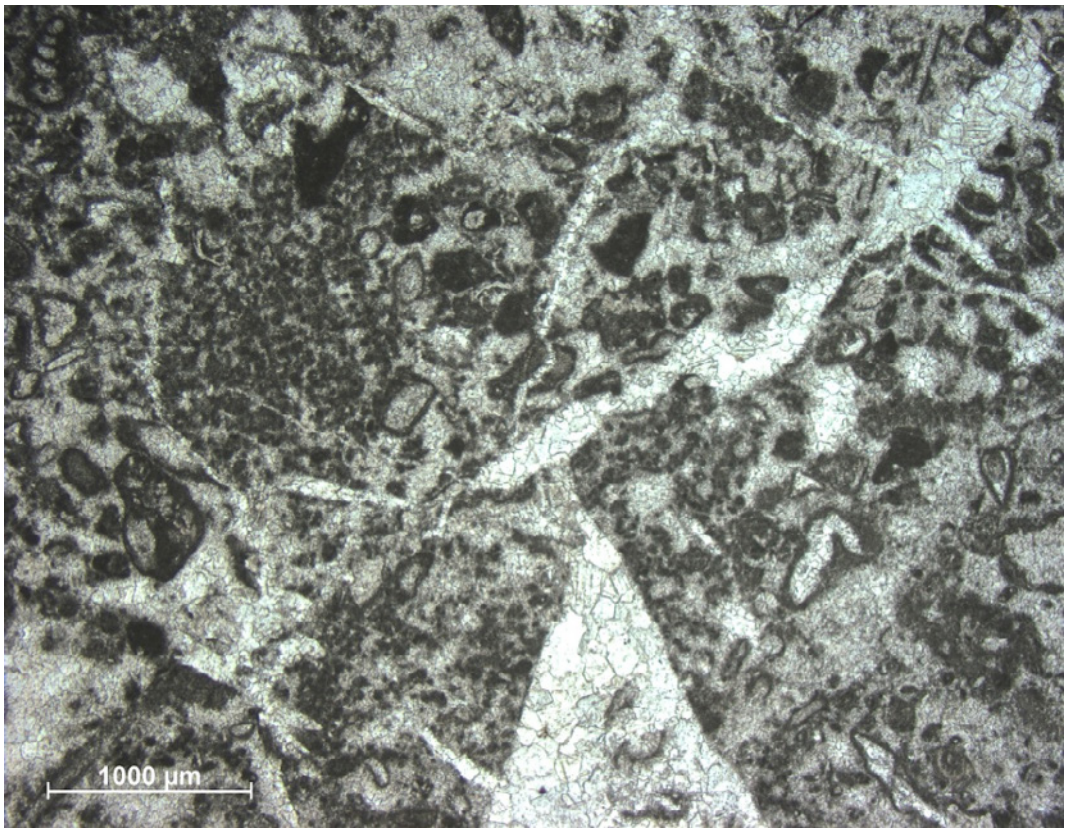


FIG. 121. **Sterk met calciet dooraderd Belgisch grijs marmer ("Gris des Ardennes"). Microscopische opname van een slijpplaatje.**

Nog een weetje?

Onze rode, grijze en zwarte Belgische "marmers" zijn geen échte marmers in de strikt wetenschappelijke zin van het woord maar wel goed polijstbare kalksteensoorten. Ze zijn wereldberoemd en werden (worden nog steeds) ver buiten onze grenzen geëxporteerd. De Romeinen waren trouwens weer de eerste gebruikers van Belgische marmers, waarmee ze de vloeren en wanden van hun luxueuze villa's graag versierden. Er werden zelfs imitaties gemaakt van sommige rode (en grijze) Belgische marmers die men recent heeft ontdekt op Romeinse wandschilderingen bij opgravingen onder de Onze-Lieve-Vrouwe Basiliek in Tongeren (Groetembril et al, 2017). Voor een juiste identificatie van de diverse variëteiten van Belgisch zwart marmer (zwart marmer van Namen, Dinant, Mazy, Theux, Doornik) blijkt petrografisch onderzoek van slijpplaatjes overigens onontbeerlijk.

Een prachtig overzicht van dit Belgisch marmerpatrimonium is te zien in de zgn. marmergalerij in de gangen van de Belgische Geologische Dienst in Brussel (zie fig.122).

"Pracht en praal" is zeker ook van toepassing voor de abdijkerk van Averbode, wanneer het gaat over het smaakvol gebruik van Belgische marmersoorten. Hierover werd in 2017 een fascinerend boek geschreven: *De Abdij van Averbode. Een verhaal van steen en marmer*

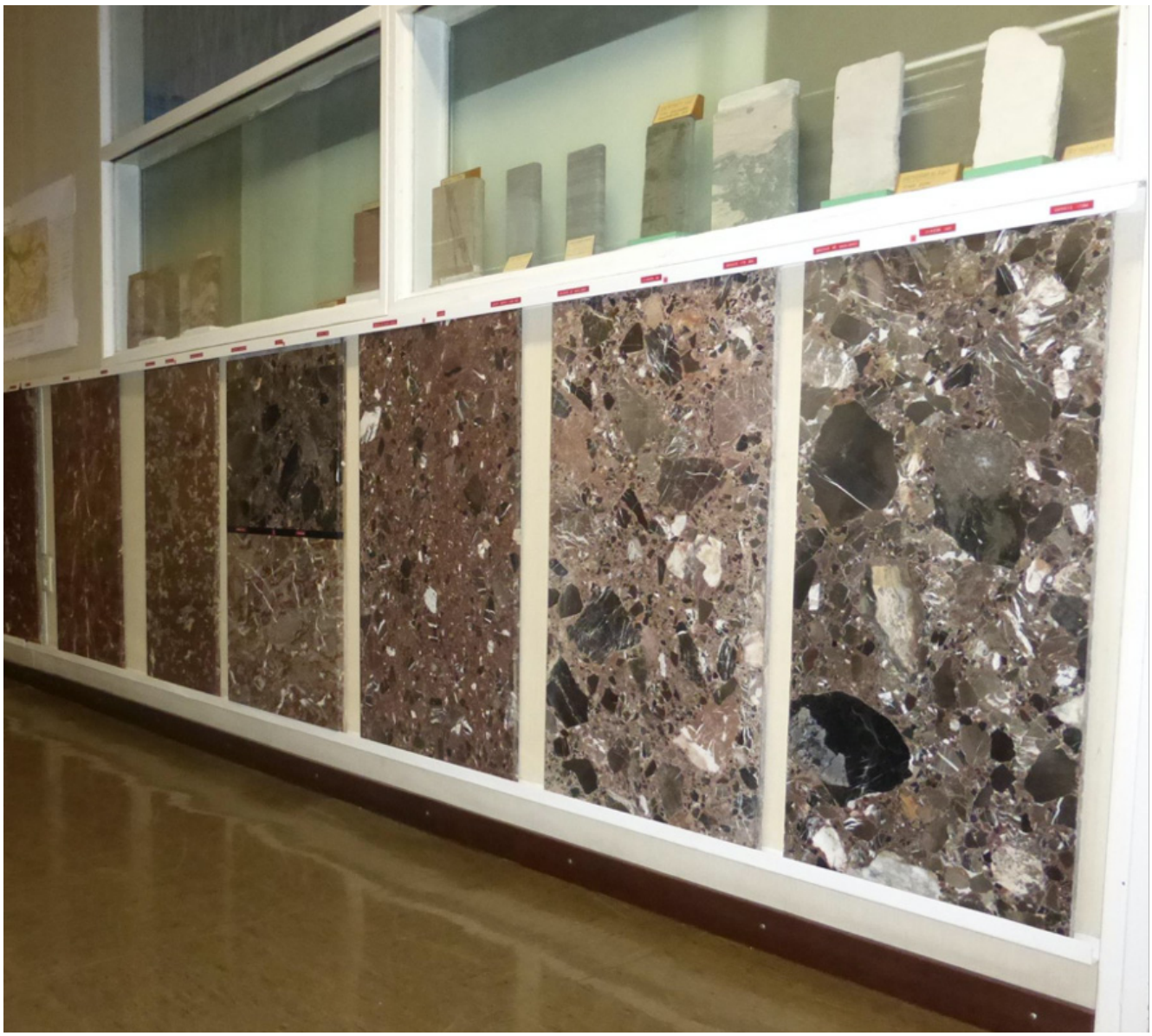


FIG. 122. **De marmergalerij van de Belgische Geologische Dienst, Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen (KBIN), Brussel (bron:** https://www.naturalsciences.be/nl/museum/visits-and-activities/activities-detailed-fiches/9484**)**

Dankwoord

Sinds 1996 tot en met vandaag, mocht ik van mijn vroegere werkgever (de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek of VITO in Mol), voor niet-commerciële doeleinden, vrij gebruik maken van een polarisatiemicroscoop (Zeiss Axioplan-2) en de hieraan gekoppelde digitale camera (Zeiss Axiocam) - zie Fig.123 - waarvoor mijn welgemeende dank!

In al die jaren heb ik tevens genoten van het deskundig advies en/of hulp van verschillende collega's, waaronder: John R.L. Allen, Dominique Bossiroy, Marleen De Ceukelaire, Guido Creemers, Catherine Coquelet, Vincent Debonne, Julien Denaeyer, Wim De Clercq, Wim Dubelaar, Michiel Dusar, Jan Elsen, Iradj Eschghi, Gilles Fronteau, Tatjana Gluhak, Eric Goemaere, Eric Groessens, Luc Hance, David Lagrou, Jean-Marc Marion, Johan Matthijs, Bernard Mottequin, Peter Nielsen, Timo Nijland, Eddy Poty, Sibrecht Reniere, Rudy Swennen, Francis Tourneur, Vilma Ruppiené, Jacques Thorez, Daniel Vachard, Alain Vanderhoeven, Geert Vynckier,...

Marleen De Ceukelaire, Yvette Cordie, Dany Van Uytven, Jos Janssen en Bert Neyens hebben eerdere versies van dit manuscript kritisch nagelezen en waar nodig aangepast. Bert Neyens heeft de volledige tekst bovendien nog eens taalkundig nagekeken. Marnix Pieters, Directeur Onderzoek Archeologie, dank ik om deze bundel cursiefjes als een handleiding te mogen publiceren en Glenn Laeveren voor de mooie lay-out.

Aan allen mijn oprechte dank!



FIG. 123. **Polarisatiemicroscoop Axioplan-2 met digitale camera (Axiocam) – VITO, Mol**



Sint-Hubertuskapel Offelken (Tongeren), opgetrokken in baksteen en Maastrichtersteen. De oude kern met gerecycleerde Romeinse bouwmaterialen is een relict van de 12e eeuwse romaanse kapel. Kalkstenen grafkruisen dateren uit de 16e en 17e eeuw.

GERAADPLEEGDE PUBLICATIES

Adams, A.E., MacKenzie, W.S. & Guilford, C., 1984. Atlas of sedimentary rocks under the microscope. Longman Group Ltd, 104 p.

Antonelli, F. & Lazzarini, L., 2015. An updated petrographic and isotopic reference database for white marbles used in Antiquity. Rendiconti Lincei. Fisische et Naturali, 26, 4, pp. 399-413. https://www.researchgate.net/publication/276453161

Berends, G., Janse, H. & Slinger, A., 1980. Natuursteen in Monumenten. Bosch & Keuning, Baarn. Rijksdienst voor de Monumentenzorg, Zeist, 120 p.

Calembert, L. & Lambrecht, L., 1975. Géologie du site de la Citadelle. Annales de la Société Géologique de Belgique, 98, pp. 381-388.

Cnudde, V., Dewanckele, J. De Ceukelaire, M., Everaert, G., Jacobs, P. & Laleman, M.C. (eds.), 2009. Gent...steengoed. Academia Press, 412 p.

Coquelet, C., Creemers, G., Dreesen, R. & Goemaere, E., 2013. Les "pierres blanches" dans les monuments publics et funéraires de la cité des Tongres, Signa, 2, pp. 29-34

Coquelet, C., Creemers, G., Dreesen, R. & Goemaere, E., 2018. Life and after-life of Roman ornamental stones within the *civitas Tungrorum* (*Germania Inferior*), in: Coquelet, C., Creemers, G., Dreesen, R. & Goemaere, E. (eds.): Roman Ornamental Stones in North-Western Europe. Natural Resources, Manufacturing, Supply and After-Life, Namur (Etudes et Documents, Archéologie, 38, pp. 225-252. ISBN 978-2-39038-005-4.

Creemers, G. & Dreesen, R., 2017. De mysterieuze stenenconcentraties van Diepenbeek: een Limburgs "Stonehenge" of natuurfenomeen? Natuuronderzoek Limburg, pp. 2-25. https://www.limburg.be/webfiles/pnc/likona/natuuronderzoek/natuuronderzoek_limburg_2017_2_25_stenen_diepenbeek.pdf

De Ceukelaire, M., Doperé, F., Dreesen, R., Dusar, M. & Groessens, E., 2015. Belgisch Marmer. Academia Press, Gent. ISBN 978 90 982 2311 7, 292 p.

De Ceukelaire, M., Doperé, F., Dreesen, R., Dusar, M., Janssen, H. & Tourneur, F., 2017. De Abdij van Averbode. Een verhaal van steen en marmer. Abdij der Norbertijnen van Averbode, Uitgeverij Averbode, ISBN 978-90-9030442-7, 188 p.

De Clercq, W., Dreesen, R., Dumolyn, J., Leloup, W. & Trachet, J., 2017. Ballasting the Hanse: Baltoscandian erratic cobbles in the later medieval port landscape of Bruges. European Journal of Archaeology, 2017, pp. 1-27. http://www.zwinproject.ugent.be/sites/zwinproject.ugent.be/files/public/publicaties/De%20Clercq%20et%20al_%202017_ballasting_the_hanse_%28preview%20no%20pages%29.pdf

De Kock, T., De Ceukelaire, M., Elsen, J., Cnudde, V., 2015. De Eocene witte stenen van Noord-België, in: Bouwen met Natuursteen, Grondboor & Hamer, 69, 5/6 (samen met GEA, 48, 4), pp. 84-91. http://natuurcultuur.nl/download?type=document&docid=628974

Debonne, V. & Dreesen, R., 2015. Stenen immigranten in de Zwinstreek. Natuursteen in de Onze-Lieve-Vrouwhemelvaartskerk in Damme. Relicta 12, pp. 149-180. https://oar.onroerenderfgoed.be/publicaties/RELT/12/RELT012-003.pdf

De Clercq, H., Janssens, E., Smets, S. & Verhaert, G.(eds), 2014. Omgaan met Diestiaan ijzerzandsteengebruik. Samenvattingsbundel Studiedag, Diest, Begijnhof, vrijdag 19 september 2014. https://docplayer.nl/6502072-Diestiaan-ijzerzandsteen.html

Dreesen, R., 1993. Seam thickness and geological hazards forecasting in deep coal mining: a feasibility study from the Campine collieries (N-Belgium). Bulletin van de Belgische Vereniging voor Geologie, 101 (3-4), pp. 209-254.

Dreesen, R., 2007. Zoekkaart Keien voor het Nationaal park Hoge Kempen. D/2007/8362/2 http://www.limburg.be/webfiles/pnc/likona/nphk_zoekkaart_keien.pdf

Dreesen, R., 2020. Natural stone, in Jeneson, K. & Vos, W.K. (eds) Roman bathing in *Coriovallum*. The thermae of Heerlen revisited. Cultural Heritage Agency of the Netherlands, Amersfoort, pp. 153-156. ISBN/EAN 978-90-5799-324-4 https://www.thermenmuseum.nl/wp-content/uploads/2020/03/NAR065_Roman_bathing_in_Coriovallum.pdf

Dreesen, R., 2020. Aard en herkomst van de bouw- en decoratieve steensoorten uit de Romeinse thermen van Heerlen. https://www.thermenmuseum.nl/wp-content/uploads/2020/03/Appendix-XVI-_-Dreessen.pdf

Dreesen, R. & Janssen, 1998. Voorkomen en gebruik van kalktuf in Zuid-Limburg, LIKONA jaarboek 1997, Provinciaal Natuurcentrum, 3600 Genk, pp. 10-21.

Dreesen, R. & Dusar, M., 2004. Historical building stones in the province of Limburg (NE-Belgium): role of petrography in provenance and durability assessment. Materials Characterization, 53, pp. 273-287. https://www.academia.edu/19126950/Historical_building_stones_in_the_province_of_Limburg_NE_Belgium_role_of_petrography_in_provenance_and_durability_assessment

Dreesen, R. & Dusar, M., 2011. Duivelsstenen in Limburg: zwerfstenen, megalieten of getuigenstenen? LIKONA jaarboek 21, Provinciaal Natuurcentrum, Bokrijk, 3600 Genk, pp. 14-29.

Dreesen, R. & Dusar, M., 2017. Volcanic tuff, an exotic historical building stone in Flanders, in: Nijland, T. (ed.), 2017. Use and conservation of Rhenish tuff in the Netherlands, Germany, Flanders and Denmark. Proceedings of the symposium in Amersfoort, March 20, 2017. TNO Delft, ISBN 978–90-5986-482-5, pp. 33-45

Dreesen, R. & Vanderhoeven, A., 2017. Romeins gebruik van natuursteen in de provincies Limburg, in: Quist, W. & Tolboom, J.-H. (red.). Natuursteen in Limburg / Natuursteen uit Limburg. Delftdigitalpress, pp. 61-93. http://pure.tudelft.nl/ws/portalfiles/portal/51426079/Natuursteen_in_Limburg_Natuursteen_uit_Limburg.pdf

Dreesen, R., Bogaert, L., Coquelet, C., Creemers, G., De Winter, N. Driesen, P., Goemaere, E., Vanderhoeven, A. & Vynckier, G., 2015. Van heinde en verre: gebruik en herkomst van polychrome marmers in Romeins Tongeren - een eerste stand van zaken. Signa 4, pp. 103-118. https://signaromana.files.wordpress.com/2012/03/signa-4-2015-light.pdf

Dreesen, R., Cnudde, V., Dusar, M., De Ceukelaire, M., Bossiroy, D., Groessens, E., Elsen, J., De Kock, T., Dewanckele, J., 2012. In het voetspoor van Camerman: de opmars van de Franse steen in België, in: Van Hees, R.P. & DecLercq, H. & Quist, W.J. (red.). Stenen van binnen, stenen van buiten. Delftdigitalpress, pp. 33-63. https://docplayer.nl/19053054-In-het-voetspoor-van-camerman-de-opmars-van-de-franse-steen-in-belgie.html

Dreesen, R., Coquelet, C., Creemers, G., De Clercq, W., Fronteay, G., Gluhak, T., Hartoch, E., Henrich, P., Lafitte, J.-D., Picavet, P., Reniere, S., Ruppiené, V., Thiébaux, A., Vanderhoeven, A., Vynckier, G. & Goemaere, E., 2014. Unraveling geological and geographical provenances of lithic materials during Roman times in Belgium: a fruitful collaboration between geologists and archaeologists. European Geologist, 38, pp. 14-20. https://www.researchgate.net/publication/309702045_Unraveling_geological_and_geographical_provenances_of_lithic_materials_during_Roman_times_in_Belgium_a_fruitful_collaboration_between_geologists_and_archaeologists

Dreesen, R., De Ceukelaire & Ruppiene, V., 2018. On the use of “Belgian marbles” in the *Civitas Tungrorum* and beyond, in: Coquelet, C., Creemers, G., Dreesen, R. & Goemaere, E. (eds): Roman Ornamental Stones in North-Western Europe. Natural Resources, Manufacturing, Supply and After-Life, Namur (Etudes et Documents, Archéologie, 38, pp. 25-50. ISBN 978-2-39038-005-4. https://www.academia.edu/39749245/On_the_Roman_Use_of_Belgian_Marbles_in_the_Civitas_Tungrorum

Dreesen R. & De Clercq, W., 2020. Ballaststenen en hun rol in het voormalige Middeleeuwsse Brugse havenlandschap. Professional Papers of the Geological Survey of Belgium, 318, pp.7-18. https://core.ac.uk/download/pdf/288817567.pdf

Dreesen, R., Dusar, M. & Barbier, J., 2012. Geologische wandelroute Bokrijk. Natuursteen in het openluchtmuseum... gebouwen anders bekeken. LIKONA, Provinciaal Natuurcentrum, Bokrijk, Genk. ISBN 789074605540, 74 p.

Dreesen, R., Dusar, M. & Doperé, F., 2019. Atlas Natuursteen in Limburgse gebouwen. Een frisse kijk op geologie, beschrijving, herkomst en gebruik. Provinciaal Natuurcentrum, Craenevenne 86, 3600 Genk, 352 p.

Dreesen, R., Janssen, J. & Van Uytven, D., 2015. Het grind ontleed: samenstelling en herkomst van de stenen in het Maagrind, LIKONA jaarboek 2014, 24, Provinciaal Natuurcentrum Craenevenne, 3600 Genk, pp. 18-35. http://www.limburg.be/webfiles/pnc/likona/Likona%20Jaarboek%202014/2014.02.pdf

Dreesen, R., Lagrou, D. & Nielsen, P., 2006. Microscopisch onderzoek bij restauratie van natuursteen. Het Ingenieursblad (K.V.I.V.), 3/2006, pp.34-60.

Dreesen, R., Marion, J.-M., Mottequin, B., 2015. Het Rode marmer van Baelen, een geologisch buitenbeentje, in: Bouwen met Natuursteen, Grondboor & Hamer, 69, 5/6 samen met GEA, 48, 4, pp. 2-13. http://natuurtijdschriften.nl/download?type=document&docid=628931
https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/202752/2/Literatuurlijst%20Bouwen%20met%20Natuursteen.pdf

Dreesen, R., Savary, X. & Goemaere, E., 2016. Definition, classification and microfacies characteristics of oolitic ironstones in the manufacturing of red ochre. A comparative petrographical analysis of Palaeozoic samples from France, Belgium and Germany, in: Billard, C. et al (eds.) Autour de l'hématite / About haematite. Anthropologica et Praehistorica, 125, pp. 203-323. Zie: http://biblio.naturalsciences.be/associated_publications/studia-praehistorica-belgica/8/haematite_pdf-cmyk-600_vol1_251116_p/203-223_2-8_dreesen-etal_petro_271016_cmyk-600-p.pdf

Dreesen, R., Poty, E., Denyer, J., Mottequin, B. & Marion, J.-M., 2018. « Pierre de Meuse », an exceptional historical heritage stone from the Meuse valley, Belgium. Pierre à Pierre II, Economie de la pierre dans la vallée de la Meuse et dans les régions limitrophes (1er s.Av.J.-C. – XVIIIe s.). Colloque International Namur-Dinant, 6, 7 et 8 décembre 2018. Abstracts.

Dusar, M., Dreesen, R. & De Ceukelaire, M., 2015. Oolitic limestones from Lorraine (France) as a major building stone in Belgium, in Lehrberger G. & Von Plehwe-Leisen E. (eds): Barrois-Oolithe, Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen, B, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, 22, pp. 416-427.Colloque International Namur-Dinant, 6, 7 et 8 décembre 2018.

Dusar, M. & Dreesen, R., 2007. Stenen uit het Mergelland, in: Nijland, T.G. (ed.): Authentiek duurzaam/Duurzaam authentiek, Proceedings 2e Vlaams-Nederlandse Natuursteendag, Utrecht, TNO, Delft/Utrecht, pp. 47-87.

Dusar, M., Dreesen, R. & De Naeyer, A., 2009. Natuursteen in Vlaanderen, versteend verleden, Kluwer Renovatie & Restauratie, 562 p.

Dusar, M., Dreesen, R. & De Nayer, A., 2009. Natural stone in Flandres: an illustrated catalogue of historical building and ornamental stones in N-Belgium, including microscopic characteristics. The Belgian black marbles as a case study, in: Middendorf, B., Just, A., Klein, D., Glaubitt, A. & Simon, J. (eds): 12th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Stones, 15th -19th September 2009, Dortmund, Germany. Extended abstracts and CF-ROM with full paper, pp. 213-226. ISBN 978-3-00-028697-1.

Dusar, M. & Dreesen, R., 2009. Geodiversiteit weerspiegeld in historische monumenten: Vlaamse natuursteenlandschappen als geotoeristische trekpleister?. Geological Survey of Belgium Professional papers, 305, 2009/1, pp. 79-100. http://biblio.naturalsciences.be/rbins-publications/professional-papers-of-the-geological-survey-of-belgium/pdfs/pp_2009_305k.pdf

Dusar, M., Dreesen, R., Indeherberghe, L., Defour, E. & Meuris, R., 2011. The origin of "tauw", an enigmatic building stone of the Mergelland: a case study of the Hesbaye region, southwest of Maastricht (Belgium). Netherlands Journal of Geosciences, Geologie en Mijnbouw,, 90, 2/3, pp. 239-258. https://www.researchgate.net/publication/305949568_The_origin_of_%27tauw%27_an_enigmatic_building_stone_of_the_Mergelland_a_case_study_of_the_Hesbaye_region_southwest_of_Maastricht_Belgium

Elsen, J., De Ceukelaire, M., Dreesen, R., Dusar, M., Goemaere, E., Tolboom, H.-J. & Tourneur, F., 2014. Keihard bedreigd erfgoed – de kassei: de geschiedenis van onze steden met de voeten getreden. Geological Survey of Belgium Professional Paper, 2014/1, 316, pp. 15-29.

Flügel, E., 1982. Microfacies analysis of limestones. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 633 p.

Garcia-Guinea, J., Garrido, F., Lopez-Arde, P., Tormo, L., Jorge, A., Furio, M. & Paradela, C., 2016. Analyzing materials in the microscopes: from the Sorby thin sections up to the non-destructive large chambers. Proceedings of the Fifth International Meeting on Frontiers of Physics (SIMFP2016), AIP Conference Proceedings, 1742, https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.4953121

Grewe, K.,2010. Die Eifel-Wasserleitung – antike Wasserverzorgung und milttelalterlicher Steinbruch, in: Ribbert, K.-H.: Geologie im Rheinschen Schiefergebirge, Teil 1 Nordeifel, Geologischer Dienst NRW Krefeld, pp. 102-107.

Groessens, E. & Dusar, M., 1994. Een zoektocht naar de oorsprong van de benaming "Petit-Granit" voor Blauwe Hardsteen. Steen & Marmer, juli/sept. 1994, pp. 26-27.

Groetembril, S., Allonsius, C., Lemoigne, L. & Lefèvre, J.- F., 2017. Les peintures murales romaines, in: Vanderhoeven, A. & Ervynck, A. (eds): Het archeologische en bouwhistorisch onderzoek van de O.L.V.-Basiliek van Tongeren (1997-2013). Deel 3: De Vroeg-Romeinse periode. Relicta Monografieën 13, pp. 253-417.

Guillitte, O., 1995. Bioreceptivity: a new concept for building ecology studies. Science of the Total Environment, 167, 1-3, pp. 215-220.

Guillitte, O., Dreesen, R., 1995. Laboratory chamber studies and petrographical analysis as bioreceptivity assessment tools of buildings materials. Science of The Total Environment 167, pp. 365–374.

Hartoch, E., Doperé, F., Dreesen, R., Gluhak, T.M., Goemaere, E., Manteleers, I., Van Camp, L. & Wefers, S. (eds). Moudre au Pays des Tungri, Atuatuca, 7, Gallo-Romeins Museum Tongeren, 416 p.

Ingham, J.P. 2013. A colour guide to geomaterials under the microscope. Manson Publishing, 192 p.

Klemm, D. & Klemm, R., 2010. The stones of the pyramids: provenance of the building stones of the Old Kingdom pyramids of Egypt. Walter De Gruyter GmbH & Co, Berlin/New York, 101 p.

Lagrou, D. & Dreesen, R. & Broothaers, L., 2004. Comparative quantitative petrographical analysis of Cenozoic aquifer sands in Flanders (N Belgium): overall trends and quality assessment, Materials Characterization, 53, 1-4, pp. 317-326 https://www.academia.edu/11019808/Comparative_quantitative_petrographical_analysis_of_Cenozoic_aquifer_sands_in_Flanders_overall_trends_and_quality_assessment

MacKenzie, Donaldson, C.H. & Guilford, C., 1982. Atlas of Igneous Rocks and their textures, Longman Group Ltd UK.

Moens, L. Roos, P., De Rudder, J., De Paepe, P., Van Hende, J., Marechal, R., Waelkens, M., 1988. A multi-method approach to the identification of white marbles used in antique artefacts, in: Herz, N., Waelkens, L. (eds.): Classical marble: geochemistry, technology, trade. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 243-250.

Nijland, T., 2016. Microscopisch onderzoek van mortels. Syllabus TNO-NVMz studiedag "Mortels technisch en bouwtechnisch bekeken", pp. 1-50

PELKON: http://pelcon.dk/products/automatic-thin-section-machine/

Perreira, D., Tourneur, F., Bernaldez, L. & Blazquez, A.G., 2015: Petit Granit: a Belgian limestone used in heritage, construction and sculpture. Episodes, 38, 2, pp. 85-90
https://www.academia.edu/23961002/Petit_Granit_A_Belgian_limestone_used_in_heritage_construction_and_sculpture

Quin, P.S., 2009 (ed.). Interpreting silent artefacts. Petrographic approaches to archaeologic ceramics. Archaeopress & individual authors, 295 p.
https://www.researchgate.net/publication/279199088_Petit_Granit_A_Belgian_limestone_used_in_heritage_construction_and_sculpture

Quinn, P.S., 2013. Ceramic Petrography. The interpretation of archaeological pottery & related artefacts in thin section. Archaeopress & Quin, P.S., 251 p.

Reniere, S., Dreesen, R., Fronteau, G., Gluhak, T., Goemaere, E., Hartoch, E., Picavet, P. & De Clercq, W., 2016. Querns and mills during Roman times at the northern frontier of the Roman Empire (Belgium, northern France, southern Netherlands, western Germany): unraveling geological and geographical provenances, a multidisciplinary research project. Journal of Lithic Studies, 3, pp.403-428. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02977228

Scholle, P.A. & Ulmer-Scholle, D., S., 2003. A color guide to the petrography of carbonate rocks: grains, textures, porosity, diagenesis. AAPG Memoir 77, The American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, USA., 474 p.

Slinger, A., Janse,H. & Berends, G., 1980. Natuursteen in Monumenten. Rijksdienst voor de Monumentenzorg, Bosch & Keuning nv, Baarn, 120 p.

Sorby, H.C., 1851. On the microscopical structure of the calcareous grit of the Yorkshire coast. Geological Society of London, Quarterly Journal, 7, pp.1-6.

Sorby, H.C., 1879. The structure and origin of limestones. Geological Society of London Proceedings, 35, pp. 56-59.

St. John, D.A., Poole, A.B. & Sims, I., 1998. Concrete petrography: a handbook of investigative techniques. Wiley, London New York, 474 p.

Sturm, R., 2010. Microscopy and microscopic analysis of magmatic and metamorphic minerals – part 2: feldspar. Microscopy today, 3, pp.18-24.

Sürmelhindi, S., Passcher, C., Spötl, C., Kessener, P., Bestmann, M., Jacob, D. & Baykan, O., 2013. Laminated carbonate deposits in Roman aqueducts: origin, processes and implications. Sedimentology, 60, pp. 961-982.

Tolboom, H. , Dusar, M., Dubelaar, W., Dreesen, R., Elsen, J., Groessens, E. & Van der Star, C., 2009. Avendersteen. Geological Survey of Belgium Professional Paper 2009/1, 305, pp. 47-77.

Tourneur, F., 2018. Global heritage stone: Belgian "black" marbles. Geological Society, London, Special Publications, 486, pp.129-147.

Tucker, M., E., 2001. Sedimentary Petrology, 3^{d} edition, Blackwell Science, 262 p.

Tucker, M.E. & Wright, P. V., 1990. Carbonate Sedimentology, Blackwell Scientific Publications, 482 p.

Van Uytven D. & Dreesen, R., 2014. Geologische fietsroute Hoge Kempen, LIKONA, Provinciaal Natuurcentrum, Craenevenne 140, 3600 Genk, 144 p. ISBN 789074605540

Vanholst, A., Dreesen, R., Voordeckers, B., Paque, L. & Snellinckx, 2009. Geologische fietsroute Herk en Mombeek, LIKONA, Domein Bokrijk, B-3600 Genk, ISBN 9789074605366 , 88 p.

Weertz, J. & Weertz, E., 2011. Krabsporen, een bijzonder fenomeen. Grondboor & Hamer, 5, pp. 137-139.

Williams, H., Turner, F.J. & Gilbert, C.M., 1954. Petrography. W.H. Freeman & co, 406 p.

Worly, N., 2009. Henry Clifton Sorby (1826-1908) and the development of thin section petrography in Sheffield, in: Quin, P.S. (editor) Interpreting silent artefacts. Petrographic approaches to archaeological ceramics. Archaeopress and the individual authors, pp. 1-10.

Yardley, B.W.D., MacKenzie, W.S. & Guilford, C., 1990. Atlas of Metamorphic Rocks and their textures. Longmon Group Ltd UK.

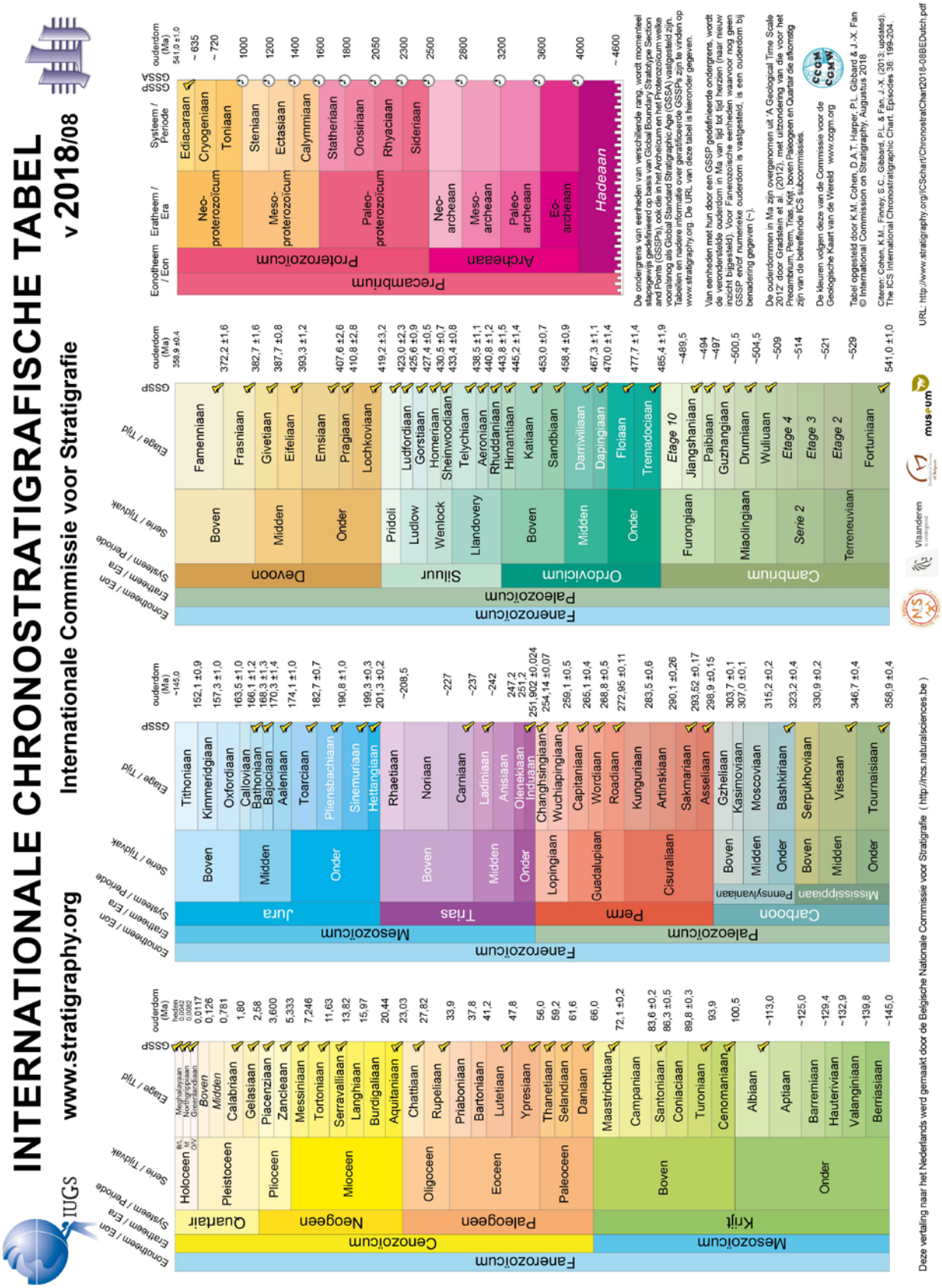
Digitale atlassen van microscopische foto's en virtuele microscopie van slijpplaatjes

https://www.earth.ox.ac.uk/~oesis/micro/

https://www.virtualmicroscope.org/content/uk-virtual-microscope

http://www.jm-derochette.be/Carbonates.htm

https://geohubliverpool.org.uk/resource/rocks-in-thin-section/



Internationale stratigrafische schaal (versie 2018)
Bron: https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2018-08BEDutch.jpg
Zie ook: https://stratigraphy.org/timescale/



Detail van de 17e eeuwse stadsomwalling van Montreuil (Pas-de-Calais, Frankrijk), met blokken silex, kwartsietische zandsteen en krijtsteen.

EINDNOTEN

1 LIKONA, Werkgroep Geologie – zie: http://www.Likona.Be/limburg/natuuronderzoek/netwerk-natuuronderzoek/werkgroepen/werkgroep-geologie.Html

2 Onder de stad Reims bevindt zich een stelsel van 250 km aan kelders en tunnels die exclusief gereserveerd zijn voor de opslag van champagne. Deze ondergrondse galerijen werden tijdens de middeleeuwen uitgegraven voor de winning van bouwsteen.

3 Lomperiken zijn opstaande stenen aan weerszijden van een poort, die moesten verhinderen dat de wielen van de kar de muur beschadigden als iemand onhandig binnenreed. Ze waren dus eerder een bescherming tegen “lomperiken” (overgenomen uit: het vlaamse woordenboek)

4 Met dank aan Paul Elst en Michiel Dusar voor de determinatie van de zoetwaterslakken