

Beoordeling van de staat van conservering van een Midden-Neolithische vuursteenmijn in Valkenburg aan de Geul

Rob P.J. van Hees en Timo G. Nijland

Mergel – een zachte, zeer poreuze kalksteen, die aan het oppervlak komt in de Nederlandse en Belgische provincies Limburg – wordt al tenminste sinds de Romeinse tijd regionaal gebruikt als bewerkte natuursteen. Nog eerder, namelijk sinds de Neolithische tijd, werd uit dezelfde kalksteenlagen vuursteen gewonnen. Dit gebeurde onder andere in het dorp Valkenburg aan de Geul in Nederlands Limburg. De Neolithische vuursteenmijnen in Zuid-Limburg waren onderdeel van een vroeg-industrieel landschap in Noordwest Europa. Vuursteen werd gewonnen voor de productie van gereedschap en wapens. Door de komst van brons en later ijzer werden vuurstenen voorwerpen geleidelijk vervangen en verviel deze industrie. In 1992 is een Neolithische vuursteenmijn ontdekt langs de Plenkertweg in het dorp Valkenburg.¹

Dit artikel behandelt het onderzoek naar de staat van conservering van deze vuursteenmijn. Het onderzoek bestond naast visuele observaties en schade-opname, uit onderzoek naar de vochtbelasting van de mergel in en rond de mijnschachten en uit microscopie om de aantasting van de steen in detail te onderzoeken.

Mergel: geologie, gebruik als bouwmateriaal en vuursteenwinning

De oppervlaktegeologie in het meest zuidelijke deel van de provincie Limburg en in de aangrenzende delen van Belgisch Limburg wordt gedomineerd door afzettingen uit het Boven-Krijt, voornamelijk kalksteen van de Formatie van Maastricht. De Formatie van Maastricht is afgezet in het geologische tijdperk met dezelfde naam, ‘Maastrichtien’ (65,5 – 70,6 miljoen jaar geleden). Deze formatie, die is afgezet bovenop de kalksteen van de Formatie van Gulpen, bestaat uit zes verschillende kalksteenpakketten, de kalksteen van Meerssen, Nekum, Emael, Schiepersberg, Gronsveld en Valkenburg.² De totale dikte van de kalksteen varieert van circa 45 tot 90 meter. Alle kalksteen heeft zich ontwikkeld in twee geologische afzettingmilieus, de zogenaamde Maastrichter en Kunrader faciës. Kalksteen van de Maastrichter faciës bestaat uit zachte, fijne tot (erg) grove geelwitte steen, die van de Kunrader faciës uit grijze steen, die meestal harder is.³ De kalksteen van de Maastrichter faciës is algemeen bekend onder de naam ‘mergel’,⁴ in het verleden ook wel aangeduid als ‘tuf’, ‘tuf-



Afb. 1. Overzicht van de plaats van de Neolithische vuursteenmijn aan de Plenkertweg, Valkenburg (april 2001). De nummers (1 t/m 4) geven de in de tekst behandelde monsterlocaties aan

krijt’ of ‘tuffeau de Maastricht’. Deze steen wordt sinds de Romeinse tijd gebruikt als bouwmateriaal in zowel Nederland als Belgisch Limburg.⁵ Traditioneel hebben verschillende Maastrichter kalkstenen, die gebruikt zijn als bouwmateriaal de naam Sibbe, Roosburg, Zichen (Sichen) en Kanneblok



Afb. 2. Ruïne van het kasteel van Valkenburg (12^{de}-17^{de} eeuw), met de overblijfselen van de omringende muur in mergel bovenop een wand van dezelfde kalksteen. Verwering van zowel de muur als de wand is duidelijk zichtbaar (2001)



Afb. 3. Impressie van een van de oude gangen van de vuursteenmijn aan de Plenkertweg (juni 2001); dit deel van de mergellaag correspondeert met de monsterlocatie 3 op afbeelding 1

gekregen.⁶ Hoewel over de omvang van het Romeinse gebruik van de steen verschil van mening bestaat en het gebruik in het algemeen als zeer beperkt beschouwd wordt, is bekend dat de Romeinen de steen al exporteerden naar andere gebieden, bijvoorbeeld om gebruikt te worden voor de bouw van de castellumuren van Utrecht.⁷ In de Middeleeuwen was de Maas-trichtse kalksteen vooral van regionaal belang. Daarnaast werden kleine hoeveelheden van de steen gebruikt in verschillende steden in het centrum van Nederland.⁸

Kalksteen uit de Formaties van Maastricht en Gulpen kan aanzienlijke hoeveelheden vuursteen bevatten. Lokaal is vuursteen op kleine schaal gebruikt als bouwsteen voor onder andere boerderijen, zowel in Nederlands Limburg als in de Belgische Voerstreek. Vuursteen uit de Limburgse kalksteen uit het Krijt is in Neolithische tijden gewonnen voor de productie van gereedschappen. Een overzicht van bekende prehistorische vuursteenmijnen in Zuid-Limburg en aangrenzende gebieden wordt gegeven door W.M. Felder.⁹ Twee belang-



Afb. 4. Haksproren in één van de oude schachten van de vuursteenmijn aan de Plenkertweg (april 2001). Dit deel van de laag correspondeert met monsterlocatie 2 op afbeelding 1



Afb. 5. Locatie 1 (oktober 2001)

rijke productiecentra waren Rijckholt- St. Geertruid en de omgeving van het huidige dorp Valkenburg aan de Geul. Bij Rijckholt- St. Geertruid zijn tientallen ondergrondse mijnen aanwezig.¹⁰ 14C datering van houtskool en botten laat zien dat winning al tussen 3700-4000 voor Christus plaatsvond.¹¹ De vuursteenlaag die geëxploiteerd werd, is afkomstig uit de Lanaye kalksteen van de Formatie van Gulpen.¹² Het productiecentrum in Valkenburg bestaat uit mijnen bij Valkenburg zelf en bij rondomgelegen dorpjes. De 14C datering varieert hier van 2500 tot 3630 voor Christus.¹³ Producten gemaakt van Valkenburgse vuursteen zijn gevonden op tenminste 50 kilometer afstand in Duitsland.¹⁴ Vuursteen werd gewonnen uit de Emael kalksteen van de Formatie van Maastricht.¹⁵ De Emael kalksteen is een typische zachte, licht gele mergel met grote lichtgrijze vuursteenknollen in het onderste deel van het pakket.

De hier beschreven vuursteenmijn is gelegen aan de Plenkertweg in Valkenburg aan de Geul. De mijn is ontdekt in 1992.¹⁶ De winning van vuursteen gebeurde vanuit lange schachten; de haksproren zijn duidelijk te herkennen in de mijn. De 14C datering van houtskool uit twee mijnschachten laat een leeftijd zien van 3050 tot 3632 voor Christus.¹⁷ De vuursteen vormt vaak goed ontwikkelde pijpen en platen, die gemakkelijk gescheiden kunnen worden van de kalksteen.¹⁸



Afb. 6. Detail van plaats waar monsters 1 (links), 2 (midden) en 3 (rechts) genomen zijn (locatie 1; juni 2001)

Monsteromschrijving

Om de staat van conservering van de vuursteenmijn aan de Plenkertweg te kunnen beoordelen, zijn op vier verschillende plaatsen monsters genomen. Naast geologische breuken vertoonde de mergel bij visuele inspectie diverse vormen van aantasting, zoals verlies van samenhang, biologische groei en zwarte (gips)korsten. Op basis van de waargenomen vormen van aantasting kan worden aangenomen dat vocht een belangrijke rol speelt bij de aantasting; om dit te verifiëren en de ernst te kunnen beoordelen zijn de monsters nader onderzocht. De monsterlocaties zijn weergegeven in afbeelding 1. Bemonstering bestond uit het nemen van stofmonsters, gebruikt om het actuele en hygroscopische vochtgehalte te bepalen en boorkernen gebruikt voor microscopisch onderzoek om de aard en diepte van de aantasting te bepalen. De monsterlocaties en boorkernen worden hieronder beschreven.

Locatie 1

De locatie zelf is weergegeven in afbeelding 5; voor details van de plaatsen waar kernen geboord zijn, wordt verwezen naar afbeelding 6. Monster 1 is een boorkern die een zwarte tot groene oppervlaktelaag laat zien, met enig verlies van de matrix tot een diepte van 5 millimeter onder het oppervlak. Monster 2 is een boorkern met een harde zwarte tot grijze oppervlaktelaag. Een deel van deze zwarte korst is van de wand gevallen. Monster 3 is een boorkern met een dikke zwart-groene biologische oppervlaktelaag, waaruit water te voorschijn komt als er op gedrukt wordt.

Locatie 2

Afbeelding 7 toont locatie 2. Monster 4 is een scherp die slechts losjes aan de wand gehecht zat. Het oppervlak is bedekt met een groenige laag die schimmeldraden bevat. De matrix lijkt niet aangetast. Monster 5 en 6 zijn boorkernen genomen op de grens tussen twee kalksteenlagen. De laag waarvan monster 6 is genomen is dieper verweerd dan de onder- en bovenliggende lagen. Het oppervlak van monster 5 is bedekt met een dunne laag algen; onder deze laag heeft enig verlies van de matrix plaatsgevonden tot een diepte van 15 millimeter. Monster 6 vertoont bruin-rode en groene algen

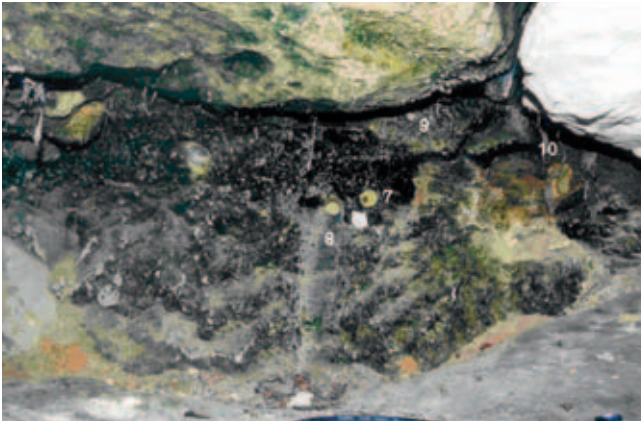
aan het oppervlak. De korrelgrootte is grover met relatief duidelijke aanwezigheid van calciet. Tot op een diepte van 15 millimeter is de kalksteen deels gedesintegreerd.

Locatie 3

Een overzicht van locatie 3 wordt gegeven in afbeelding 8. Op deze locatie zijn oude haksporen aanwezig. De oppervlaktelaag van de kalksteen is gedesintegreerd. Monster 7 en 8 zijn geboord uit de achterwand van de mijngang op deze loca-

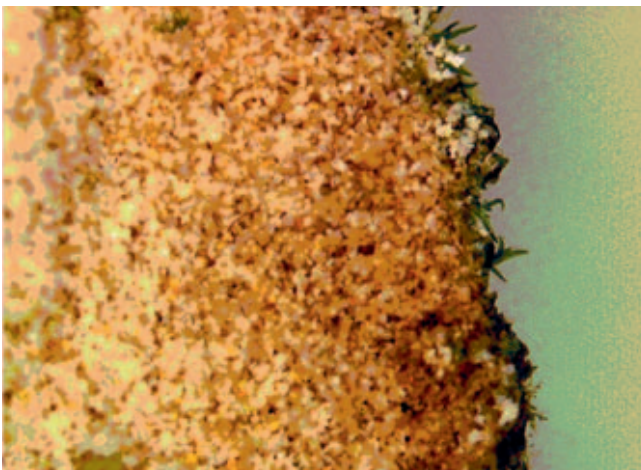


Afb. 7. Monsterlocatie 2 (juni 2001)



Afb. 8. Monsterlocatie 3 (juni 2001)

tie. Beide monsters zijn bedekt met een dikke, vochtige biologische laag van algen en mossen. Tot op acht millimeter onder het oppervlak is de kalksteen verkleurd en bijna volledig gedesintegreerd (afb. 9). Dieper, tot 30 millimeter onder het oppervlak, is duidelijk verlies van matrix te zien, terwijl

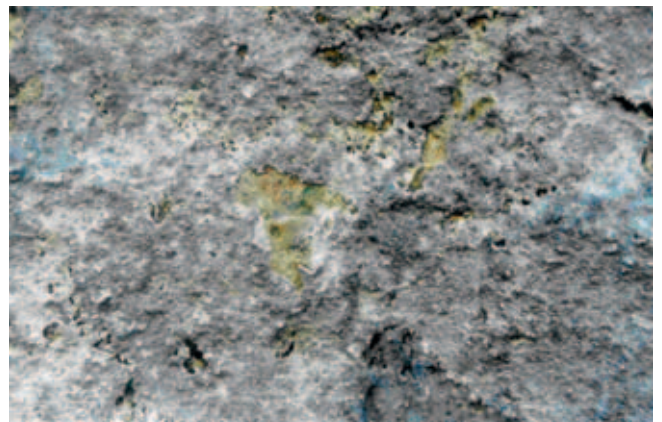


Afb. 9. Details van de biologische laag op monster 8 (boven) en desintegratie van de kalksteen (onderste foto)



Afb. 10. Overzichtsfoto van locatie 4 (juni 2001)

plaatselijk het verlies van matrix zelfs tot een diepte van 60 millimeter gaat; dat is de gehele lengte van de kern. Ter vergelijking, de diepte van gevonden oude haksporen varieert in dit deel van de mijn van enkele millimeters tot ongeveer 30 millimeter. Monster 9 en 10 zijn stofmonsters, genomen uit het dak van de mijn gang; monster 10 is genomen uit een deels losgelaten blok boven het dak.



Afb. 11. Detail van de zwarte gipskorst op locatie 4

Locatie 4

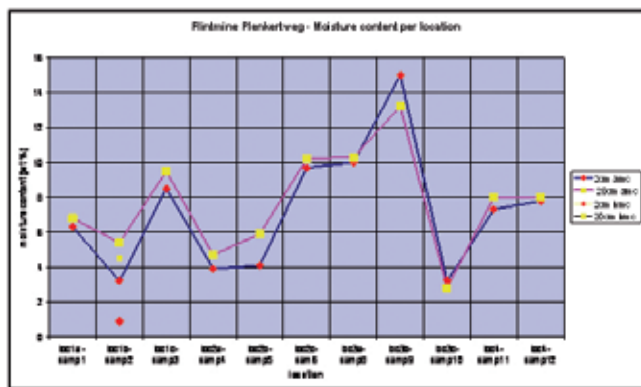
Locatie 4 bevindt zich ter plaatse van een subverticale breuk in het gesteente (afb. 10). Monster 11 is een boorkern die genomen is over de breuk. Het oppervlak van de kalksteen is grijsig tot zwart en vrij hard. De grijsig tot zwarte kleur is het gevolg van de aanwezigheid van een gipskorst (afb. 11), die deels losgelaten heeft. De breuk is voor een deel gevuld met aarde van bovenaf.

Hygrische kenmerken

De (schijnbare) volumieke massa en porositeit van de mergel van de vier monsterlocaties in de vuursteenmijn worden gegeven in tabel 1.¹⁹ De porositeit is bepaald in het diepere, niet aangetaste deel van de boorkernen. De actuele en hygroscopische vochtgehalten in de mergel (hygroscopisch vochtgehalte alleen van monster 2) worden weergegeven in afbeelding 12. Het actuele vochtgehalte bedraagt maximaal 13 tot 15 massa-percent in monster 9. De h=Hygroscopische vochtgehalten zijn laag voor alle monsters (minder dan 1 massa-percent), behalve in monster 2. Dit betekent dat er bijna geen hygroscopische zouten aanwezig zijn in de mergel, behalve in monster 2 van locatie 1 waar een kleine hoeveelheid hygroscopische zouten aanwezig is op diepte.

Tabel 1. Schijnbare volumieke massa en porositeit van mergel uit de Plenkertweg vuursteenmijn.

Monster	(Schijnbare) vol. massa kg m ⁻³	(Schijnbare) porositeit vol.%
1	1376	48.1
2	1696	36.0
3	1325	50.0
6	1369	48.3
8	1324	50.3

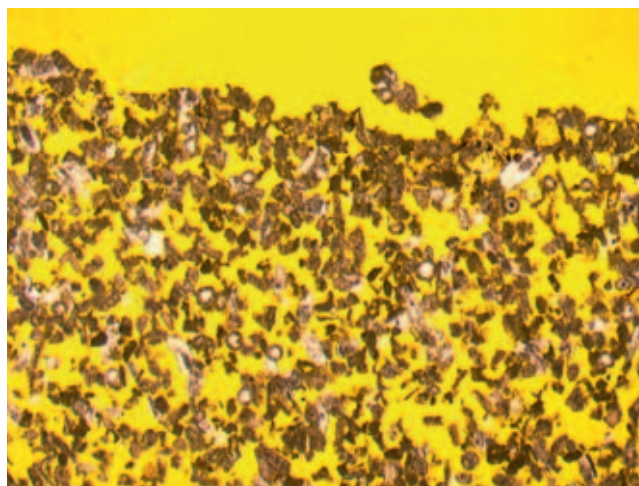


Afb. 12. Actueel (AMC) en hygroscopisch vochtgehalte (HMC – alleen monster 2) in mergel uit de vuursteenmijn aan de Plenkertweg. De vochtgehalten zijn bepaald op twee diepten voor elk monster

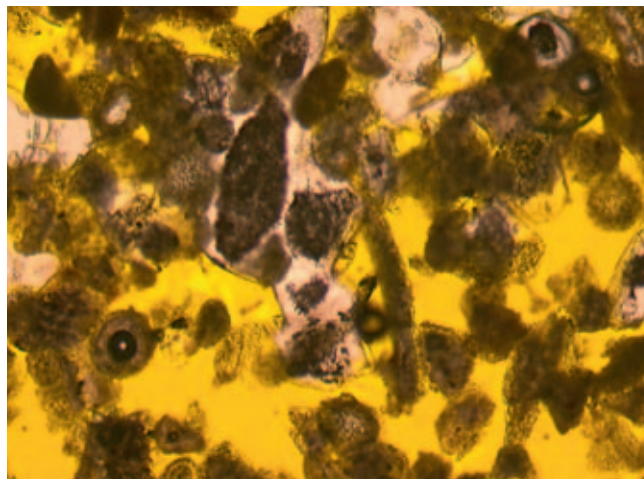
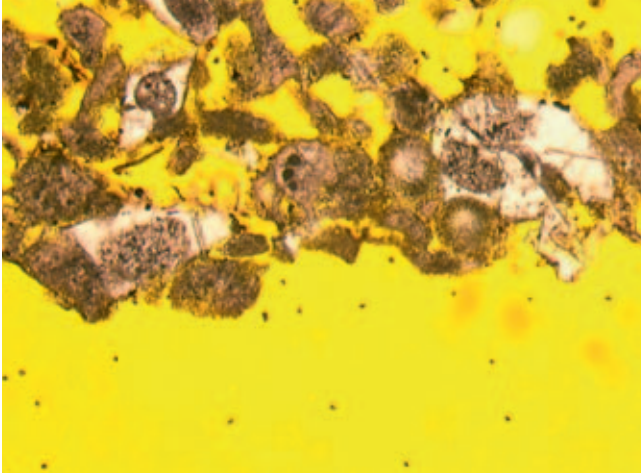
Petrografie

Eén van de monsters (monster 5 van locatie 2) is onderzocht met polarisatie- en fluorescentiemicroscopie (PFM). Het blijkt een poreuze, zuivere kalksteen met talrijke (gebroken) fossielen en een microstructuur die typerend is voor de Limburgse mergel.²⁰ Er is geen verschil geobserveerd in de microstructuur van de kalksteen direct onder het oppervlak en op diepere niveau's (afb. 13). De fossielfragmenten zijn in geringe mate door secundair calciement (2 – 3 volume%) aan elkaar vast gekit, het zogenaamde spariet (afb. 14). Het spariet vormt heldere, homogene en soms rhomboëdrische kristallen die de fossielfragmenten overgroeien. De grove, intergranulaire porositeit is ongeveer 50 volume%, waar de intra-granulaire porositeit binnen de fossielfragmenten nog bij komt. Met de microscoop is duidelijk zichtbaar dat micro-organismen het oppervlak van de kalksteen binnendringen (afb. 15).

Onderzoek met de electronenmicroscoop van één van de monsters (monster 2 van locatie 1) laat zien dat de huid bestaat uit een ongeveer 2 mm dikke harde zwarte korst van gips (afb. 16). Bij een ander monster (monster 6 van locatie 2) is in plaats daarvan een biologische laag, een zogenaamde biofilm, aanwezig met daarin schimmeldraden en algen (afb. 17). Onder de biofilm hebben de calciekorrels afgeronde hoeken en zijn de grenzen tussen de korrels vervaagd door oplossing. Direct onder de gipskorst of biofilm bevat de oppervlaktelaag in beide monsters ook enkele aluminosilicaten; dit betreffen waarschijnlijk kleimineralen (afb. 18). Hoewel in zeldzame gevallen knollen van kleimineralen plaatselijk voor kunnen komen in de mergel²¹, zijn kleimineralen meestal niet aanwezig. Vanwege het feit dat deze aluminosilicaten ook veel aanwezig blijken bovenop de afgeronde, deels opgeloste calciest kristallen, lijkt het waarschijnlijk dat ze afkomstig zijn uit het grondpakket boven de mergel.



Afb. 13. Microfoto van de mergel vlak bij het oppervlak (het beeldveld bedraagt 5,4 x 3,5 mm)

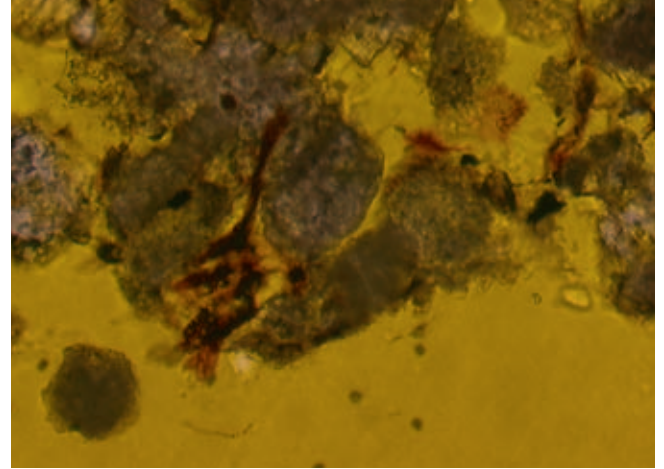


Afb. 14. Microfoto's van overgroeiingen van secundair calciet (sparriet) op fossielfragmenten (het beeldveld bedraagt 0,7 x 0,4 mm)

Discussie en conclusie

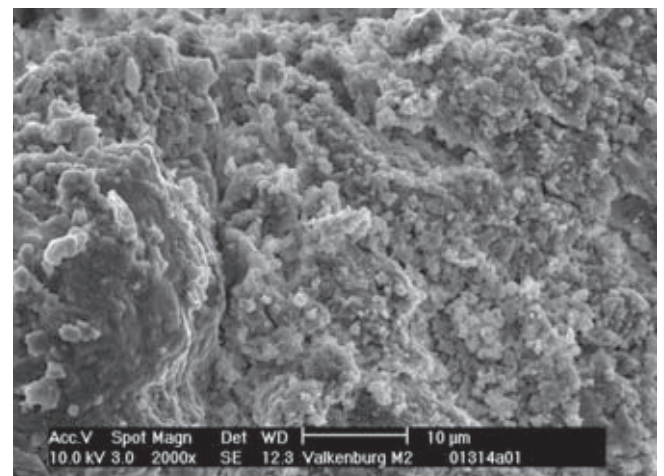
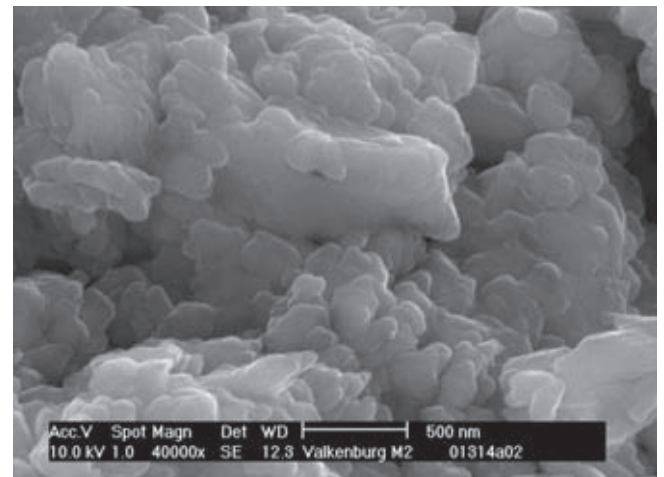
In de vuursteenmijn aan de Plenkertweg is vuursteen gewonnen uit de Emael kalksteen van de Formatie van Maastricht uit het Boven-Krijt. Door de insnijding van het dal zijn de Midden-Neolithische schachten, gangen en haksporen in het zicht gekomen. Pas in 1992 werd de aanwezigheid van de vuursteenmijn onderkend. De formatie van Maastricht bestaat uit een laag zachte, poreuze kalksteen van nauwelijks aan elkaar gekitte fossielfragmenten. Sinds de blootstelling van de mijn aan weer en wind, vertonen de kalkstenen in deze natuursteenlaag verschillende schadekenmerken. Behalve geologische breuken en spleten in de laag, zijn de volgende schade fenomenen herkenbaar: biokolonisatie, resulterend in dunne biofilms, bestaande uit algen en schimmels, en ook dikkere biologische lagen bestaande uit mossen; vorming van gipskorsten en gedeeltelijke onthechting van deze korsten; desintegratie van de matrix van de steen door oplossing van het calcietcement.

Duidelijk is dat de aanwezigheid van vocht een bepalende

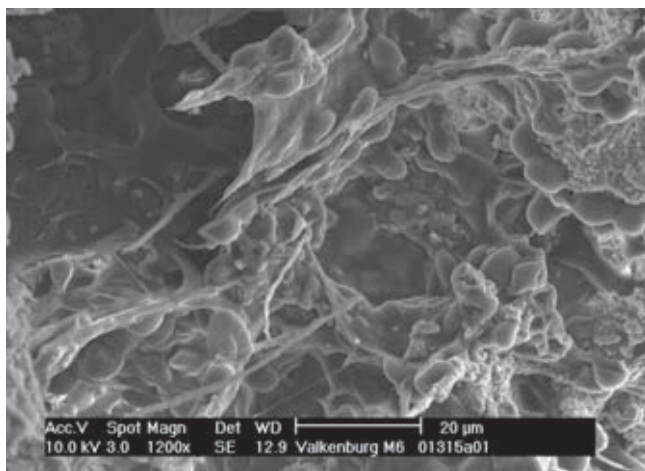


Afb. 15. Microfoto van het binnendringen van micro-organismen vanaf het oppervlak van de mergel (het beeldveld bedraagt 0,7 x 0,4 mm)

factor is in het ontstaan van alle drie schade fenomenen. Hieronder wordt de rol van vocht geëvalueerd voor de locaties 1 en 3. Op locatie 1 kan het vocht dat de mergel aantast van



Afb. 16 Electronenmicroscopie-opname van de gipskorst op de mergel



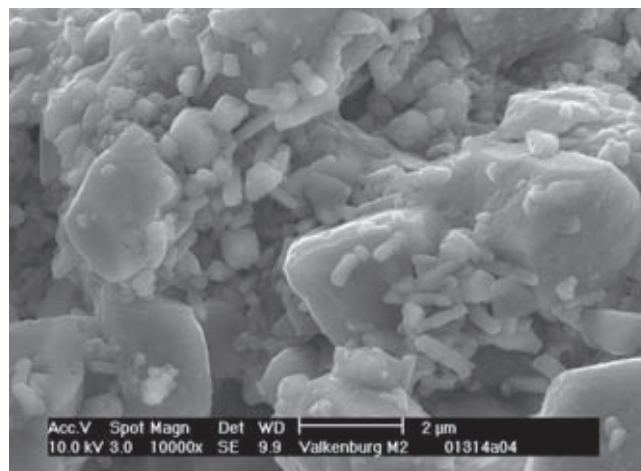
Afb. 17. Electronenmicroscop opname van de biofilm met schimmeldraden en algen

verschillende bronnen afkomstig zijn: doorsijpelen van regen- en oppervlaktewater, dus vocht uit de bovenliggende grondlagen; infiltratie van regenwater door het oppervlak; opspattend water van de grond en de weg; optrekkend vocht.

Tegelijkertijd verhindert de groei van planten voor de wand de verdamping van vocht, waardoor een lokaal microklimaat ontstaat. De combinatie van deze factoren heeft geleid tot het ontstaan van drie zones met verschillende schadepatronen: langs het bovenste deel van de ontsluiting stimuleert een redelijk natte zone de ontwikkeling van algen, samen met enige oplossing van de mergel; halverwege de ontsluiting heeft een gemiddelde vochtconditie het ontstaan van gipskorsten mogelijk gemaakt - deze gipskorst beschermt de kalksteen tegen verdere aantasting door oplossing; in het onderste gedeelte van de ontsluiting hebben zeer natte omstandigheden ervoor gezorgd dat biofilms vrij snel konden ontstaan. Deze biofilms verhinderen de droging en dragen bij aan een snellere aantasting van de kalksteen dieper achter het oppervlak.

Op locatie 3 is doorsijpelen van regen- en oppervlaktewater uit het bovenliggend grondpakket de enige vochtbron. Daarnaast wordt de verdamping significant belemmerd door de erg beperkte luchtcirculatie binnen de oude mijngang en de hoge relatieve vochtigheid in de gang in de zomer, die mede ontstaat door een dan lage temperatuur in de gang vergeleken met de temperatuur van de omgevingslucht. Dit alles stimuleert biokolonisatie. De toenemende biokolonisatie veroorzaakt vervolgens een progressieve afname van de verdamping.

Zoals duidelijk zal zijn, zal preventieve conservering van de locatie primair gericht moeten zijn op het beperken van het vocht aanbod, terwijl tegelijkertijd de verdamping zo veel mogelijk bevorderd moet worden. Maatregelen kunnen bestaan uit beperken van optrekkend vocht, door het aanleggen van drainage buizen aan de voet van de wand, voorkomen van opspattend water en voorkomen van biologische groei aan de voorzijde van de muur en in breuken. Op de lange termijn is echter het verkrijgen van meer inzicht in het beschreven mechanisme en in de omvang en snelheid van de degene-



Afb. 18. Electronenmicroscop opname van aluminosilicaten boven op calcietkorrels in de mergel

ratie noodzakelijk; hiervoor zou eigenlijk een monitoring-campagne noodzakelijk zijn.

De vuursteenweg aan de Plenkertweg in Valkenburg aan de Geul ligt in een interessant gebied, met in de directe omgeving Bierbrouwerij De Leeuw met haar monumentale water-rad uit 1886 en de Romeinse catacomben, dit alles in het Nationaal Landschap Zuid-Limburg. Door afgraving van een deel van de helling van het Geuldal ter plaatse in het verleden is de oorspronkelijk ondergrondse mijn aan het daglicht gekomen, maar lange tijd niet herkend. Een schildering op de zijmuur van de brouwerij geeft thans een impressie van de oorspronkelijke situatie en van de wijze van ontginning. Sinds 1993 is de vuursteenmijn een archeologisch monument; sindsdien is de site ingericht, waardoor in 2003 een voor het publiek toegankelijke attractie is ontstaan (afb. 19). In deze gekozen inrichting is een aantal maatregelen genomen, zo wordt droging bevorderd en biologische groei verminderd, hetgeen de conservering te goede zal komen.



Afb. 19. Overzicht van de vuursteenmijn als archeologisch monument, met uitleg voor het publiek (april 2009)

Noten

- ¹ F.T.S. Brounen, H. Pisters & P. Ploegaerts, 'In het hol van 'de Leeuw'; Een kalksteenwand met prehistorische vuursteenmijnen in Valkenburg aan de Geul', *Historisch en Heemkundige Studies in en rond het Geuldal* 1993, 7-35.
- ² W.M. Felder, 'Lithostratigrafie van het Boven-Krijt en het Dano-Montien in Zuid-Limburg en het aangrenzende gebied. In: W.H. Zagwijn & C.J. van Staalduinen (red.), *Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland*. Rijks Geologische Dienst, Haarlem, 1975, 63-72. W.M. Felder & P.W. Bosch, *Krijt van Zuid-Limburg*. NITG-TNO, Delft/Utrecht 2000.
- ³ Felder en Bosch 2000.
- ⁴ Mergel is overigens geologisch gezien een zeer ongelukkige naam, aangezien dit per definitie een kleirijke kalksteen / kalkrijke klei is. Maastrichter kalksteen zou derhalve gelukkiger zijn.
- ⁵ L. Keuller, E. Lehaye en W. Sprenger, 'Limburgsche bouwstenen', *Publications de la Société Historique et Archéologique dans le Limburg* 46(1910), 307-367. F.H.G. Engelen, 'Mergel' als bouwsteen', *Grondboor en Hamer* 26, 1972, 191-196. F.H.G. Engelen, '2500 Jaar winning van kalksteen in Zuid-Limburg', *Grondboor en Hamer* 29, 1975, 38-64. P.W. Bosch, 'Voorkomen en gebruik van natuurlijke bouwsteen in Limburg', *Grondboor en Hamer* 43(1989), 215-222. Felder en Bosch 2000. R. Dreesen, M. Duser en F. Doperé, *Natuursteen in Limburgse monumenten*, Provinciaal Natuurcentrum, Genk 2001. R. Dreesen en M. Duser, 'Historical building stones in the province of Limburg (NE Belgium): Role of petrography in provenance and durability assessment', *Materials Characterization* 53, 2004, 273-287. C.W. Dubelaar, M. Duser, R. Dreesen, W. Felder en T.G. Nijland, 'Maastrichtian limestone: Regionally significant building stones in Belgium and the Netherlands, serving cultural heritage from Roman times up to the present day', in: R. Fort, M. Alvarez de Buergo, M. Gomez-Heras en C. Vazquez-Calvo (red.), *Heritage, weathering and conservation*. Taylor en Francis, London 2006, 9-14.
- ⁶ Keuller et al. 1910, R. Dreesen et al. 2001, C.W. Dubelaar et al. 2007.
- ⁷ H.L. de Groot, 'De Heilige Kruiskapel te Utrecht', *Bulletin KNOB* 93(1994), 135-149. R. Rijntjes, 'De *ecclesiola* in het Utrechtse castellum. Bouwhistorische interpretatie van de resten van de Heilige Kruiskapel', *Bulletin KNOB* 93(1994), 150-161.
- ⁸ A. Slinger, H. Janse en G. Berends, *Natuursteen in monumenten*, Baarn 1980. T.G. Nijland, C.W. Dubelaar en H.J. Tolboom, 'De historische bouwstenen van Utrecht', in: W. Dubelaar, (red.), *Utrecht in steen. Historische bouwstenen in de binnenstad*, Utrecht 2007, 31-109.
- ⁹ W.M. Felder, 'Overzicht van de prehistorische vuursteenexploitaties binnen het Krijtgebied tussen Aken – Heerlen – Luik – Maastricht en Tongeren', in: P.C.M. Rademakers, red., *De prehistorische vuursteenmijnen van Ryckholt – St. Geertruid*, Nederlandse Geologische Vereniging, Afdeling Limburg, Beek, 1998, 169-192.
- ¹⁰ Rademakers (red.) 1998.
- ¹¹ P.C.M. Rademakers, 'C14-dateringen van de prehistorische vuursteen-winpplaatsen in Zuid-Limburg en omgeving, gekalibreerd naar vergelijkbare BC-jaren', in: Rademakers (red.) 1998, 283-288.
- ¹² Felder en Bosch 2007.
- ¹³ Rademakers 1998.
- ¹⁴ H. Löhr, 'Zur Verbreitung von Feuerstein aus den Bergwerken in der Umgebung von Maastricht in Deutschland', in: 2nd International Symposium on Flint. Nederlandse Geologische Vereniging, *Staringia* 3(1976), 95-97.
- ¹⁵ W.M. Felder, 'De Valkenburg-vuursteenindustrie in Zuid-Limburg', in: 2nd International Symposium on Flint. Nederlandse Geologische Vereniging, *Staringia* 3(1976), 81-85. W.M. Felder *op. cit.*, 1998.
- ¹⁶ Brounen et al. *op. cit.*
- ¹⁷ Rademakers 1998.
- ¹⁸ Felder en Bosch 2000.
- ¹⁹ Bepaald volgens de RILEM CPC 11.3 methode.
- ²⁰ Vgl. Dubelaar et al. 2007.
- ²¹ T.G. Nijland, J.C. Zwaan, D. Visser en J. Leloux, *De mineralen van Nederland*, Leiden 2007.