

Groene jaspis uit midden-pleistocene afzettingen van Arcen

Hans Bongaerts

H. Bongaerts, Rector van de Boornlaan 13, 6061 AN Posterholt.

Het Limburgse Pleistoceen wordt gekenmerkt door dikke zand- en grindpakketten die door Maas en Rijn zijn afgezet. In deze afzettingen is kwarts algemeen, veelal in de vorm van witte, grofkristallijne gangkwarts. Een ander lid van de kwartsgroep dat in het grind voorkomt is jaspis, dat door zijn meestal helderrode kleur een opvallende verschijning is. Onlangs werd een zeldzame vondst van groene jaspis gedaan. Voor zover bekend is dit het tweede exemplaar in Limburg. In dit artikel volgt een beschrijving van deze vondst.

Inleiding

Over de hele provincie verspreid vindt in Limburg zand- en grindwinning plaats; zowel in natte als droge winning (Felder 1989). In het dalingsgebied van de Centrale Slenk zijn de economisch waardevolle sedimentpakketten tientallen meters dik, waardoor het centrum van deze industrie tussen Stevensweert en Roermond is komen te liggen. Ter hoogte van Roermond zijn in de loop der tijd grote plassen ontstaan die nu belangrijk zijn als recreatie- en natuurgebieden. In de omgeving van Arcen (Noord-Limburg) bevindt zich een aantal plaatsen waar op kleinere schaal gebaggerd wordt. Het is vooral zand dat hier gewonnen wordt. De kleinere hoeveelheid grind die mee opgebaggerd wordt, wordt opgeslagen in de directe omgeving van de winplaatsen. Al geruime tijd hebben de grinddepots de aandacht van verzamelaars van gesteenten en fossielen; de vele vondsten van agaat en verkiezeld hout getuigen daarvan. Een belangrijke collectie die opgebouwd is uit materiaal van de Arcense grindgroeven is door J. van den Essen uit Venlo-Blerick bijeengebracht. In oktober 1998 meldde deze de vondst van een groen gekleurde rolsteen die al snel als jaspis gedetermineerd die kon worden. Opmerkelijk is de korte tijd ligt tussen Bongaerts' artikel (1998) over groene jaspis uit Posterholt en het bekend worden van deze vondst. Navraag bij verzamelaars wees uit dat een dergelijke jaspis voor zover bekend nooit eerder in het Arcense grind is aangetroffen. Ook tijdens eerdere inspecties van diverse collecties van fluviaal grind uit Limburg kon geen groen gekleurde jaspis worden herkend. Om deze reden, en vanwege de zeldzaamheid van groene jaspis in het algemeen, wordt de vondst hier nader beschreven. Naast een geologische schets van de vindplaats en omgeving, worden mineralogische data gegeven. De jaspis bevindt zich nu in de collectie van de auteur (reg. nr. 1878). Enkele kleine fragmenten die

van de rolsteen zijn afgebroken en voor onderzoek zijn gebruikt, bevinden zich in het Roerstreekmuseum te St. Odiliënberg.

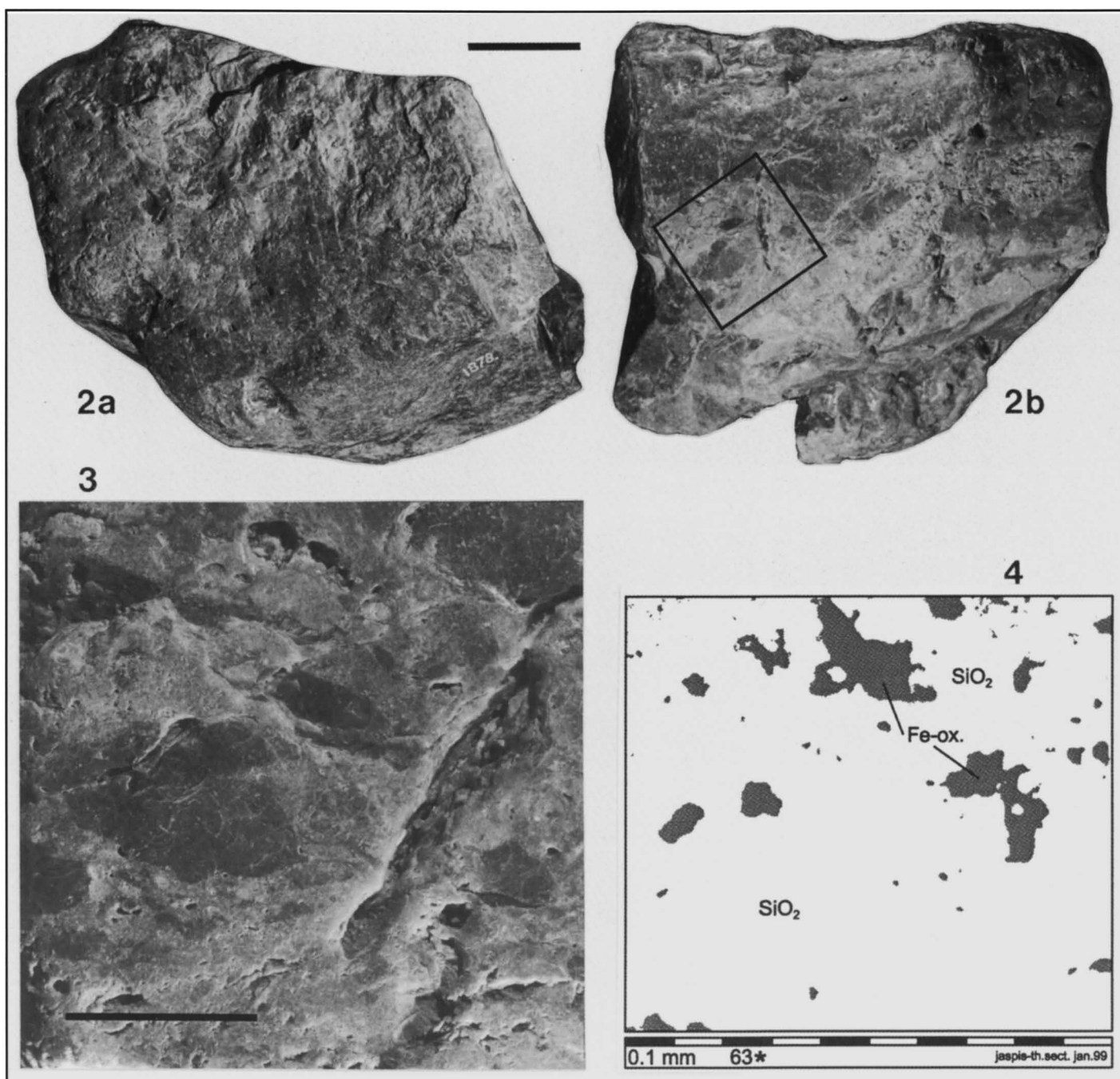
Geologische situatie

De jaspis is gevonden op het grinddepot van Janssen Venlo bv, een firma die ter plaatse een groeve exploiteert waar voornamelijk zand voor specien en betonfabricage wordt gewonnen. De groeve bevindt zich ten noordoosten van Arcen (gemeente Arcen en Velden), in een gebied dat plaatselijk bekend staat als Dorper Heide, vlakbij

de Nederlands-Duitse grens. Het bosrijke landschap wordt aan de westzijde begrensd door de Maas en in het noordwesten is er aansluiting met het Nationaal Park De Hamert (afb. 1). De oorspronkelijke maaiveldhoogte van de vindplaats bedroeg 25,00 m +NAP. De exacte stratigrafische positie van de rolsteen is niet bekend; de maximale diepte waarop momenteel wordt gebaggerd bedraagt ongeveer 12 m. Een aantal algemene sedimentologische verschijnselen die binnen de groeves bij Arcen zichtbaar zijn worden door Laban (1984) toegelicht, terwijl Lenssen (1967) gegevens van een



Afb. 1. Situatiekaartje. De vindplaats is met een ster aangegeven. Het gearceerde gebied geeft de verbreiding van de Formatie van Urk weer.



Afb. 2a en 2b. Groen gekleurde jaspis rolsteen uit Arcen. Coll. Bongaerts, nr 1878. Maatstreek 2.5 cm. Afb. 3. Detail van de rolsteen met breccieuze structuur (omkaderd deel in afb. 2b). Maatstreek 1 cm. Afb. 4. Structuur van de jaspis met onregelmatig gevormde insluitels van ijzeroxiden. Detail uit slijpplaat nr 1878a, archief Roerstreekmuseum te St. Odiliënberg.

fysisch-geografisch onderzoek vermeldt.

De geologie van dit gebied is complex, en wordt bepaald door jonge Maasterrassen aan de westzijde, en de Viersen-Walbecker heuvelrug (Thome 1984) in het oosten. Een aantal zuidoost-noordwest lopende breuken verdelen de ondergrond in diverse slenken en horsten. De sedimenten die worden aangesneden maken deel uit van de Formatie van Urk, en vormen een voortzetting van het bovenste mid-denterras (Rijn) (Doppert *et al.* 1975; Teunissen 1983, naar Zonneveld 1956). De Formatie van Urk is een wijdverbreide eenheid, maar komt slechts op weinig plaatsen aan de oppervlakte. Binnen een klein gebied ten noordoosten van Venlo is de formatie deels dag-zomend en deels bedekt met dunne

afzettingen van eolische zanden. De Formatie van Urk, waaraan een Midden-Cromerien- tot Holsteinien-ouderdom wordt toegeschreven, bestaat hier uit grove, grindrijke zanden. Het zware-mineralen-diagram (Zonneveld 1956) toont weinig augiet, maar veel hoornblende en is van een type dat elders in Nederland niet wordt aangetroffen. Door Maarleveld (1956) is ter plaatse een aantal gesteentetellingen verricht (monsterpunt 193, Dorper Heide), met een hoog kwartspercentage en, in vergelijking tot de directe omgeving, relatief veel gerolde vuursteen. De gesteentesamenstelling in de grind- en stenenfractie bestaat uit materiaal dat grotendeels afkomstig is uit het westelijk deel van Midden-Duitsland (Eifel, Hunsrück en Westerwald). Regelmatig voorkomen

de mineraal- en gesteentecomponenten zijn onder andere agaath uit het vulkanisch Perm in het stroomgebied van de Nahe, gangkwarts, lydiëet, basalt, diabaas, zandsteen uit het Bontzandsteen (Trias), kwartsiet en schist.

Beschrijving van de vondst

De vondst is een slecht afgeronde, 1175 gram zware rolsteen ter grootte van 11 x 11 x 7 cm (afb. 2a en 2b). Aan de buitenzijde is, zoals typisch voor jaspis, een windlak-achtige glans te zien, op het verse breukvlak (alleen aanwezig op de plek waar fragmenten zijn verwijderd voor analyse) is een matte glans zichtbaar. De kleur is het meest opvallend aan deze vondst. De rolsteen is voor het grootste deel groen van kleur; variërend van 5G3/2

Principe röntgendiffractie en toelichting bij afbeelding 5.

Deze grafiek is het resultaat van een röntgendiffractie-analyse; dit is een betrouwbare methode om mineralen te determineren. Hier is de zogenaamde Debye-Scherrer- of poeder-methode met diffractometer toegepast. Enkele grammen van het te onderzoeken mineraal of mineraalagregaat worden tot poeder vermalen en op een houder gekit. Deze houder wordt op een as in de diffractometer geplaatst en gelijktijdig met een röntgenstraal met bekende golflengte bestraald. In het kristalrooster ontstaat daardoor secundaire röntgenstraling. Deze treedt onder een bepaalde hoek t.o.v. de primaire röntgenstraal uit het kristalrooster. In een rooster zijn 'vlakken' aanwezig, vergelijkbaar met kristalvlakken aan de buitenzijde van kristallen. Iedere vlak levert een andere hoek en intensiteit van secundaire röntgenstraling op. Dit wordt door een detector gemeten. Omdat ieder mineraalsoort een unieke kristalstructuur heeft, kan op basis van de reflecties bepaald worden uit welke mineralen het monster bestaat. Meestal zijn de drie sterkste reflecties voldoende voor een goede determinatie. Röntgendiffractie wordt ook gebruikt om b.v. absolute afstanden in het rooster te meten, zoals de grootte van de eenheidscel. Ook kan informatie over de mate van ordening en fouten in de kristalstructuur worden vastgesteld.

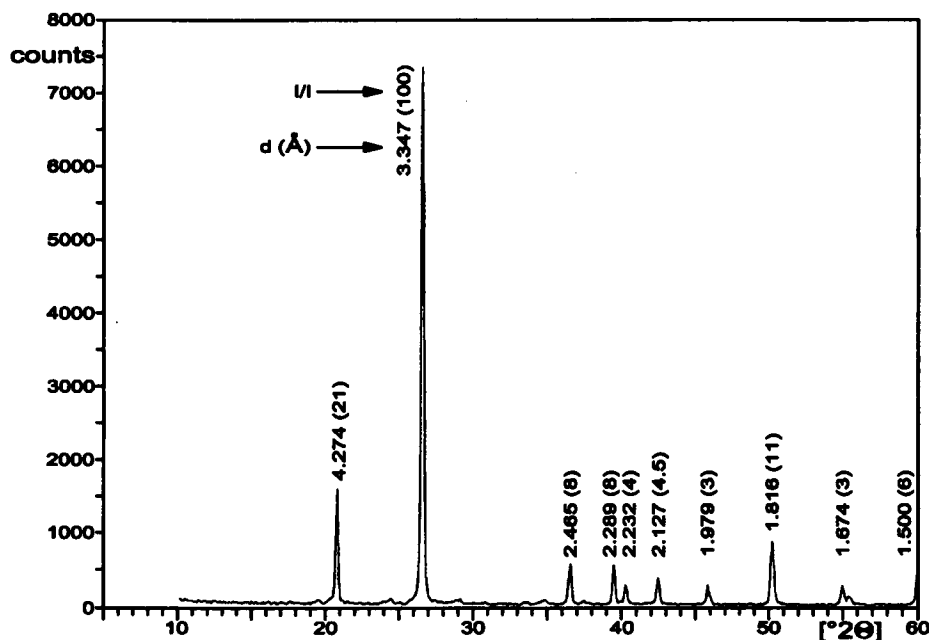
2θ = hoek van secundaire röntgenstraling.

I/I = relatieve intensiteit röntgenstraling.

d = afstanden tussen gedetecteerde roostervlakken

tot 10G6/2 (Munsell kleurcodering, zie Goddard, 1984), een kleiner oppervlak heeft een grijsbruine kleur (5Y5/6). Binnen het grijsbruine deel bevinden zich enkele spleten en holten, waarvan de wanden zijn overgroeid met kleine kleurloze kwarts kristalletjes zonder of met zeer korte prisma's. Een smalle zone direct boven het grijsbruine deel, is breccieus met donkergroene, hoekige componenten in een lichter groene grondmassa (afb. 3).

De jaspis heeft een zeer fijnkorrelige structuur, waarin zich onregelmatig gevormde deeltjes en 'vlokken' met een donkergroene kleur en roodbruine spikkels van ijzeroxiden (afb. 4) bevinden. In een loodrecht op het hoogglanzende rolsteenoppervlak gemaakt slijpplaatje, is een scherp begrensd, zeer lichtgroen laagje van doorschijnend kwarts zonder insluitsels zichtbaar. Dit laagje vormt de buitenzijde van de rolsteen en volgt met een constante dikte



Afb. 5. Röntgendiffractie-spectrum (poeder) van de jaspis uit Arcen.

van ca. 12 μm alle onregelmatigheden van de daaronder liggende jaspis. De soortelijke massa bedraagt 2,68, wat iets lager is die van de jaspis welke in Posterholt is gevonden, terwijl de soortelijke massa van trigonale kwarts 2,65 bedraagt.

Bij het bepalen van de chemische samenstelling zijn metingen verricht aan de binnenzijde en aan het bovengenoemde laagje. Zoals te verwachten was, bestaat er een verschil in samenstelling tussen deze twee gedeelten. In tabel 1 zijn de resultaten van de chemische analyses opgenomen.

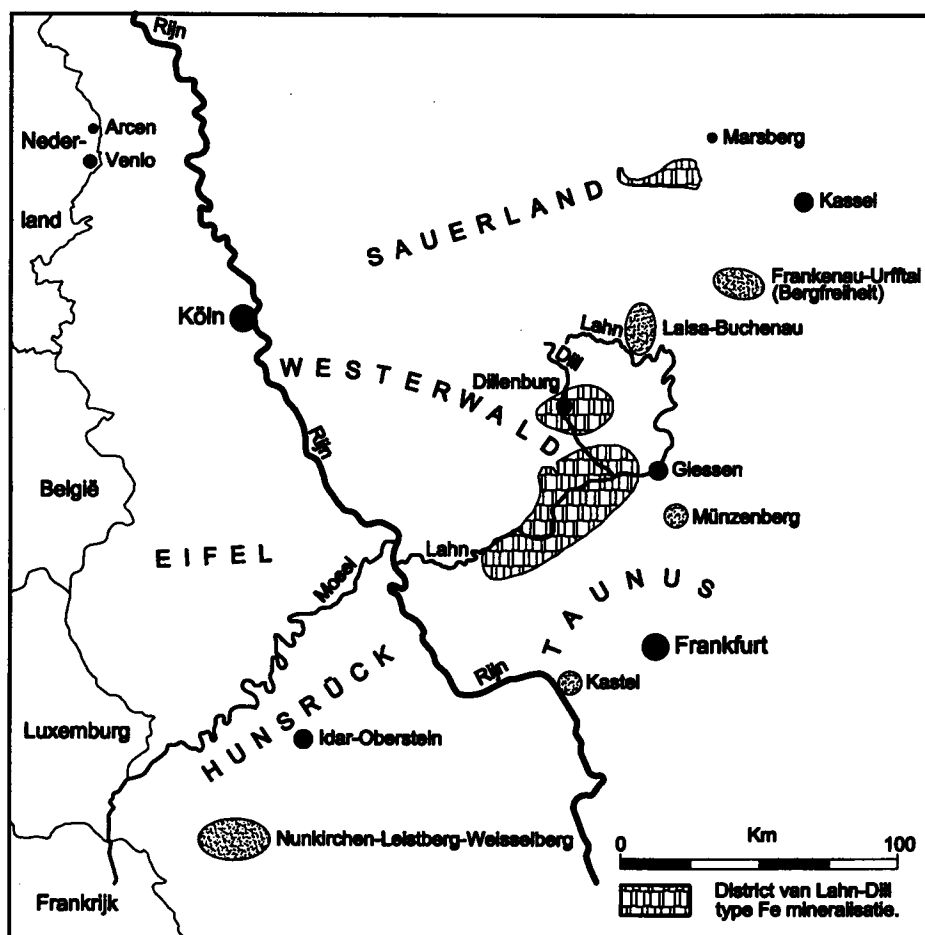
Het gloeiverlies is bij 600 °C gering en bedraagt 0,11 gewichts%. In overeenstemming met de Posterholtse jaspis, is de gloeirest overwegend roodbruin van kleur, een kleiner deel is bruingrijs. Een röntgendiffractie-analyse (XRD) (volgens de Debye-Scherrer-methode) resulteert in het typische spectrum voor trigonale kwarts (= 'low-quartz', 'Tief-Quarz', $\alpha\text{-SiO}_2$); een lage vlakke achtergrondruis met zeer intensieve reflecties. In afb. 5 is het spectrum weergegeven tot 60 ° 2θ , in dit bereik ontstaan de drie sterkste reflecties bij ca. (° 2θ -) 21 (=100), 26 (=101) en 50 (=112).

Discussie

Binnen de groep van fijnkristallijne kwartsvariëteiten met korrelige structuur, waartoe de hierboven beschreven jaspis behoort, wordt een groot aantal types onderscheiden, gerelateerd aan geologisch milieu en mineralogische kenmerken. Jaspis wordt in systematische mineralogische overzichten al lange tijd opgenomen: Hausmann (1813, p. 396) omschrijft jaspis als '...Kiesel mit Thon und Eisenoxyd, in noch näher zu bestimmenden Verhältnissen. Eben- oder erdig-muschlicher Bruch. Inwendig matt oder wachsartig schimmernd.' Frondel

(1962, p. 224) gaat uitvoerig in op de meeste kenmerken: '...a type of massive, fine-grained, or dense quartz that contains relatively large amounts of admixed material, chiefly iron oxide, up to 20 per cent or more... The fracture of jasper generally is smooth and even, grading to flat-conchoidal. The material is opaque or virtually so, and the luster is dull...'

Binnen de chalcedoonvariëteiten bestaan allerlei overgangsvormen; in 1896 (p. 562) merkt Bauer in zijn standaardwerk op '...und ebenso is der Jaspis von anderen unreinen dichten Quarzvarietäten, wie Eisenkiesel u.s.w. nicht mit Bestimmtheit zu trennen. Gegen die (...) Chalcedone ist der Jaspis ebenfalls nicht scharf abgegrenzt; auch hier sind alle möglichen Übergänge zwischen dem typischen Jaspis und dem typischen Chalcedon vorhanden...'. Als gevolg van deze brede overgangsgebieden, wordt de term jaspis op zeer uiteenlopende wijzen gebruikt. In de Nederlandse literatuur worden jaspis en daarop gelijkende mineralen in vele publicaties genoemd en beschreven (zie onder anderen Oostingh 1921, Van der Lijn 1923, Van Straaten 1946, Koenderink 1959, Vergoossen 1960, Van der Heide & Hellinga 1974, Bongaerts 1986). Hierin komt de inconsequente terminologie voor deze structuurvariëteiten duidelijk naar voren. Benamingen die voor jaspis-rolstenen worden genoemd zijn 'ijzerkiesel', 'rijnkiesel', 'kiesel' en in enkele gevallen 'carneool'. Vaak zijn aanvullende analyses noodzakelijk om een bepaald monster te typeren. Dit geldt vooral wanneer we te maken hebben met monsters als erratica en rolstenen, die zich niet meer in hun vroeger milieu bevinden en waarbij de relatie met de oorspronkelijke geologische omgeving ontbreekt. Als karakteristieke kenmerken voor jaspis kunnen echter het hoge



Afb. 6. Overzichtskaartje met enkele in de tekst genoemde toponiemen.

gehalte aan Fe-oxiden, compacte structuur en matte glans op het verse breukvlak worden genoemd; deze kenmerken vertoont de Arcense vondst.

Tijdens bestudering van één van de slijpplaatjes onder sterke vergroting is op het rolsteenoppervlak een zeer dun laagje kwarts waargenomen, waarvan structuur en kleur duidelijk afwijken van de hieronder liggende jaspis. Uit de chemische analyse blijkt dat de samenstelling van dit laagje eveneens verschilt; de silicium-waarde is hoger

en ijzeroxide-waarde lager dan de rest van de rolsteen.

Daarnaast is uit het omringende sediment calcium opgenomen. Dit secundair ontstane kwartslaagje veroorzaakt een hoge glans aan de buitenzijde van de rolsteen. Door Van der Waals (1967) wordt de groei van silicium aan zandkorrels in laat-tertiaire sedimenten in Limburg toegelicht. De auteur klassificeert de door erosie en secundaire silicium-aangroei beïnvloede korrels aan de hand van microscopisch vastgestelde morfologische kenmerken, waarbij

	Jaspis, Arcen buitenzijde	Jaspis, Arcen kern	'Eisenkiesel', Medenbach	Groene jaspis Swierki
MgO	0,50	0,90	0,04	2,05
Al ₂ O ₃	2,34	2,41	1,12	8,96
SiO ₂	92,31	86,65	92,10	77,89
K ₂ O	1,44	2,52	-	3,48
CaO	0,71	-	0,16	0,43
Fe ₂ O ₃	2,69	7,51	4,26	1,85
MnO	-	-	0,03	-
S	-	-	0,02	-
TiO ₂	-	-	<0,02	0,34
H ₂ O				3,16
gloeiverl.		0,11 (600°C)		3,63 (temp.?)
Wth%	99,99	100,10	97,75	101,79

Tab. 1. Chemische analyse. Ter vergelijking is een analyse van 'Eisenkiesel' uit de ijzerertsgroeve Mariane te Medenbach (Dill-kreis) vermeld (Schaeffer 1980, naar Lippert et al. 1970), aangetroffen in vroeg-carbonische diabaas. Daarnaast de samenstelling van groene jaspis uit Swierki (Polen) geassocieerd met permische melafier (Heflik et al., 1993).

korrels met secundair neergeslagen silicium door een hoge glans gekenmerkt worden. In een hieraan voorafgaand kort bericht (Van der Waals, 1965), bespreekt de auteur de migratie van kiezelzuur in relatie met bodemvormende processen, en noemt het voorkomen van hoogglanzende vuursteen door secundair SiO₂ in Limburgse pliocene sedimenten.

De oorzaak van een (groene) kleur bij mineralen kan teruggevoerd worden op onder andere de ionen-valentie, interferentie en onregelmatigheden in het kristalrooster. Het XRD-spectrum komt geheel overeen met dat van trigonale kwarts en er is geen vermenigving van (in grotere hoeveelheden optredende) mineraalfasen aanwezig die een dergelijke intensieve kleur kunnen veroorzaken. In de jaspisafzetting van Swierki (Polen) die door Heflik et al. (1993) wordt beschreven, is de jaspis voor een deel groen gekleurd. Hier wordt de aanwezigheid van sporen Cu-mineralen (0,002 gewichts% Cu) als bron voor de groene kleur genoemd. Het is zeer waarschijnlijk dat de groene kleur bij de Arcense jaspis veroorzaakt wordt door het als Fe²⁺ aanwezige ijzer. Een aanwijzing hiervoor is het feit dat er tijdens het bepalen van het gloeiverlies een kleuromslag naar roodbruin plaatsvindt door het ontstaan van Fe³⁺.

Binnen het stroomgebied van de Rijn komt op talrijke plaatsen jaspis voor. Als herkomstgebied voor de rood gekleurde jaspis rolstenen in de Limburgse fluviale sedimenten wordt door de meeste auteurs het gebied van de Lahn en Dill genoemd. Uit het stroomgebied van deze rivieren is dit mineraal van diverse plaatsen bekend. In het gebied tussen Marburg en Kassel, met name rond Frankenu, bestaan vele ontsluitingen (afb. 6). De afzettingen waaraan veel van deze jaspis-voorkomens gebonden zijn, bestaan binnen het tektono-stratigrafische gebied van de Rhenohercynische zone vooral uit de 'Lahn-Dill type' Fe-mineralisaties. Aan de synsedimentaire tot syndiagenetische ontstane jaspis en jaspisachtige afzettingen wordt een Laat-Givetien- tot Vroeg-Frasnien-ouderdom toegeschreven. Plaatselijk stond deze bekend als 'ijzer'- of 'bloed-jaspis'. Het ontstaansmechanisme en de bronnen van onder andere Fe en Si en het voorkomen van vroeg-carbonische ijzerkiesel in het geheel van de Lahn-Dill-mineralisaties zijn nog niet geheel duidelijk (zie Werner & Walther, 1995).

Ten westen van de (huidige) Rijn zijn tussen Dillingen en Idar-Oberstein bovendien diverse voorkomens in magmatische milieus bekend. Een bekende vindplaats bevindt zich bij Nunkirchen bij Dillingen. Hier is jaspis ingesloten tussen verkieselde permische conglomeraten. (Müller 1970).

Dankwoord

Voor hun hulp bij dit artikel ben ik M. Storms (Centraal Laboratorium N.V. Koninklijke Sphinx te Maastricht), J. van den Biggelaar (laboratorium Zuiveringschap Limburg, Roermond), J.W.M. Jagt (Natuurhistorisch Museum Maastricht) en J. van den Essen (Blerick) zeer dankbaar.

Summary

Pleistocene strata in the province of Limburg consist mainly of fluvial sediments of the Rhine and Meuse (Maas) rivers. Sedimentary sequences in the so-called 'Centrale Slenk' (central Limburg) reach great thicknesses, which explains the rise of large-scale sand and gravel exploitations in this area. In northern Limburg, near Arcen, there are a number of sand and gravel pits, exposing strata of the Urk Formation. Deposited by the Rhine, this unit crops out or occurs under a thin cover in very few places only in the Netherlands. At the Arcen pits, various private collectors are active, which is explained mainly by the occurrence of fine agates and silicified wood. Recently, J. van den Essen (Venlo-Blerick) discovered a green jasper, the second known specimen from Limburg. In the present paper, this find is described, preceded by a brief introduction of the geological setting of the site, and followed by a discussion of the terminology used in the literature for erratic boulders of jasper and other stones of jasper-like structure.

The Arcen boulder has a compact structure and a dull gloss on freshly broken surfaces and bright gloss on the outside.

The latter is brought about by a 12 μm thick layer of quartz, which in chemical composition and structure differs from the underlying jasper. Typical of jasper, the chemical composition of the inside of the boulder is characterised by a high content of iron oxide. An X-ray diffraction analysis (Debye-Scherrer method) reveals the typical spectrum of low-quartz ($\alpha\text{-SiO}_2$). It is assumed that the greenish hue can be ascribed to Fe^{2+} ; the jasper turns reddish brown, due to origination of Fe^{3+} , during glow determination. Within the catchment area of the Rhine, there is a number of areas from which the present boulder could have originated. For the reddish jasper, most authors record as region of origin, the Lahn-Dill area (Germany), where bright red varieties occur which locally are quarried for the gem industry. Figure 5 shows the sites where jasper in Devonian and Carboniferous deposits crops out.

Literatuur

- Bauer, M., 1896. Edelsteinkunde. Leipzig (Tauchnitz), xvi+766 pp.
- Bongaerts, H., 1986. Fluviale afzettingen in Limburg: een systematisch-mineralogische beschouwing. Roerstreek '86, Jaarboek Heemkundevereniging Roerstreek 18: 97-104.
- Bongaerts, H., 1998. Een groenrode jaspis rolsteen uit Midden-Pleistocene afzettingen bij Posterholt. Natuurhistorisch Maandblad 87 (5): 98-102.
- Doppert, J.W.C., G.H.J. Ruegg, C.J. van Staalduinen, W.H. Zagwijn & J.G. Zandstra, 1975. Formaties van het Kwartair en Boven-Tertiair in Nederland. In: W.H. Zagwijn & C.J. van Staalduinen (red.), 1975. Toelichting bij Geologische overzichtskaarten van Nederland: 11-56. Haarlem (Rijks Geologische Dienst).
- Felder, W.M., 1989. Grind, zand en klei in de provincie Limburg. Grondboor en Hamer 43 (5/6, themanummer Delfstoffen in Limburg): 231-247.
- Fronde, C., 1962. The system of mineralogy of J.D. Dana & E.S. Dana, vol. III. New York/London (Wiley), xii+334 pp.
- Goddard, E.N. (red.), 1984. Rock-color chart. Geological Society of America.
- Heflik, W., M. Pawlikowski, T. Sobczak & N. Sobczak, 1993. Jaspers from Swierki near Nowa Ruda, Lower Silesia, Poland. Journal of Gemmology 23 (6): 356-359.
- Hausmann, J.F.L., 1813. Handbuch der Mineralogie. Göttingen (Vandenhoeck & Ruprecht), xvi+1158 pp.
- Heide, G.D. van der, G.D. & W.Tj. Hellinga, 1974. Zwerfstenen. Naarden (Strenght), 336 pp.
- Koenderink, A.G., 1959. Jaspis en radiolariet - Een bijdrage tot de kennis der zuidelijke zwerfstenen. Grondboor en Hamer 13: 309-215.
- Laban, C., 1984. De Rijn in Limburg. Spiegel der Natuur 1: 8-14.
- Lenzen, J., 1967. Fysisch-geografisch onderzoek in de omgeving van Arcen (Noord-Limburg). Rapport Rijksinstituut voor Veldbiologisch Onderzoek ten behoeve van het Natuurbehoud. Wageningen, 36 pp.
- Lijn, P. van der, 1923. Keienboek. Zuthpen (Thieme & Cie), viii+260 pp.
- Lippert, H.-J., H. Hentschel & A. Rabien, 1970. Erläuterungen zu Blatt 5215 Dillenburg. Geologische Karte Hessen 1: 25.000. 550 pp.
- Maarleveld, G.C., 1956. Grindhoudende Midden-Pleistocene sedimenten. Mededelingen van de Geologische Stichting, serie C-VI (6): 105 pp.
- Müller, G., 1970. Mineralogie und Lagerstätten des Saarlandes. Der Aufschluss, (Sonderheft 19): 153-172.
- Oostingh, C.H., 1921. Bijdrage tot de kennis der zuidelijke zwerfstenen in Nederland en omgeving. Mededelingen Landbouwhoogeschool Wageningen 19, 164 pp.
- Schaeffer, R., 1980. Die Eisenkiesel bei Laissa in Nordhessen - ein unterkarbonisches Quarz-Hämatit-Erz des 'Lahn-Dill-Typs'. Der Aufschluss, 31 (6): 205-210.
- Straaten, L.M.J.U. van, 1946. Grindonderzoek in Zuid-Limburg. Mededelingen van de Geologische Stichting C-VI (2): 146 pp.
- Teunissen, D., 1983. The development of the landscape of the nature reserve De Hamert and its environs in the northern part of the province of Limburg. Geologie en Mijnbouw 62 (4): 569-576.
- Thome, K.N., 1984. Quartär. In: H.A. Bastin (red.) Erläuterungen zu Blatt C 4702 Krefeld: 19-26. Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:100.000. Krefeld (Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen).
- Vergoossen, H., 1960. Rode ijzerkiezels in de omgeving van Echt. Jaarboek 1960 Nederlandse Geologische Vereniging Afdeling Limburg: p. 13.
- Waals, L. van der, 1965. Geologie en bodemkunde in Zuid-Limburg. Jaarverslag van de Geologische Stichting 1964: 45-51.
- Waals, L. van der, 1967. Morphological phenomena on quartz grains in unconsolidated sands, due to migration of quartz near the earth's surface. Mededelingen van de Geologische Stichting, Nieuwe Serie 18: 47-51.
- Werner, W. & H.W. Walther, 1995. Metallogenesis. In: Dallmeyer et al. (red.), Pre-Permian Geology of Central and Eastern Europe: 87-95. Berlin/Heidelberg (Springer)
- Zonneveld, J.I.S., 1956. Schwermineralgesellschaften in Niederrheinischen Terrassensedimenten. Geologie en Mijnbouw, themanummer 'Das Quartär an Maas und Niederrhein', 18 (12): 395-401.

Verklaring van enige termen

Chalcedoon: een groep mineralen, bestaande uit fijnkristallijne tot kryptokristallijne kwarts. Tot deze groep behoren o.a. agaat, carneool, jaspis en vuursteen.

Cromerien: oudste Tijd van het Subtijsdvak Midden-Pleistoceen, 0,3 - 0,8 miljoen jaar geleden.

Diabaas: klein- tot middelkorrelig ganggesteente met de samenstelling van gabbro of basalt, dikwijls met ofitische structuur (kriskras liggende plagioklaaslijsten in een donkere matrix). In Engeland en Duitsland wordt de term alleen gebruikt voor secundair omgezet gesteente, terwijl voor het niet omgezette gesteente de naam doleriet wordt gebruikt.

Frasnien: oudste Tijd van het Tijsdvak Laat-Devoon, 367-374 miljoen jaar geleden.

Givetien: jongste Tijd van het Tijsdvak Midden-Devoon, 374-380 miljoen jaar geleden.

Holsteinien: het op één na jongste interglaciaal van het Pleistoceen, circa 2-2,5 miljoen jaar geleden.

Melafier: in Duitstalige gebieden gebruikte term voor secundair omgezette, 'oude' basalt (paleobasalt).

Jaspis: een ondoorschijnende, onzuivere variëteit van kryptokristallijne kwarts (chalcedoon). De kleur is gewoonlijk bruin, geel of rood door ijzeroxiden.