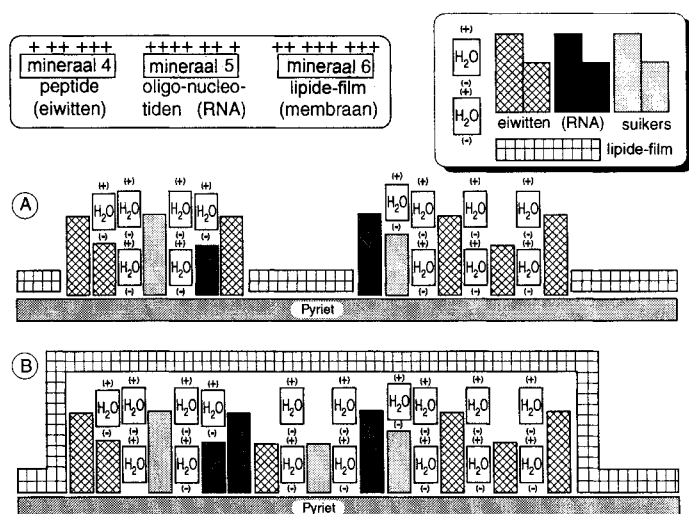




verzameling van minerale ladingspatronen waarvan de mogelijke stappen in de moleculaire evolutie afgelezen konden worden.

Wat op de stenen geschreven staat - en 4 miljard jaar geleden ook al stond - was dus de wegwijzer naar het cellulaire leven.

Literatuur

- Deamer, D.W., 1997. The first living systems: a bioenergetic perspective. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* **61**: 239-261
- Ferris, J.P., Hill, H.R., Liu, R., Orgel, L.E., 1996. Synthesis of long prebiotic oligomers on mineral surfaces. *Nature* **381**, 59-61
- Huber, C., Wächtershäuser, G., 1997. Activated acetic acid by carbon fixation on (Fe,Ni)S under primordial conditions. *Science* **276**: 245-247.
- Keller, M., Blöchl, E., Wächtershäuser, G., Stetter, K.O., 1994. Formation of amide bonds without a condensation agent and implications for origin of life. *Nature* **368**: 836-838.
- Mertzman, S.A., Williams, J.W., 1981. Genesis of silicic magmatism in the Medicine Lake Highland, California: evidence from cognate inclusions found at Little Glass Mountain. *Geochim. Cosmochim. Acta* **45**: 1463-1478.
- Wächtershäuser, G., 1992. Groundworks for an evolutionary biochemistry: The iron-sulphur world. *Prog. Biophys. molec. Biol.* **58**: 85-201.

Fig. 24. De eerste stap in de richting van een cellulaire structuur. Links boven zijn de drie mineralen uit het voorafgaande schema weergegeven, waaraan eiwitten, oligo-nucleotiden en lipide-films gevormd kunnen worden. Rechts boven staan de symbolen voor eiwitten, suikers (met verschillende ketenlengtes), RNA, lipide-films en de (in feite natuurlijk veel kleinere) watermoleculen. Als alle componenten aan hetzelfde mineraaloppervlak gebonden zijn (en dat is volgens de theorie van Wächtershäuser het pyriet) dan komen we tot het volgende beeld:

(A) Naast elkaar zijn aan dit oppervlak suikers, eiwitten, RNA en lipiden gebonden, waarbij de laatstgenoemden tamelijk grote, samenhangende "domeinen" vormen.

Tussenin en aan positieve ladingen van de grote moleculen is H₂O aangehecht. De grootte van de arealen die de verschillende componenten aan het oppervlak innemen kan natuurlijk variëren, zodat bijvoorbeeld de eiwitten een kwart, een derde of meer van het oppervlak kunnen bedekken. Het gevolg is een onderlinge competitie voor bindingsplaatsen, die mede bepaald wordt door de synthese-snelheid van de verschillende componenten. Als de synthese van lipiden sneller gaat dan die van de andere componenten dan verandert de kwantitatieve verhouding van lipiden tot de andere componenten, en er vindt een "ontmenging" plaats: De lipide-arealen laten voor een groot gedeelte los van het oppervlak en vormen door cohesie een samenhangende film die "op het water drijft", maar plaatselijk contact blijft houden met het oppervlak. (B) Het resultaat is een ruimte die begrensd is door een lipide-film (membraan), waarin de andere componenten (eiwitten, suikers, RNA, water) opgesloten zijn. Dit is een belangrijke stap in de structurele evolutie, een goed voorbeeld voor de moleculaire en structurele co-evolutie en een model voor de ontwikkeling van voorlopers van het cellulaire leven.

Nogmaals dank aan mevr. A.M. Lauwers voor de redactionele steun en aan dr. C. Stumm voor de met zoveel deskundigheid en geduld genomen fraaie foto's.

Correctie Mineralen en gassen, deel II

In het bijschrift van Fig. 17 (deel II, juli 1997) is een foutje geslopen. De aanhaling (flesje 1b) hoort niet op deze plaats, maar aan het einde van de volgende zin. Dus:

"Tijdens het afkoelen hechten de organische componenten zich weer zowel aan het pyriet als aan het glasoppervlak (flesje 1b)".

Het Fen-carbonatietcomplex, Zuid-Noorwegen

door Timo G. Nijland

Inleiding

Het Fen-carbonatietcomplex is gesitueerd aan de westzijde van het Norsjø meer, bij het stadje Ulefoss in de provincie Telemark, op ongeveer 120 km ten zuidoosten van Oslo (Afb. 1). Het complex ligt enige tientallen kilometers buiten de bekende Oslo-slenk met zijn omvangrijke Permische magmatisme.

Hoewel de aanwezigheid van 'kalksteen' hier al wel bekend was, werd het complex in feite ontdekt in mei 1918,

toen Victor Moritz Goldschmidt, één van de grondleggers van de moderne geochemie en toen net benoemd tot voorzitter van het Statens Råstoff-laboratorium (het Staats Grondstoffenlaboratorium), een bezoek bracht aan het gebied om de eventuele mogelijkheden voor exploitatie van de 'kalksteen' te onderzoeken. Goldschmidt merkte de aanwezigheid op van het zeldzame niobiumhoudende mineraal pyrochloor. Naar aanleiding hiervan bracht Goldschmidt in augustus van datzelfde jaar een nieuw bezoek dat een week duurde, tezamen met zijn voormalige



Afb. 1. Het Fen-gebied.

Gesteenten in het Fen-complex

In het Fen-complex (Afb. 2) komt een hele reeks gesteenten voor waarvan de samenstelling varieert van gesteenten uit de urthiet-ijoliet-melteigiet-groep en alkali-lamprofier, de z.g. *damtjernieten* (in de oudere literatuur soms ook *damkjerniet* genoemd), tot verschillende types **carbonatiet**, te weten *søviet* (calciet carbonatiet), *rauhaugiet I* (dolomiet carbonatiet) en *rauhaugiet II* (ankeritische ferrocarbonatiet); voorts komt een onder de inwerking van vloeistoffen omgezette variant voor, de z.g. *rødberg*, een roodgekleurde hematiet-dolomiet-calciet carbonatiet [3,4,6].

De gesteenten van de urthiet-ijoliet-melteigiet-groep vormen de oudste intrusies in het centrale deel van het Fen-complex. Nadien zijn de verschillende types carbonatiet geïntroduceerd, gevolgd door gangen en explosie-

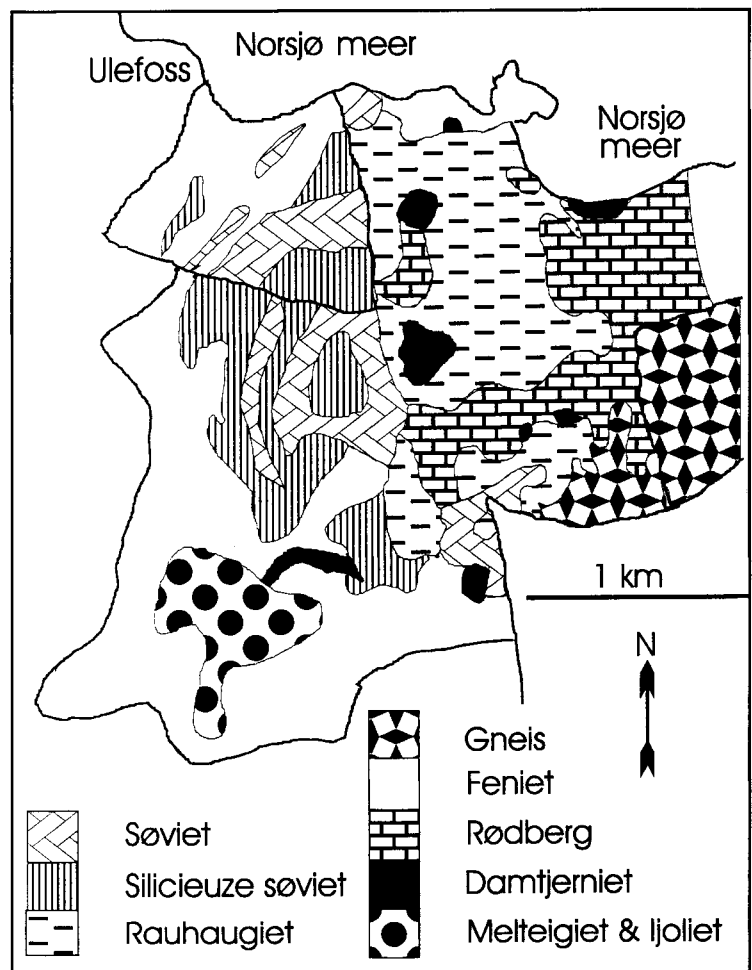
breccies van damtjerniet [7]. Intrusie van de verschillende magma's ging gepaard met grootschalige hydrothermale interactie tussen vrijgekomen vloeistoffen en de reeds aanwezige Precambriësche gneizen, leidend tot omzetting, vervanging en vorming van natriumrijke mineralen in deze gneizen. Dit proces wordt **fenitisatie** genoemd.

De eigenlijke carbonatieten (Afb. 3) bestaan zoals de naam al zegt vooral uit carbonaat (calciet, dolomiet en ankeriet). De *søviet* bestaat daarnaast vooral uit biotiet / phlogopiet, apatiet, opake mineralen (magnetiet, hematiet, pyriet), pyrochloor en bariet. Biotiet / phlogopiet is vaak omgezet naar chloriet. Accessorisch komen amfibool en aegirien voor, terwijl ook microklien, albiet, nefelien en, zeldzaam, kwarts mogen optreden. In de *rauhaugiet*

hoogleraar en de latere Noorse minister van onderwijs Waldemar C. Brøgger, waarbij zij aanvingen het gebied te karteren [1]. Goldschmidt publiceerde de ontdekking als *abstract* [2]. De kartering werd tijdens een tweede gezamenlijk bezoek in mei 1919 voltooid, waarna Brøgger een mineralogisch en petrografisch onderzoek van de aange troffen en verzamelde gesteenten ondernam. Dit onderzoek resulteerde in Brøggers klassieke verhandeling 'Das Fengebiet in Telemark, Norwegen' [3], waarin niet alleen een zeer gedetailleerde beschrijving van de gesteenten werd gegeven, maar ook de conclusie werd getrokken dat de 'kalksteen' in het Fen- gebied niet van sedimentaire, doch van magmatische oorsprong was. Hoewel reeds eerder een enkele geoloog die conclusie had getrokken met betrekking tot vergelijkbare gesteenten elders, was het Brøggers werk dat dit concept in de wetenschappelijke wereld ingang deed vinden.

De carbonatieten van het Fen-complex en daaraan gere lateerde intrusies zijn binnengedrongen in circa 1100 miljoen jaar oude Precambriësche gneizen, en zijn gere lateerd aan breuken die parallel zijn aan de begrenzing van het Baltisch Schild, in een vergelijkbare positie als het Alnö-carbonatietcomplex in Zweden, en de carbona tiet-complexen op het Kola-schiereiland in Rusland [4]. In een zone rondom de kern van het Fen-complex zijn de gneizen waarin de carbonatieten geïntroduceerd zijn intensief omgezet onder invloed van natriumrijke oplossingen; tevens zijn gesteenten veelvuldig gebreccieerd. De Fen-carbonatieten worden omgeven door een soort aureool van explosieve intrusies en breccies met een alkalirijk lamprofier-type magmatisme, waaronder de z.g. **damtjernieten** (zie hieronder). Tot nu toe zijn meer dan vijftig van dergelijke satellietintrusies geïdentificeerd, waarvan de verst afgelegene zich op 51 km afstand van het eigenlijke Fen-gebied bevindt. Het gebied waarin het Fen-magmatisme zich manifesteert omvat ca. 1500 km² [5]. De damtjernieten zijn geschikt gebleken om de ouder dom van dit magmatisme te bepalen met behulp van radiometrische methoden, en wel op 578 miljoen jaar (Laat-Precambrium). Eén damtjernietgang levert echter een veel jongere ouderdom op van 324 miljoen jaar (Carboon), hetgeen er op duidt dat carbonatiet-magmatisme tot twee maal toe op een en dezelfde plaats optrad [5].

Afb. 2. Geologische schetskaart van het Fen-gebied (naar S. Dahlgren, 1978)





Afb. 3. Carbonatiet uit het Fen-gebied.

Apatiet is een fluorapatiet, en komt als prima's of kleine min of meer equidimensionale kristallen voor in alle carbonatieten [3, 4, 8]. In de søviet treedt het behalve als individuele kristallen vaak op in aggregaten van naaldjes met een dikte van ca. 0,02 mm. Deze apatiet bevat geringe hoeveelheden strontium en barium [4]. Apatiet is, doordat het in zulke aanzienlijke hoeveelheden aanwezig is (tot 8 vol.%), de voornaamste bron van zeldzame aarden in de Fen-carbonatieten, doch het totale gehalte aan zeldzame-aardenoxiden is minder dan 1 gewichtsprocent [8]. Yttriumgehaltes zijn lager dan 0,32% Y_2O_3 [10].

Aragoniet komt te samen met psilomelaan voor in secundaire aggregaten aragoniet in rødberg [11].

Arfvedsoniet komt als donkerblauwe kristallen en rozetten voor in de carbonatiet.

komen benevens carbonaat apatiet, veldspaat, bariet en magnetiet voor. Het gesteente treedt vaak op in gangen. De *rødberg* bevat naast carbonaten en hematiet vooral kwarts, apatiet, albiet en bariet.

De intrusieve silicaatgesteenten vallen uiteen in twee families, die van de urthiet-ijoliet-malteigiet-groep, en de lamprofieren. Gesteenten uit de urthiet-ijoliet-malteigiet-groep bestaan voornamelijk uit nefelien en/of alkali veldspaat, aegerien, titaan-augiet, en apatiet. Afhankelijk van het type kunnen ook amfibool, biotiet, calciat, cancriniet, granaat, perovskiet, titaniet en opake mineralen belangrijke bestanddelen zijn.

De lamprofier-familie omvat onder andere de al genoemde *damtjerniet* (Afb. 4). Dit gesteente bevat verscheidene grote eerstelingen van biotiet, hoornblende en pyroxeen. De pyroxeen is veelal clinopyroxeen met een lichtgroene diopsiedkern en randen van titaan-augiet of aegirien-augiet, maar magnesiumrijke orthopyroxeen komt ook voor evenals magnesiumrijke olivijn. De eerstelingen zijn vaak afgerond en opgebroken. Voorts bestaat het gesteente uit veldspaat, nefelien, magnetiet, en calciat, met accessorisch apatiet, chromiet, epidoot, ilmeniet, perovskiet, pyriet, titaan-andradiet ('melaniet'), titaniet. De damtjerniet bevat vele, vaak hoekige, insluitels van andere gesteenten, zoals gneis, carbonatiet, lherzoliet, pyroxeniet en urthiet. Naast de damtjerniet komen gangen van sannaet voor, bestaande uit perthiet, augiet en/of aegirien, hoornblende, chloriet, calciat, nefelien, apatiet, titaniet en opake mineralen.

Mineralogie van de carbonatieten

Albiet komt accessorisch voor in alle typen carbonatiet, vaak in lensjes en adertjes met microklien, kwarts en bariet.

Allaniet komt voor in de rauhaugiet, en bevat aanzienlijke hoeveelheden lanthanum en cerium, doch geen zwaardere zeldzame aarden [8].

Anataas komt voor als accessorisch mineraal in ijzerertsen die ingesloten zijn in de rødberg, en bevat geringe hoeveelheden niobium [9].

Ankeriet is een belangrijk bestanddeel van de rauhaugiet, en geeft dit type carbonatiet vaak een gelige kleur [4]. Ankeriet in de rauhaugiet heeft een samenstelling in de buurt van de mengreeks dolomiet - ferrodolomiet, met $CaFe(CO_3)_2$ gehaltes tot 40 mol% [7]. Relicten van ankeriet komen ook voor in de rødberg, als onregelmatige transparante korrels, waarvan de samenstelling hetzelfde is als van de ankeriet in de rauhaugiet [7].

Afb. 4. Damtjerniet; merk de grote eerstelingen van biotiet, en talrijke ingesloten carbonatietfragmenten op.

Bariet treedt in alle carbonatiettypen op, veelal in adertjes en lensjes met albiet, kwarts en microklien [3,4].

Bariumveldspaat komt in kleine hoeveelheden voor in sommige rauhaugietmonsters [7].

Bastnäsiet-groep mineralen treden accessorisch op in de ijzerertsen en carbonatieten van het Fen-complex als fijnkorrelige aggregaten met chloriet en carbonaten. Ze bevatten aanzienlijke hoeveelheden ijzer [8,9].

Beryl komt accessorisch voor in søviet [12].

Biotiet treedt in alle carbonatiettypen op [4]. In de søviet betreft het een Mn-rijke variëteit die vroeger *manganophylliet* genoemd werd [3], en nu gewoon als biotiet beschouwd wordt.

Bruciet komt sporadisch voor als omzetting in rauhaugiet [3].

Calciat is het hoofdbestanddeel van de søviet. De kristallen kunnen 2 tot 4 mm groot zijn, maar zijn typisch 0,5 tot 1 mm. In de rødberg zijn de kristallen 0,01 tot 1 mm. groot [4]. Calciat in de rauhaugiet bevat in het algemeen aanzienlijke hoeveelheden ijzer (tot 4 gew.% FeO). In de rødberg is dit niet het geval; de calciaten hierin hebben ijzergehaltes minder dan 1 gew.% FeO. SrO-gehaltes kunnen oplopen tot ongeveer een half gewichtsprocent [7].

Chalcopyriet komt accessorisch voor in rauhaugiet [10].



Chloriet komt voor als omzetting van biotiet in zowel de søviet als de rauhaugiet [4].

Columbiet treedt op als omzetting van pyrochloor, en, zeldzamer, als zelfstandige kristallen; indien de columbiet voorkomt als omzetting is deze veelal pseudomorf [4,11]. De columbiet kan aanzienlijke hoeveelheden van het element scandium bevatten, tot 6% Sc_2O_3 ; de hoogste gehalten aan scandium zijn aangetroffen in columbiet in de rauhaugiet. Tevens zijn geringe hoeveelheden yttrium (tot 0,45% Y_2O_3) aanwezig [10].

Dolomiet vormt het hoofdbestanddeel van de rauhaugiet I, maar het komt ook in de søviet voor [3,4]. Dolomiet in de rauhaugiet is ijzerarm, doch kan significante hoeveelheden mangaan bevatten (tot 3 gew.% [7]).

Fersmiet komt vergroeid met pyrochloor voor in søviet [11].

Fluoriet komt accessorisch voor in de søviet. In de rauhaugiet treedt het op in lensjes en adertjes; sommige rauhaugietmonsters vertonen een wat blauwe kleur, door de aanwezigheid van dispers verdeelde fluoriet [4].

Goethiet komt voor als secundaire vervanging van hematiet in ijzerertsen ingesloten in alle typen carbonatiet [9].

Hematiet vormt een algemeen bestanddeel van de rauhaugiet. In de rødberg vormt het 20 tot 50 vol.%, en komt het voor als tabletvormige kristallen van 0,003 tot 0,01 mm groot. Vaak zijn deze hematietkristallen poikilitisch, en bevatten ze talrijke insluitels van carbonaat [4]. In de ijzerertsen vervangt de hematiet eerder gevormde magnetiet. Hematiet komt voor als massieve schoofvormige aggregaten en als sub- tot euhedrische, tabletvormige kristallen. De tabletvormige hematietkristallen zijn gegroeid parallel aan de kristallografische (111) richting van magnetiet, de z.g. *martiet* [9].

Ilmeniet komt zeldzaam voor als accessorisch mineraal in de rauhaugiet [7].

Isokiet is aangetroffen in rauhaugiet van de typelocaliteit [13].

Kobeiet is aangetroffen in rauhaugiet en rødberg [10].

Korund treedt accessorisch op in de søviet [4].

Kwarts komt voor als accessorisch mineraal in de carbonatiet. Het vormt adertjes en lensjes tezamen met albiet, mikroklien en bariet [4].

Maghemiet vervangt hematiet in ijzerertsen ingesloten in alle typen carbonatiet [9].

Magnetiet komt zowel in de søviet als in de rauhaugiet voor. In de søviet vormt het euhedrische kristallen tot ca. 5 mm. groot, en bevat 3,0% TiO_2 en 0,4% V; de magnetiet vertoont ontmengingen van ilmeniet, Magnetiet in de rauhaugiet bevat eveneens enig vanadium, doch is veel armer in TiO_2 . Deze magnetiet bevat ongeveer 1% Mn. In de rauhaugiet komt magnetiet vaak voor in clusters met apatiet. In de rødberg komt magnetiet accessorisch voor [4]. Magnetiet in de ijzerertsen heeft een bijna ideale samenstelling en is vrijwel vrij van TiO_2 [9].

Meliliet treedt accessorisch op in de rauhaugiet [4,6].

Mikroklien vormt, te samen met albiet, kwarts en bariet, adertjes en lensjes in de carbonatiet [4].

Monaziet komt voor als accessorisch mineraal in fijnkorrelige vergroeiingen met bastnäsiet / parisiet, carbonaten en chloriet in de carbonatieten en ijzerertsen. De samenstelling is vrijwel ideaal stoichiometrisch, en ijzerarmer (2,12 gew.% FeO) dan in de fluorcarbonaten (bastnäsiet, parisiet). De gehalten aan zeldzame aarden variëren van 6,9 tot 18 gew.% La_2O_3 , 25,5 tot 33,7 gew.%

Ce_2O_3 , 2,4 tot 4,8 gew.% Pr_2O_3 , 11 tot 26,5 gew.% Nd_2O_3 , en 1,1 tot 4,1 gew.% Sm_2O_3 . Tevens is thorium in geringe hoeveelheden aanwezig ($\approx 1,8$ gew.% ThO_2 [8]).

Nefelien komt voor in de søviet [4].

Parisiet komt voor in fijnkorrelige aggregaten met chloriet en calcië in carbonatieten en ijzererts, en bevat een aanzienlijke hoeveelheid ijzer; het vormt een mengreeks met synchysiet [8].

Periklaas is accessorisch aanwezig in de rauhaugiet [4,6].

Psilomelaan komt voor in secundaire aggregaten tezamen met aragoniet in rødberg [11].

Pyriet is een algemeen voorkomend mineraal in de rauhaugiet, alsmede in de ijzerertsen. Pyriet is vaak vergroeid met magnetiet [9]. De pyriet bevat geringe hoeveelheden kobalt (tot 0,25% Co) en mangaan (0,2 tot 0,5% Mn [6]).

Pyrochloor-groep mineralen vormen een belangrijk bestanddeel van de søviet. De pyrochloor vormt vaak euhedrische octaëders, tot ca. 5 mm groot. Hun kleur varieert van kleurloos tot rood, bruin en zwart. Vaak zijn de mineralen gezoneerd. De chemische samenstelling is zeer variabel: Nb_2O_5 58 - 72 gewichtsprocent, Ta_2O_5 0,5 - 2 gew.%, TiO_2 0,5 - 6 gew.%. FeO 1,0 - 20 gew.%, CaO 0,5 - 20 gew.%, alsmede een gehalte aan ThO_2 en zeldzame aarden tussen 0,5 en 20 gew.% [14]. Pyrochloor, rijk genoeg in U_3O_8 (15 - 20 gew.%) om gekwalificeerd te worden als **uraanpyrochloor**, komt ook voor [4].

Rutiel komt accessorisch voor in de søviet [4].

Sericiet is als omzetting van nefelien gevormd in de søviet [4].

Synchysiet komt voor in zowel de rauhaugiet als de rødberg [7].

Thorianiet is aangetroffen als insluitels in chalcopyriet in de rauhaugiet [10].

Thortveitiet komt als zeldzaam accessoria voor in de rauhaugiet [15].

Topaas komt accessoirisch voor in de søviet [4].

Tremoliet komt samen met alkali-amfibool voor in de søviet.

Villiaumiet is aangetroffen in een boorkern van søviet [11].

Zirkoon komt accessorisch voor in de søviet [4].

Zoisiet komt accessorisch voor in de søviet [4].

Economische activiteit

De met de Fen-carbonatiet geassocieerde ijzerertsen werden gemijnd vanaf het midden van de 17^e eeuw tot 1927. In 1652 werd in het stadje Ulefoss, op ongeveer 5 km van de Fen-groeve een ijzersmelter gebouwd. Deze was vanaf ongeveer 1726 tot 1830 in het bezit van de familie Løvenskiold. In deze periode, b.v. in 1781, droeg de oven voor 9,2% bij aan de Noorse ijzerproductie. In 1835 ging de smelter over in handen van D. Cappellen. De oven bleef in gebruik tot ca. 1875, en werd in 1877 afgebroken [16]. De winning van ijzererts ging echter door. In de periode 1851-1855 werd 1400 ton ijzererts geproduceerd, 6% van de totale toenmalige Noorse productie. In 1907 was dit gestegen tot 37000 ton, 28,5% van de totale Noorse productie in dat jaar [16].

Het ijzererts, de *rødberg*, komt voor in het centrale en westelijke gedeelte van het complex, in lenzen en massa's die variëren in dikte van enige centimeters tot enige meters, en die enige tientallen meters lang kunnen zijn. Het voornamelijk uit hematiet bestaande ijzererts is ontstaan door oxidatie van magnetiet en

pyriethoudende carbonatiet van het *rauhaugiet II*-type [9]. Behalve aan ijzererts zijn sommige carbonatiëten in het Fen-gebied ook rijk aan apatiet. Gedurende de eerste helft van de Tweede Wereldoorlog deed Goldschmidt, tot hij het land kon ontvluchten, onderzoek hieraan, met het oog op eventuele productie van kunstmest [1]. Na 1953 werd carbonatiet door A/S Norsk Bergverk ontgonnen als niobiumerts.

Slot

Diegenen die een bezoek aan het Fen-gebied overwegen, dienen er rekening mee te houden dat de ontsluitingsgraad in het zacht glooiende landschap slecht is. Een grote groeve, die tenminste een paar jaar geleden nog in bedrijf was, is gelegen aan het Nordsjø meer, direct onder Ulefoss. In het Fen gebied bevinden zich ook de resten van een stenen christelijke kerk met aanpalend hof uit de Viking tijd, die zeker een bezoek waard zijn.

Literatuur

- [1] Mason, B., 1992, *Geochem. Soc. Spec. Publ.* 4. [2] Goldschmidt, V.M., 1918, *Vidensk. Ak. Forh.*, 20. [3] Brøgger, W.C., 1921, *Kong. Nor. Vidensk. Selsk. Skr.*, I. Matem.-Naturvidensk. Kl. 1921-9:1-402. [4] Barth, T.F.W. & Ramberg, I.B., 1966, in: Tuttle, O.F. & Gittins, J., red., *Carbonatites*. Londen, 225-257. [5] Dahlgren, S., 1994, *Lithos* 31:141-154. [6] Sæther, E., 1957, *Kong. Nor. Vidensk. Selsk. Skr.* 1:1-150. [7] Andersen, T., 1984, *Lithos* 17:227-245. [8] Andersen, T., 1986, *Mineral. Mag.* 50:503-509. [9] Andersen, T., 1983, *Nor. Geol. Tidsskr.* 63:73-82. [10] Åmli, R., 1974, *Intern rap.*, Mineral. Geol. Museum, Oslo. [11] Neumann, H., 1985, *Nor. Geol. Unders. Skr.* 68:1-278. [12] Sørum, H., 1955, *Kong. Nor. Vidensk. Selsk. Forh.* B28:112-119. [13] Klockmann, 1978, *Lehrbuch der Mineralogie*. 16^e druk, Stuttgart. [14] Bjørlykke, H. & Svinndal, S., 1960, in: Holtedahl, O., red., *Geology of Norway*. *Nor. Geol. Unders.* 208:105-110. [15] Åmli, R., 1977, *Econ. Geol.* 72:855-869. [16] Vogt, J.H.L., 1908, *Nor. Geol. Unders.* 46:1-83. [17] Dahlgren, S., 1978, *Nordagutu*, 1713 IV. *Berggrunnegeologisk kart 1:50.000*. Voorlopige uitgave. NGU.

Het gebruik van kunstharsen als bescherming tegen de oxidatie van pyriet

door Pilar Costagliola*, Curzio Cipriani* en Carlo Manganelli Del Fà**,
bewerkt en vertaald door Ernst A.J. Burke
Faculteit Aardwetenschappen, Vrije Universiteit
Amsterdam

Samenvatting

Ijzersulfiden zijn niet stabiel onder oxiderende omstandigheden. Handstukken van pyriet worden in musea zwaar beschadigd door de inwerking van zuurstof en luchtvochtigheid. Het gebruik van gefluorideerde, acryl- en siliconenharsen als bescherming van pyriet is onderzocht in een klimaatkamer en in zure oxiderende oplossingen. De veranderingen van pyriet werden gevolgd met colorimetrische parameters en door het meten van de ijzerconcentratie in etsende oplossingen. Acrylharsen beschermen pyriet slecht als er ultraviolette straling aanwezig is en hebben in het algemeen de neiging om geel te worden. In een vochtige omgeving en in volledig natte omstandigheden isoleren siliconenharsen het mineraal onvoldoende, waardoor water zijn oppervlak kan bereiken en oxideren. Gefluorideerde harsen zijn relatief het best geschikt als beschermende laag door hun goede afscherming en omdat zij volledig doorzichtig zijn zodat de optische eigenschappen van het monster niet gewijzigd worden. Maar geen enkele van de geteste harsen zorgt voor volledige isolatie van de handstukken en daardoor blijft uitwisseling van ionen mogelijk.

Inleiding

Er bestaat wijdverspreide overeenstemming onder museumcuratoren, dat handstukken van sulfiden mettertijd steeds minder

bruikbaar worden voor zowel tentoonstelling als onderzoek omdat zij sterk reageren op de atmosfeer en omdat zij aangetast worden door blootstelling aan licht. De schadelijke bestanddelen in de atmosfeer zijn vooral waterdamp, zuurstof en koolstofdioxide (CO₂), en in mindere mate ook zwavel- en stikstofoxiden. Zuurstof speelt de belangrijkste rol in de veranderingsprocessen, alhoewel mineralen in sommige gevallen door geoxideerde oppervlaktelagen beschermd worden tegen verdere corrosie. Een van de belangrijkste factoren die de corrosie beïnvloeden is de relatieve vochtigheid (RV) van de lucht: deze kan de aantasting van sulfiden dramatisch doen toenemen. Howie (1992) heeft een overzicht gegeven van een aantal aspecten van de rol van water dat in contact komt met pyriet in collecties van geologische materialen. Scott (1990) heeft beschreven dat er bij een RV van 60 % en bij een temperatuur van 20 °C op metalen oppervakken 15 laagjes van watermoleculen gevormd worden, en bij 90 % RV zelfs 30. Volgens de huidige opvattingen in de oppervlaktechemie houdt de aanwezigheid van meer dan drie dergelijke laagjes in dat deze laagjes dezelfde chemische eigenschappen hebben als

*Museum voor Mineralogie en Lithologie, Universiteit van Firenze
Via G. La Pira 4, I-50121 Firenze, Italië

**Wetenschappelijk Centrum voor het Onderzoek naar Oorzaken van Verval en Methoden voor Behoud van Kunstwerken,
Via Alfani 74, I-50121 Firenze, Italië

De oorspronkelijke versie van dit artikel (*Pyrite oxidation: protection using synthetic resins*) is verschenen in *European Journal of Mineralogy*, Vol. 9 (1997), 167-174.