

Grondboor en Hamer	3/4	1984	pag. 116 - 133	11 afb.	Oldenzaal, juli 1984
-----------------------	-----	------	-------------------	---------	-------------------------

Sillimaniet-houdende zwurfkeien

K. Linthout & Th. van Kempen*

INLEIDING

Sillimaniet is een macroscopisch weinig opvallend, maar toch interessant 'gidsmineraal voor hooggradige metamorfose'. In nederlandse zwurfkeien is het nog maar weinig herkend, althans er is weinig over gepubliceerd.

Dit bleek uit enig literatuuronderzoek n.a.v. de vondst van een zeer sillimaniet-rijke zwurfsteen in een zand- en grindzuigerij aan de Sibculoseweg te Westerhaar. Bij navraag onder keienverzamelaars op het Geologisch Instituut bleken verscheidene sillimaniethoudende zwurfkeien in collecties aanwezig te zijn. Hierbij dient opgemerkt te worden, dat het mineraal in verscheidene gevallen alleen microscopisch herkend kan worden. Om sillimaniet wat meer onder de aandacht van de nederlandse amateur-geologen te brengen, leek het ons nuttig:

- kort in te gaan op de vormingswijze van het mineraal;
- een overzicht te presenteren van de geografische verspreiding van een aantal in ons land gevonden en vermelde sillimaniet-houdende zwurfstenen;
- macroscopische en microscopische beschrijvingen te geven van een tweetal sillimaniet-houdende keien.

OVER DE VORMING VAN SILLIMANIET

Sillimaniet is de *HT-polymorf* van Al_2SiO_5 ; het komt voor in gesteenten van meestal oorspronkelijk (*semi-*)*pelitische* samenstelling die onder hooggradige omstandigheden zijn *gemetamorfoseerd*.

Deze compacte mededeling verdient een nadere beschouwing om daarmee de belangrijkste aspecten rond de vorming van sillimaniet de revue te laten passeren.

Polymorfie betekent dat van éénzelfde chemische verbinding verschillende kristalstructuren en bijgevolg verschillende mineralen, ieder met hun eigen kristallografische eigenschappen, kunnen optreden. Van Al_2SiO_5 zijn naast sillimaniet de *polymorfen* andalusiet en kyaniet bekend.

Onder *metamorfose* verstaan we de mineralogische en structurele aanpassing van gesteenten (onder behoud van de vaste toestand) aan verandering in vnl. temperatuur (T) en druk (P). Metamorfe processen vinden veelal plaats in de diepere delen van de aardkorst. Uitzonderingen hierop worden gevormd door metamorfose ten gevolge van meteorietinslag ('impact metamorphism') en die, waaraan gesteenten blootgesteld worden als ze als xenolieten (vreemde insluitsels) in een hete lava terecht komen (pyrometamorfose). De soms beduidende veranderingen, die in de 'oppervlakkige' zones van verwerking en diagenese kunnen optreden, worden bij afspraak niet onder metamorfose begrepen. Hierbij zij opgemerkt, dat de grens tussen diagenese en beginnende metamorfose in de meeste gesteenten moeilijk te leggen valt. Aan de hoge T-zijde wordt de grens met de 'niet-meer-metamorfose' aangegeven door de in de

* Geologisch Instituut, Universiteit van Amsterdam, Nieuwe Prinsengracht 130, 1018 VZ Amsterdam

definitie van gesteentemetamorfose genoemde clausule 'onder behoud van de vaste toestand'. Deze grens wordt overschreden als gesteenten gaan smelten. De samenstelling van de betrokken gesteenten speelt hierbij een grote rol. De meeste gesteenten smelten over een aanzienlijk temperatuur-traject en het zal dus voor kunnen komen dat gesteenten bij het bereiken van een bepaalde temperatuur, slechts gedeeltelijk gesmolten zijn.

Strikt genomen - sedimentologen doen dat - slaat *pelitisch* op zeer fijne korrelgrootte van kleiige sedimenten en niet op chemische of mineralogische samenstelling. Petrologen benadrukken met deze term echter het relatief hoge Al_2O_3 -gehalte (vooral t.o.v. Ca-, Mg- en Fe-oxyde) van de meeste pelieten door hun rijkdom aan zg. kleimineralen (Al-rijke fyllosilikaten). Het prefix semi- wordt gebruikt om minder extreem aluminium-rijke gesteenten aan te duiden. Het zijn meest gesteenten van (semi-)pelitische oorsprong die bij diagenese en laaggradige metamorfose schalies en leien opleveren, waarin bij hogere graden van metamorfose de Al_2SiO_5 -polymorfen ontstaan. Als we de gesteenten waarin de drie polymorfen voorkomen en hun geologische omgeving vergelijken, dan wordt duidelijk waarom sillimaniet de HT-polymorf wordt genoemd. Andalusiet wordt aangetroffen in vlekken en hoornrotsen in kontakthoven rondom magmatische intrusiva.

Als sillimaniet in kontakthoven voorkomt, dan altijd in hoornrotsen zeer dicht bij het contact, en wel binnen de andalusiet-houdende zone.

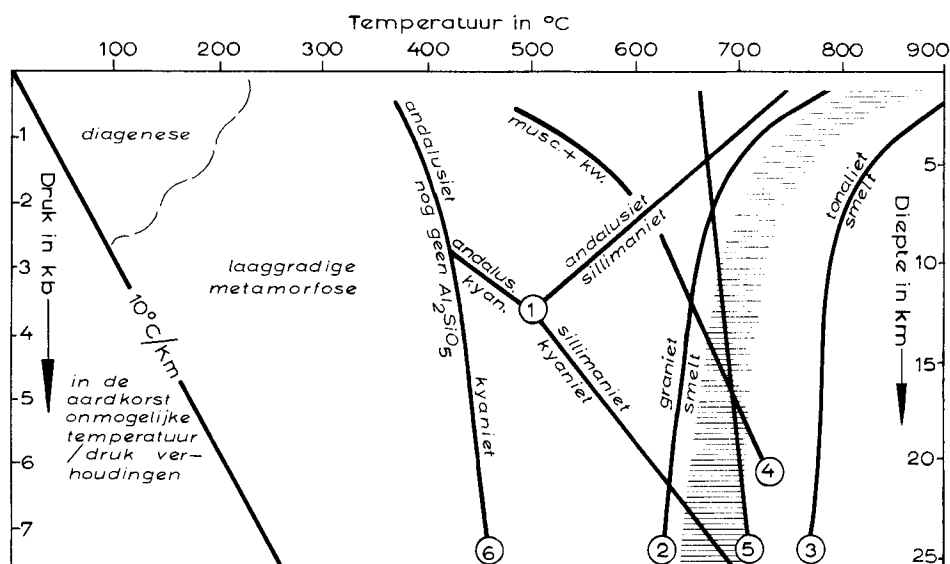


Fig. 1: Diagram met de mogelijke verhoudingen tussen temperatuur en druk tijdens metamorfose op variabele diepte in de aardkorst. Hierin zijn aangegeven de stabiliteitsvelden van de Al_2SiO_5 -polymorfen *andalusiet*, *kyaniet* en *sillimaniet*, zoals bepaald door HOLDAWAY (1971); zij worden onderling begrensd door de lijnen die in punt 1 samenkomen. Voorts zijn een aantal belangrijke reactiecurven aangegeven:

Curve 2: Na-veldspaat + K-veldspaat + kwarts + H_2O = smelt, de z.g. minimum-smeltcurve van graniet (LUTH et al., 1964).

Curve 3: plagioklaas (An 30) + kwarts + H_2O = smelt, tonaliet-smeltcurve (WINKLER & VON PLATEN, 1960).

Curve 4: muscoviet + kwarts = K-veldspaat + Al_2SiO_5 (KERRICK, 1972).

Curve 5: ontmengingscurve van alkali-veldspaat, d.i. K-rijke veldspaat + Na-rijke veldspaat (ORVILLE, 1963).

Curve 6: pyrofylliet = andalusiet/kyaniet + kwarts + H_2O (KERRICK, 1968); deze curve geeft de laagste vormingstemperaturen van Al_2SiO_5 -polymorfen aan.

Gearceerde zone: aanduiding van het gebied van beginnend optreden van smeltvorming.

Kyaniet en sillimaniet zijn normale verschijningen in schisten, gneizen en granulieten. Hun metamorfose voltrok zich op grote diepte in de korst. Blijkens de veelal gerichte en geplooides structuren in die gesteenten, zullen behalve hoge temperaturen en hoge belastingdruk, ook gerichte drukken een belangrijke rol hebben gespeeld. In metamorfe gebieden met een progradezonering (oplopende metamorfosegraad) wordt sillimaniet in de monsters uit de hoogst metamorfe zones gevonden; ongeveer gelijk opgaande is door bepaalde reacties de kleurloze glimmer verdwenen.

Sillimaniet is een regelmatig voorkomend mineraal in de zg. 'gebande gneizen', dit zijn gneisseuze gesteenten, waarin slierten van granitisch materiaal het gebande aspect veroorzaken. Vaak zijn dit producten van ultrametamorfose, waarbij een gedeeltelijke opsmelting van het gesteente heeft plaatsgehad. Sillimaniet wordt ook wel aangetroffen in pelitische xenolieten in lava's. Deze hebben pyrometamorfose ondergaan, d.w.z. veranderingen bij zeer hoge T (van vloeibare lava) en zeer lage P (nabij het aardoppervlak).

Het zal duidelijk zijn, dat sillimaniet de Al_2SiO_5 -polymorf is, waarvan de vorming, ongeacht de diepte in de aardkorst, bevorderd wordt door hogere temperaturen. Vandaar de aanduiding *HT-polymorf*.

De laatste decennia heeft men geprobeerd experimenteel vast te stellen onder welke combinaties van T en P de verschillende Al_2SiO_5 -polymorfen stabiel gevormd konden worden. Na een beginperiode met vele, minder goed met elkaar in overeenstemming zijnde uitkomsten van verschillende laboratoria, wordt thans door veel petrologen veel waarde gehecht aan de resultaten van HOLDAWAY (1971), zie curves 1 van fig. 1. Hierin kan worden afgelezen, dat voor de vorming van sillimaniet bij een P van 3,75 kbar (die overeenkomt met een diepte in de aardkorst van ca. 13 km), een T van 500° C nodig is. Bij hogere zowel als lagere P dan 3,75 kbar, zijn nog hogere temperaturen nodig. De gebogen lijn van curve 2 in fig. 1 heeft betrekking op het smeltgedrag van een graniet bestaande uit een ideaal mengsel van kwarts, zuivere K-veldspaat en zuivere Na-veldspaat in aanwezigheid van voldoende waterdamp. Deze granitische combinatie van mineralen blijkt het makkelijkst smeltbare silikaat-mengsel te zijn. De zg. minimum smeltcurve van graniet scheidt de PT-velden van vaste ideale graniet en gesmolten graniet. Smeltcurves van natuurlijke granieten liggen bij iets hogere temperaturen. Van een gesteente dat o.a. ook korrels van kwarts, K-veldspaat en Na-veldspaat bevat, zal, onder PT-omstandigheden van metamorfose die extremer zijn dan de minimum smeltcurve van graniet, een gedeelte gaan smelten. En wel dat deel, dat een granitische combinatie vormt uit de aanwezige kwarts- en veldspaatkorrels. De rest zal dan nog niet gaan smelten, maar verdergaande metamorfe rekristallisatie ondergaan. Na afloop van dit metamorfoseproces en na enige afkoeling ontstaat dan een gesteente, waarin partijen met metamorfe gneisseuze structuren in nauwe associatie voorkomen met partijen die duidelijk granitische (stollings)structuren vertonen. Deze menggesteenten worden *migmatieten* genoemd. Het gebied in het PT-veld, waar gedeeltelijke opsmelting (*partiële anatexis*) optreedt, valt voor een groot deel in het stabiliteitsveld van sillimaniet. Dit verklaart het optreden van sillimaniet in veel migmatische gneizen. Gesteenten, die achterblijven als de partiële granitische smelt is weggeperst, worden wel als *restieten* geduid. In de petrografische literatuur worden de gneisseuze restieten, die naast sillimaniet ook de Fe-Mg-Al-silikaten biotiet, cordieriet en granaat bevatten, vaak *kinzigieten* genoemd.

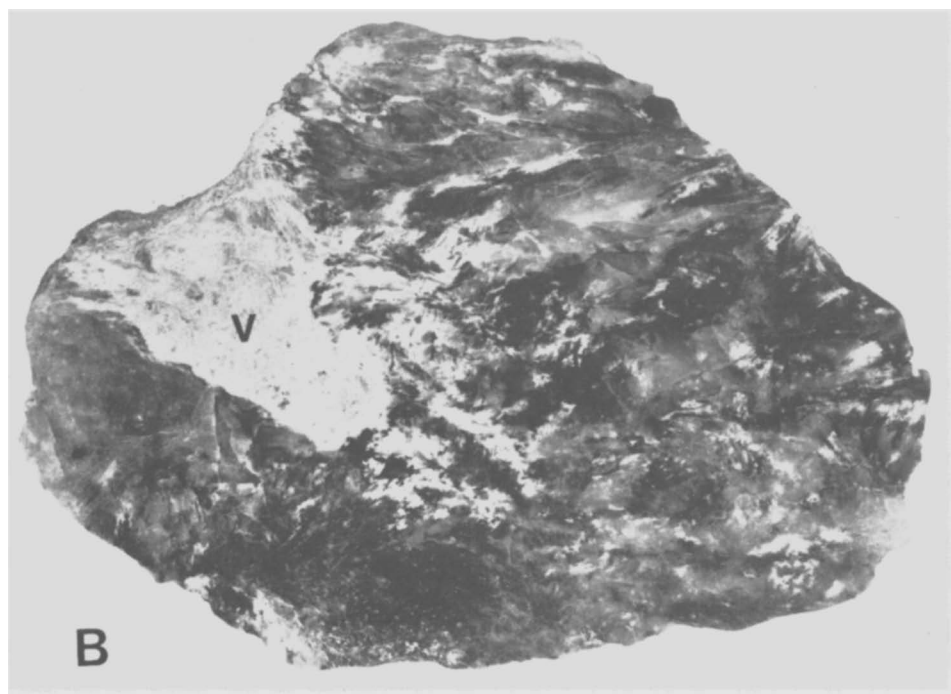
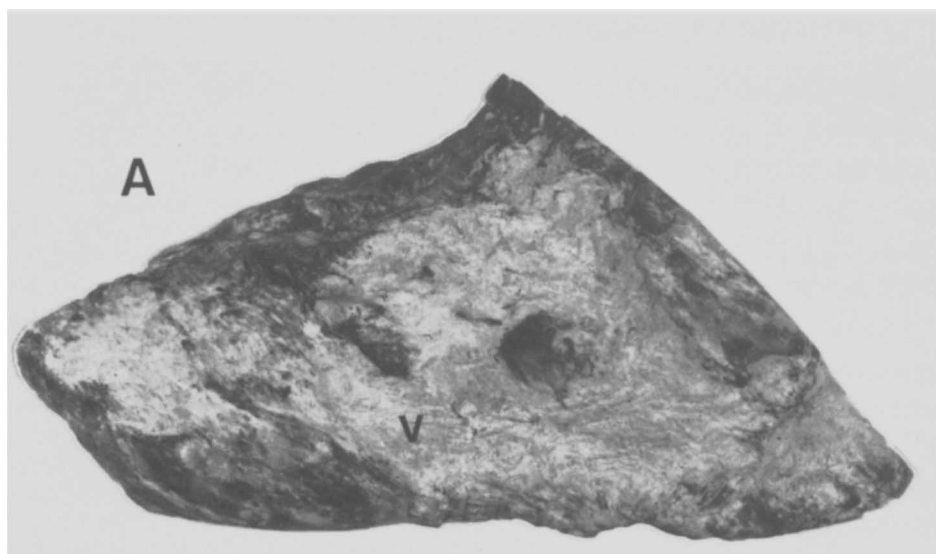


Fig. 2: Sillimaniet-oligoklaasgneis, habitus. Foto A, natuurlijk oppervlak (ca. 1,2 ×); foto B, gezien op gepolijst zaagvlak (ca 1,8 ×). De grote lichte partijen vertegenwoordigen het veldspaat-rijke gedeelte (v), het gevlekte overige deel bestaat voornamelijk uit sillimaniet. Zwerfsteen van Westerhaar (koll. VAN KEMPEN).

BESCHRIJVING VAN TWEE ZWERFKEIEN

1. Sillimaniet-oligoklaasgneis

Collectie: Th. van Kempen, Diemen

Vindplaats: voormalige zand- en grindzuigerij (Gebr. Kleine) aan de Sibculoseweg, Westerhaar.

Macroscopisch

De nu ongeveer $11 \times 5,5 \times 4$ cm metende steen (waarvan een stukje is afgezaagd) is uit twee duidelijk verschillende gesteentetypen opgebouwd (fig. 2). Het grootste gedeelte is vuilwit, enigszins transparant met donkere vlekken en strepen. Sillimaniet is hier het voornaamste bestanddeel: aggregaten van fijne vezels (variëteit fibroliet), maar ook tot 1 cm lange, min of meer doorschijnende kristallen met lengtespleijing. Met de loep valt waar te nemen, dat de donkere partijen rijk zijn aan biotietschubjes. De sillimaniet-naalden en de donkere, discontinue streping bepalen gerichte, hier en daar geplooides structuren.

Het andere gesteentetype in dit handstuk is roomwit van kleur en duidelijk zachter; de kei is hier melig-korrelig en uitgesleten. Een gerichte structuur is hier niet waar te nemen. Dit veldspaatrijke gedeelte wordt grillig begrensd door het sillimaniet-rijke deel.

Microscopisch

De volgende mineralen werden aangetroffen: sillimaniet, biotiet, oligoklaas en kwarts als hoofdbestanddelen; zirkoon, apatiet en fijn opaak materiaal als accessoria. Verder komt kryptokristallijn materiaal, chloriet en kleurloze glimmer in ondergeschikte hoeveelheden voor als omzettingsprodukten. *Sillimaniet* vormt hier in hoofdzaak fijn-vezelige, ongerichte aggregaten; velden van grovere sillimaniet met een zekere voorkeursorientatie snijden dwars door de fijne fibrolietmassa heen. Hier en daar komen heldere sillimanietprisma's van verscheidene mm's lengte voor; deze leveren de voor sillimaniet karakteristieke dwarssneden op (fig. 3A).

Biotiet is fijn-schubbig ontwikkeld; temidden van de viltige sillimaniet vormt het sliertachtige concentraties. Sillimanietkristallen groeien er dwars doorheen (fig. 3B).

Zirkoon komt voor als afgeronde korrels van ca. 30μ tot meer dan 100μ , die in de biotiet pleochroïtische hoven hebben doen ontstaan. Waar zirkoonkorrels ingesloten liggen in fibroliet, bevindt zich om de zirkoonkorrels een hofje, waar de fibroliet niet regelmatig in doorgegroeid is (fig. 4).

Een dergelijk hofje rond de zirkoon laat zich als volgt verklaren: zirkoon bevat een zeker gehalte aan thorium en uranium, radioactieve elementen, die hun omgeving bestralen. Het kristalrooster van de biotiet, direct in de omgeving van het zirkoonkristal, wordt hierdoor verstoord en de biotiet krijgt andere optische eigenschappen: er ontstaat een zg. pleochroïtisch hof (fig. 9). Biotiet bevat structurelementen waar sillimaniet, als dat bij oplopende T en P gevormd kan gaan worden, gaarne gebruik van maakt en dan daarop ook bij voorkeur kristalliseert (epitaxis). Vaak ziet men dan ook in hoog-metamorfe gneizen dat sillimaniet gegroeid is in biotiet-rijke gedeelten. Ook in deze steen is dat het geval. Echter, in de pleochroïtische hoven in biotiet rond zirkoon is de voordelige epitaxis-situatie voor sillimanietkristallisatie vernietigd. De voormalige pleochroïtische hofjes zijn daardoor als randjes om de zirkoonkristalletjes herkenbaar gebleven.

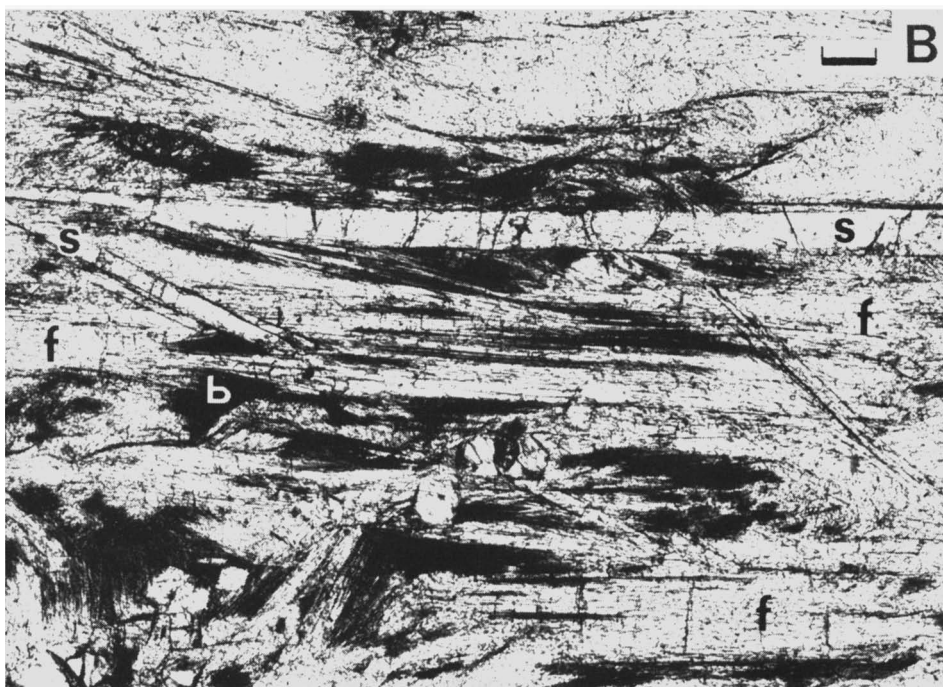
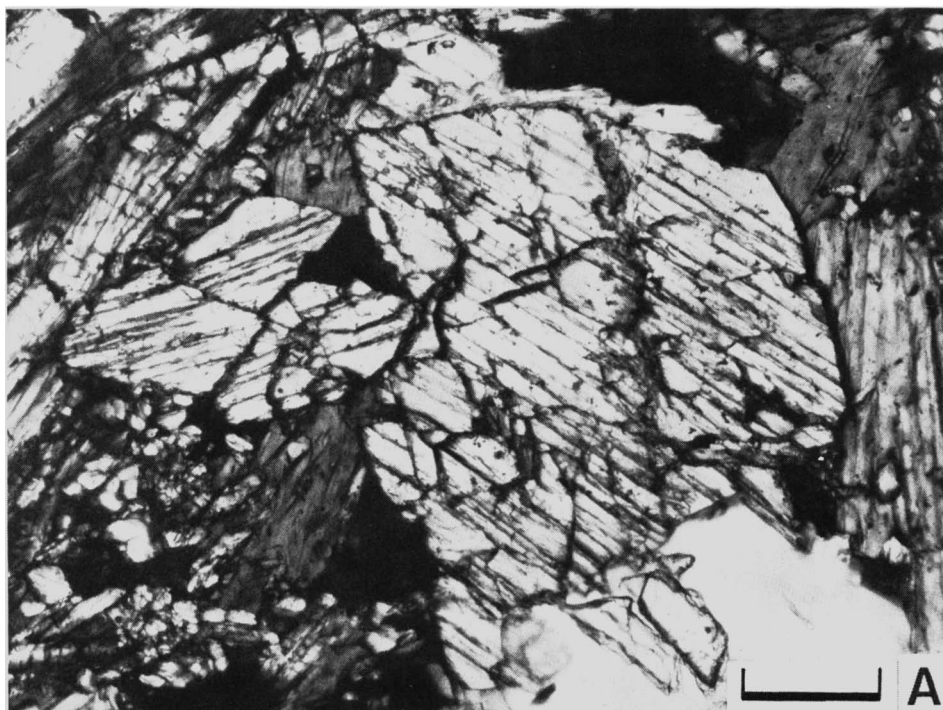


Fig. 3: Sillimaniet-oligoklaasgneis van Westerhaar, dunne doorsnede. Foto A, sillimanietkristallen in karakteristieke ruitvormige doorsnede, met (010)-spleijing. Schaal = 0,1 mm. Foto B, fibroliet-bundels (f) doorgroeien biotietkristallen (zwart = b) en zijn zelf doorgroeid door sillimanietnaalden (s). Schaal = 0,1 mm.

Het zachtere gedeelte van het handstuk bestaat uit grillig ineengrijpende tot 5 mm grote equidimensionale plagioklaaskristallen. Sommige vertonen polysynthetische tweelingen volgens de albietwet; de samenstelling is ongeveer 30 % An (oligoklaas-andesien). De kristallen sluiten fibrolietbundels en sillimanietnaaldjes in. Langs barsten en korrelgrenzen zijn de plagioklaaskristallen enigszins omgezet in sericiet-achtig materiaal. Enkele onregelmatig begrensde biotietkristallen komen ook in dit gedeelte voor. Deze biotiet onderscheidt zich van de biotiet uit de sillimaniet-rijke partij van de kei door de afwezigheid van zirkooninsluitels en door de grotere afmetingen (tot 4 mm).

Het contact tussen de plagioklaas-rijke partij en het sillimaniet-rijke lichaam is niet overal scherp; vanuit het veldspaat-rijke gedeelte gaan smalle, aderachtige uitlopers, bestaande uit fijnkorrelige oligoklaas en kwarts, het sillimaniet-rijke gedeelte in (fig. 2B).

Waarschijnlijk hebben we hier te maken met een gesteente, dat partieel gesmolten is geweest: een *migmatiet* dus. De Al-rijksdom van het gesteente en het voorkomen van zeer kleine afgeronde zirkoonkorreltjes wijzen erop, dat we met een oorspronkelijk pelitisch gesteente te maken hebben. Het gesteente heeft een prograde metamorfe ontwikkeling meegemaakt, waarin de groei van biotiet vooraf moet zijn gegaan aan de vorming van sillimaniet. In een vroeger stadium van metamorfose is dus mogelijk-erwijs een biotiet-rijke gneis ontstaan. In toen gevormde biotietkristallen hebben zich rond ingesloten zirkoon-korrels pleochroïtische hoven ontwikkeld. Later in zijn geschiedenis heeft het gesteente 'ultra metamorfe' processen ondergaan, waarbij o.a. sillimaniet-vorming optrad en een smelt werd gevormd, waaruit bij afkoeling het kwarts-oligoklaas/andesien-biotiet stollingsgesteente ontstond. Experimenten hebben aangetoond, dat de vorming van smelten van een dergelijke tonalitische samenstelling temperaturen van minsten 770° C vergt (curve 3 in fig. 1).

2. Granaat-sillimaniet-biotietgneis

Collectie: P. van der Lijn in het Geologisch Instituut te Amsterdam.
Vindplaats: Drogéham, Friesland.

Macroscopisch

In deze grove gneis van 5 × 10 × 12,5 cm grootte, is granaat het meest opvallende mineraal; het komt voor als fraaie wijnrode kristallen tot 2 cm groot (fig. 5A).

Veldspaat maakt circa de helft van het gesteente uit, heeft een grijs-gele kleur en vormt kristallen tot 1,5 cm, zonder goede eigen kristalvorm.

Kwarts is veel minder aanwezig, als korrels tot enkele millimeters.

Biotiet komt door het hele gesteente voor als zwarte schubjes tot 1 mm.

Sillimaniet vormt fijne naaldjes van enkele millimeters lengte (fig. 5B), die lokaal samen met biotietschubjes in laagjes geconcentreerd zijn. Deze laagjes geven het oppervlak van de steen een viltachtig karakter en een zekere gerichte structuur.

Microscopisch

In de onderzochte dunne doorsnede werden de volgende mineralen aangetroffen: K-rijke veldspaat, plagioklaas en kwarts en verder biotiet, sillimaniet en granaat als belangrijkste bestanddelen (fig. 6 - 10). Andalusiet is weinig aanwezig. Zirkoon en erts treden op als accessoria. Van de macroscopisch herkenbare foliatie valt microscopisch weinig te bespeuren, afgezien van enkele bandjes sillimanietnaaldjes met wat biotietschubjes in slierten, die plaatselijk om de granaat gedrapeerd liggen. K-rijke veldspaat vormt anhedrische, poikiloblastische kristallen tot 1 cm, zie fig. 7. Ingesloten worden:



Fig. 4: Sillimaniet-oligoklaasgneis van Westerhaar, dunne doorsnede. Fibrolietaggregaten sluiten zirkoonkorrels in (alsmede een rutielkorrel, zwart lichaampje zonder hof rechts boven het midden). Rond de zirkoonkorrels zijn smalle lichte zones zichtbaar die in voorheen aanwezige biotiet als pleochroïtische hoven zijn ontstaan en die na de groei van sillimaniet ten koste van biotiet a.h.w. zijn overgeërfd (zie tekst). Schaal = 0,1 mm.

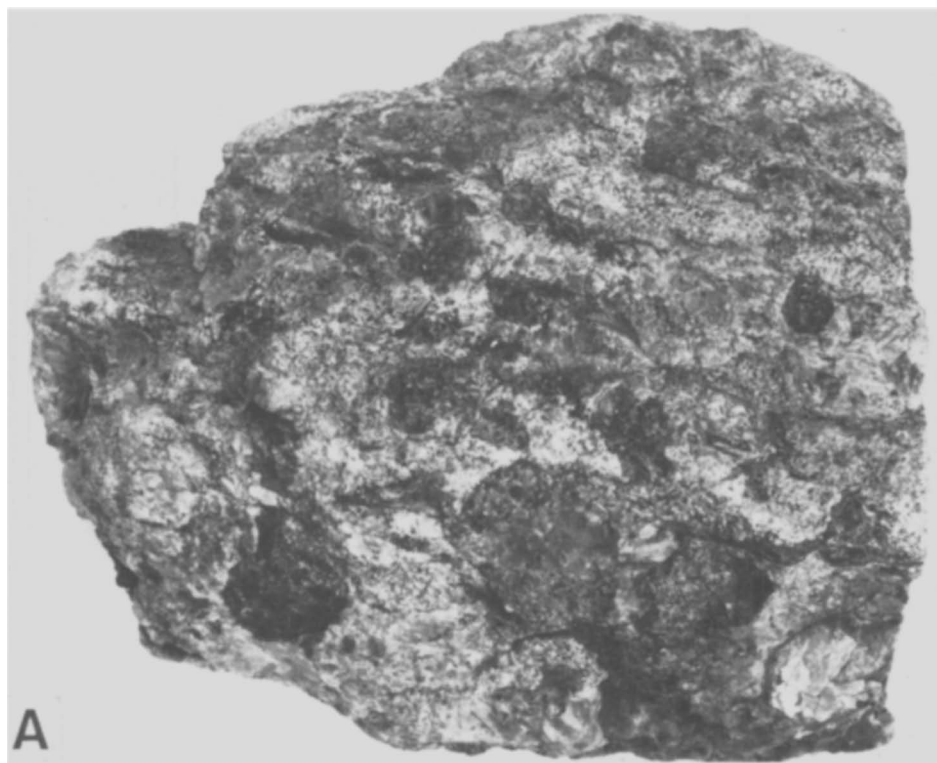


Fig. 5: Granaat-sillimaniet-biotietgneis, habitus. Foto A, donkerder grijze vlekken zijn granaatkristallen (1×). Foto B, detail oppervlak met vele sillimanietnaalden. Zwerfsteen van Kooten (Drogeham), koll. Geologisch Instituut, Amsterdam. Schaal = 1 mm.

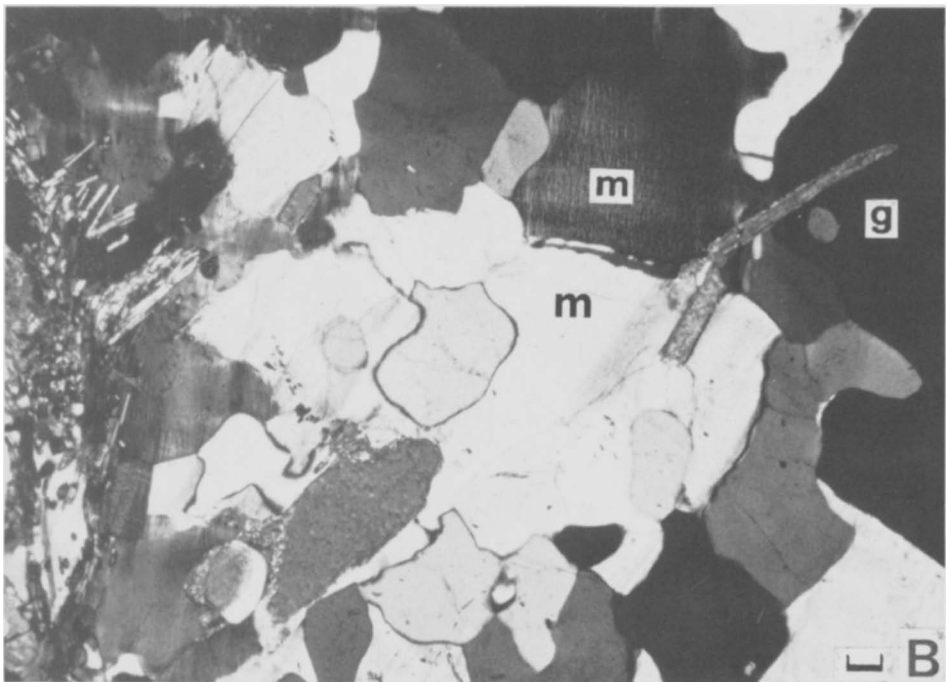
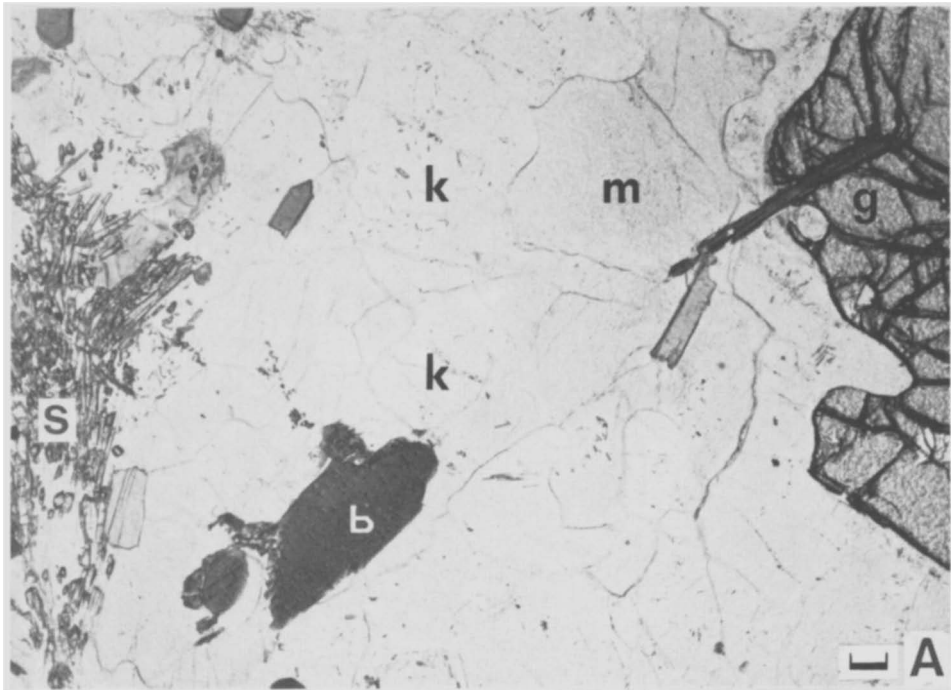


Fig. 6: Zwerfsteen van Drogeham. Foto A, dunne doorsnede, overzicht van de voornaamste bestanddelen t.w. granaat (g), sillimanietnaaldjes (s) en biotiekristallen (b). Het centrale, lichte gedeelte is voornamelijk mikroklienperthiet (m) met kwarts (k). Opname met evenwijdig gepolariseerd licht. Foto B, idem, maar opname met gekruiste nicols. Beide foto's schaal = 0,1 mm.

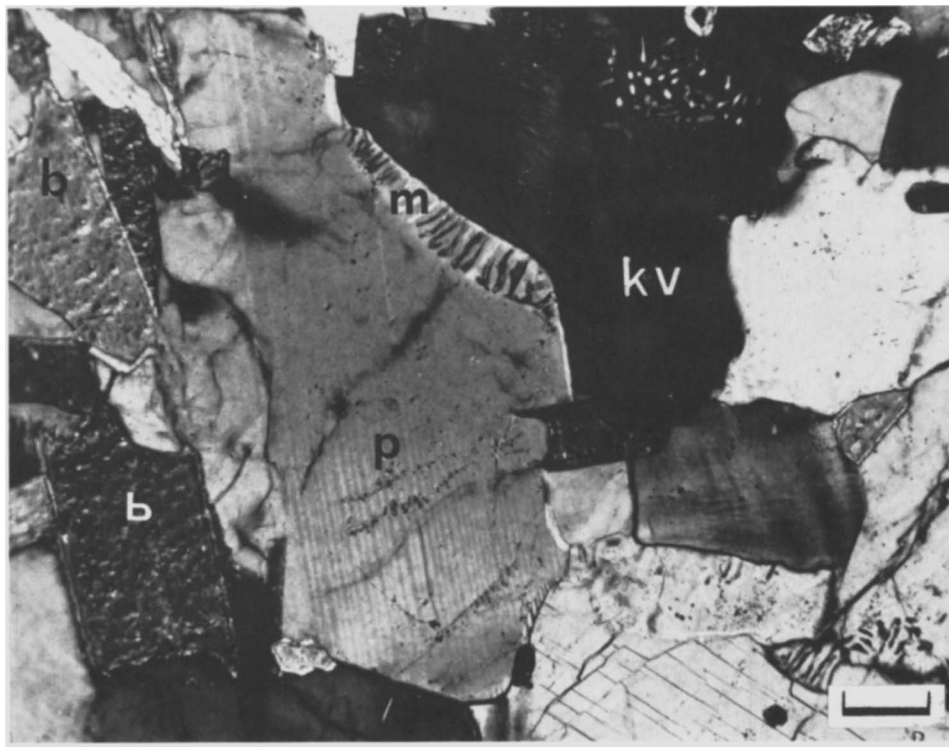


Fig. 7: Myrmekiet (m) in rand van plagioklaaskristal (p) op de korrelgrens met K-rijke veldspaat (kv); b = biotietkristal. Dunne doorsnede, zwerfsteen van Drogeham. Schaal = 0,1 mm.

kwartskorrels tot 0,1 mm; biotieschubjes van 0,1 - 0,2 mm; plagioklaaskristallen (met albietrandje) tot 0,2 mm; een enkele zirkoonkorrel van 0,1 mm en tenslotte bundels sillimanietnaalden tot 0,3 mm lengte. De kristallen vertonen 'Gitterstructur' en bevatten draadperthieten, zie fig. 8; het betreft dus mikroklien-perthiet.

Plagioklaas vormt anhedrische kristallen tot 2 mm met enkele biotiet-, sillimaniet- of zirkoonkristallen als insluitsels en komt samen met kwarts en mikroklien voor. De plagioklaas (ca. 25 % An) heeft bijna altijd een rand van albiet. Waar plagioklaas aan K-veldspaat grenst, komt geregeld myrmekiet voor (fig. 7). Kwarts vormt anhedrische, unduleus uitdovende kristallen tot 5 mm; biotiet en sillimaniet zijn schaars als insluitsels in kwarts aanwezig.

Onregelmatig begrensde 15 mm grote poikiloblasten van granaat sluiten ovale kwarts-, mikroklien- en biotietkristallen in. Tot 1 mm lange sillimanietnaaldjes liggen in gebogen sliertige patronen samen met biotieschubjes, die hier en daar pleochroïtische hofjes rond zirkoonkorreltjes vertonen (fig. 9). Andalusiet werd aangetroffen als een 0,3 mm groot kristal met een symplectitische rand in een biotietaggregaat.

Enkele vlekken van bruin isotroop materiaal met een laag reliëf komen voor. Hierin werden fijne sillimanietnaaldjes en enkele euhedrische biotietkristallen aangetroffen (fig. 10): optisch heeft dit isotrope materiaal veel weg van glas.

We hebben hier te doen met een hoog metamorf gesteente, waaruit we de volgende details willen lichten om iets over de metamorfe omstandigheden van temperatuur en druk duidelijk te maken.

Een groot deel van de aanwezige mineralen is Al-houdend en Al-rijk (veldspaat, biotiet, granaat, sillimaniet). Dit wijst erop, dat we met een oorspronkelijk pelitisch

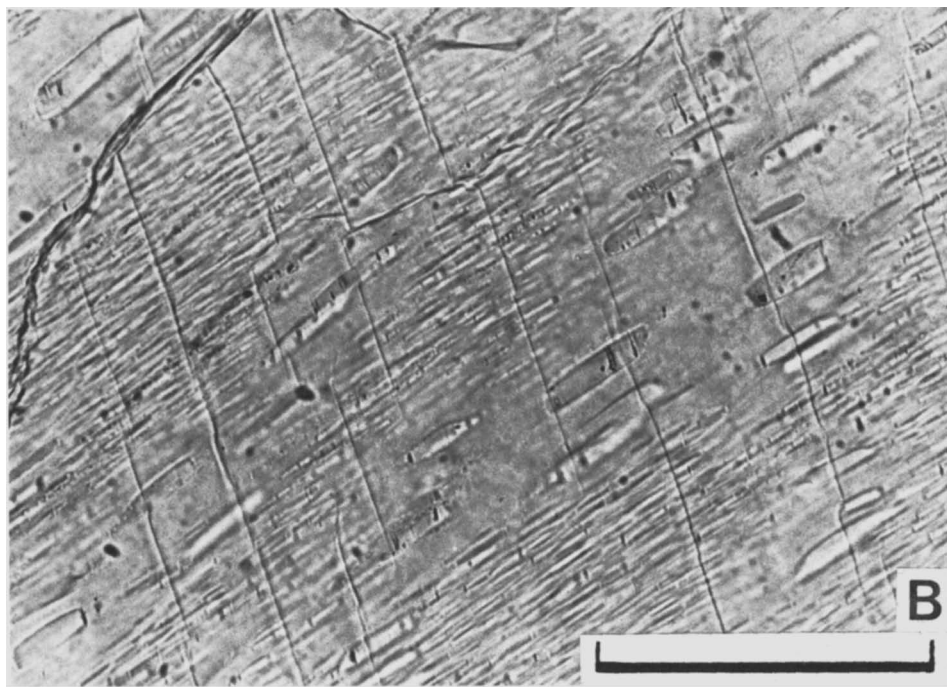
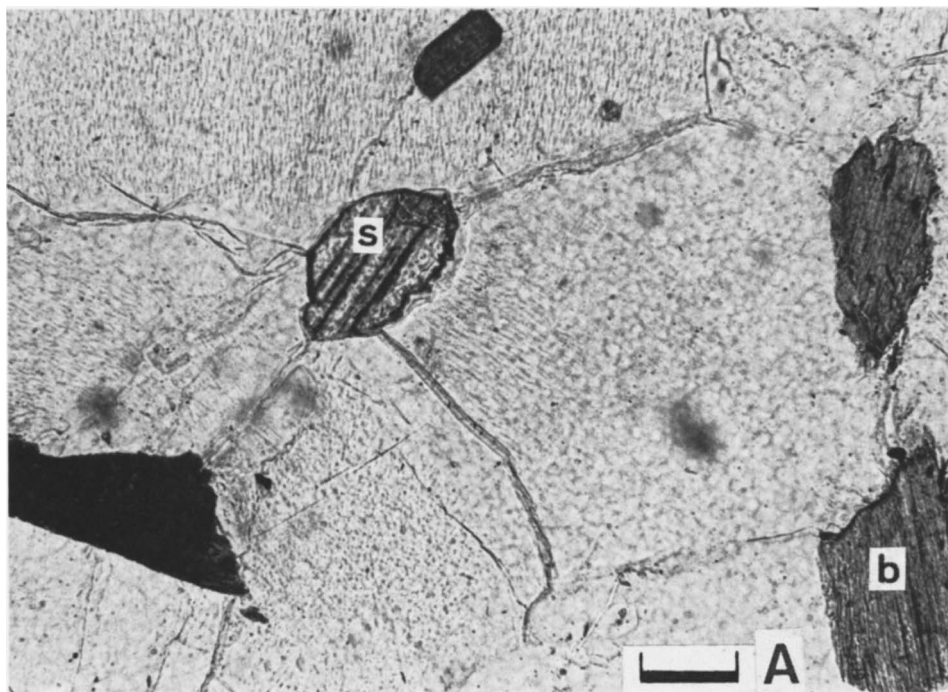


Fig. 8: Zwerfsteen van Drogeham. Foto A, dunne doorsnede, sillimanietkristal (s) in dwarsdoorsnede en biotietkristallen (b) temidden van perthitische veldspaatkristallen. Schaal = 0,1 mm. Foto B, dunne doorsnede, detailopname van perthitisch ontmengde veldspaat: albiet-lichaampjes in K-rijk veldspaatkristal (let op doorlopende splijting). Schaal = 0,1 mm.

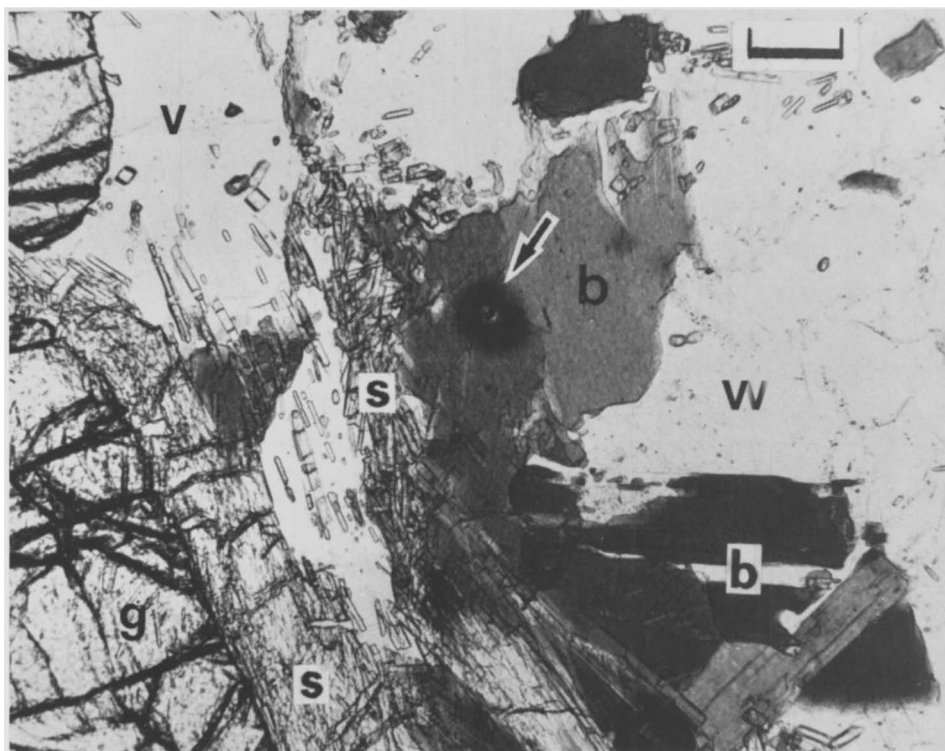


Fig. 9: Zwerfsteen van Drogeham. Dunne doorsnede met granaat (g), sillimaniet (s), veldspaat (v) en biotiet (b) met pleochroïsch hof (pijl). Schaal = 0,1 mm.

gesteente te maken hebben en wellicht met een restiet (kinzigiet). Opvallend is dan de afwezigheid van muscoviet, een mineraal dat in intermediair metamorfe pelitische gesteenten (schisten) vaak een hoofdrol vervult. Kennelijk is muscoviet verdwenen door de reactie:

muscoviet + kwarts → *K-veldspaat + andalusiet of sillimaniet + H₂O*.

Deze reactie treedt op bij $T > 500^{\circ}\text{C}$ (and.) en $T > 600^{\circ}\text{C}$ (sill.); zie fig. 1, curve 4.

De aanwezigheid van sillimaniet duidt op hoge T . De aanwezigheid van andalusiet wijst op vrij lage P tijdens de vorming van dat mineraal, die mogelijk vooraf ging aan de sillimaniet-vorming. De ontwikkeling van granaat (vermoedelijk almandien) maakt waarschijnlijk, dat de P in een wat later stadium van metamorfose toch wat hoger was. Bij lagere P zou nl. eerder een cordieriet-houdende dan een granaat-houdende gneis te verwachten zijn geweest.

De fijne ontmengingsperthieten wijzen op een hoge vormingstemperatuur van de alkali-veldspaat. Bij hoge T ($> \text{ca. } 700^{\circ}\text{C}$) (fig. 1, curve 5) kunnen Na en K naast elkaar in een veldspaatkristalrooster worden ingebouwd. Bij lagere T 's kan dat alleen in zeer beperkte mate; er zouden dan twee aparte veldspaten moeten ontstaan, namelijk een Na-rijke (K-arme) en een K-rijke (Na-arme). Bij langzame afkoeling van de bij HT ontstane 'gemengde' alkali-veldspaat bewegen de Na- en K-atomen van elkaar af, terwijl het veldspaatrooster als geheel blijft bestaan. Er ontstaan zo binnen het oorspronkelijke kristal aparte, vaak evenwijdig gerangschikte domeintjes Na-veldspaat en K-veldspaat door 'ontmenging in de vaste toestand'; we spreken dan van *ontmengingsperthieten* (fig. 9).

Myrmekiet is een wormachtige, microscopische vergroeiing van kwarts en Ca-arme

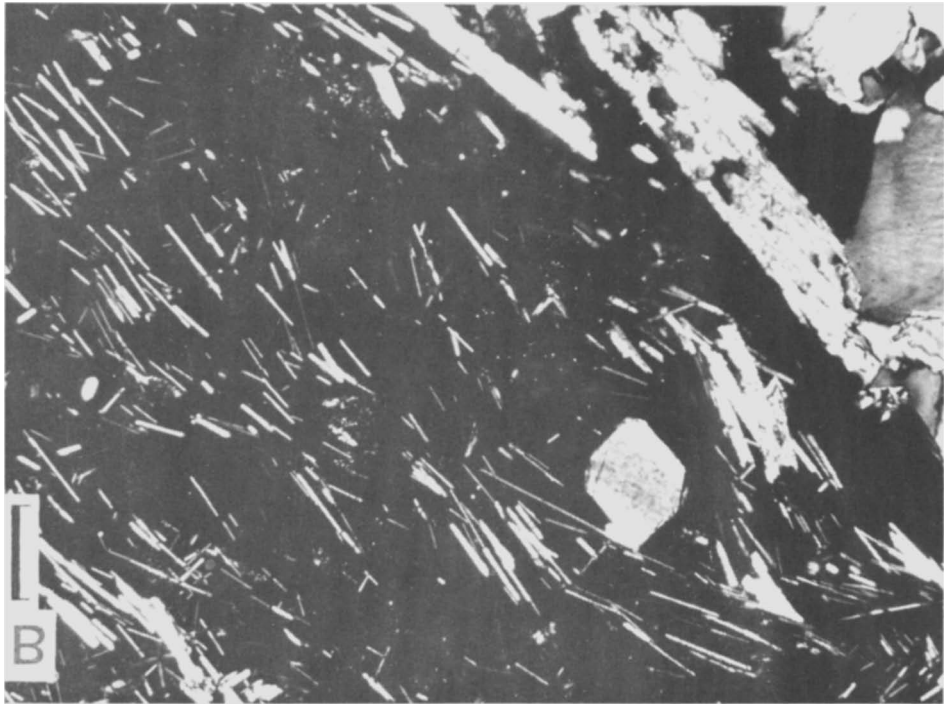
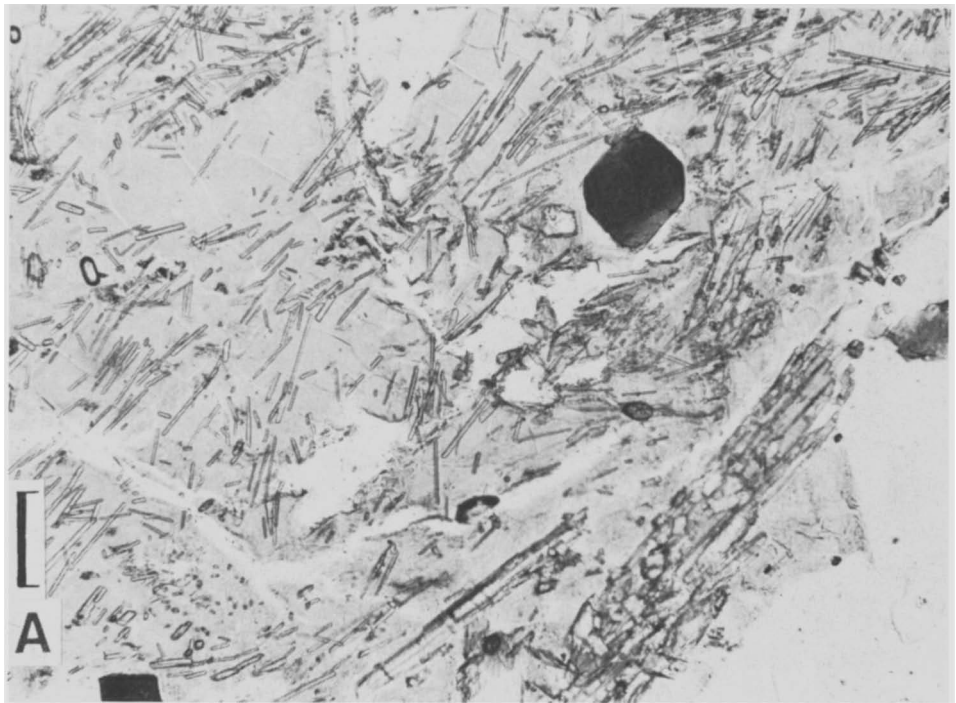


Fig. 10: Dunne doorsnede, tonend isotroop lichtbruin materiaal, waarschijnlijk glas met daarin sillimaniet-naaldjes en een zeshoekig euhedrisch biotietkristal. Foto A, evenwijdig gepolariseerd licht; foto B, zelfde beeld als voorgaand, maar met gekruiste nicols. Zwerfsteen van Drogeham. Schaal beide foto's = 0,1 mm.

plagioklaas. Dit verschijnsel is hier waarschijnlijk het gevolg van een reactie waarbij t.b.v. de vorming van sillimaniet Al_2O_3 onttrokken wordt aan plagioklaas, waardoor SiO_2 overblijft. (*Myrmekieten* in granitische gesteenten zijn verbonden aan de werking van warme, corrosieve, water-rijke oplossingen, die langs korrelgrenzen tijdens de afkoeling veranderingen in de verhoudingen van Na, K en Ca bewerkstelligen.) Dergelijke wormachtige vergroeiingen van veelal kwarts met andere mineralen dan plagioklaas, worden *symplectieten* genoemd.

Het voorkomen van glas in dit gesteente is moeilijk te verklaren. Immers het materiaal heeft, doordat het langzaam afkoelde, alle mogelijkheden gehad om te kristalliseren. Een recente publicatie over het vermeende voorkomen van glas in hoog-metamorfe gneizen uit het Franse Centrale Massief (NÉDÉLEC & PAQUET, 1981) is sterk aangevochten door auteurs, die argumenteerden dat het onderhavige materiaal submicroscopische omzettingen producten van cordieriet zouden zijn (MARCHAND ET AL., 1982; CLEMENS & McMILLAN, 1982). Wij hebben geen detailstudie van het glasachtige materiaal gemaakt. Wel hebben wij nieuwgroei van euhedrische sillimaniet en biotiet in het materiaal vastgesteld en nergens aanwijzingen voor de (vroegere) aanwezigheid van cordieriet. Wij willen de volgende spekulatieve verklaring wagen voor het uitzonderlijke glasvoorkomen. Bij ultrametamorfose zal het allereerste optreden van een smelt beginnen met de afbraak van water-houdende mineralen (glimmers) om zo het benodigde H_2O voor verder smelten van eventueel ook veldspaten en kwarts mogelijk te maken. In een initieel stadium zal de silikaatsmelt - nog onbetekenend qua volume - hier en daar als druppels in het gesteente aanwezig zijn en een relatief K- en Al-rijke samenstelling hebben. Het zou kunnen zijn dat door geringe drukveranderingen kristallisatie in de smeltdruppeltjes op gang treden. Vooral de kristallisatie van sillimaniet onttrekt dan veel Al aan de smelt, die daardoor relatief K-rijk en Al-arm wordt. Vorming van bijvoorbeeld veldspaat wordt dan onmogelijk, terwijl ook de nucleatie en kristallisatie van kwarts door het sterk verhoogd kaliumgehalte wordt tegengehouden. K-silikaten zonder bijmenging van andere metallische elementen als Al (of in zeldzame gevallen Zr, zie LINTHOUT, 1984) zijn niet als mineralen bekend en dus kennelijk niet onder geologische omstandigheden stabiel te vormen.

HERKOMST

Door ons werd geen poging ondernomen onderzoek te doen naar de mogelijk te achterhalen oorsprongslokaties van de verschillende typen sillimaniet-houdende zwervkeien. Vrij vertaald lezen we in HESEMANN (1975, p. 9, 12): 'Van het veelvoud aan noordelijke typen kristallijne zwervkeien zijn gneizen, glimmerleien, e.d. wegens het algemeen verbreid voorkomen van het moedergesteente niet als gidszwervstenen te gebruiken'. Ergo vinden we bij bekende zwervsteengezelschappen-onderzoekers als ZANDSTRA en SCHUDEBEURS praktisch geen feitelijke informatie over (het voorkomen van) dit soort zwervkeien (zie SCHUDEBEURS, maart 1980, p. 170 en aug. 1981, p. 131). De verspreiding van de in tabel 1 opgegeven sillimaniet-houdende zwervkeien in ons land korreleert globaal met dat van de Saale-ijsbedekking (fig. 11). Vermeldingen van vondsten van dergelijke zwervelingen in lokaties bezuiden het door het Saale-landijs bedekte of beïnvloede gebied zijn ons niet bekend. C. de Graaf, die vele jaren zwervkeien heeft verzameld in een wijde straal rond Arnhem, schreef ons indertijd (brief 8-1970) dat hij, noch een hem bevriende verzamelaar die intensief in de omgeving van Lobith heeft gezocht, ooit een sillimanietgneis beneden de grote rivieren hadden aangetroffen. Dit alles lijkt erop te wijzen, dat dergelijke keitypen, met inbegrip van de onderhavige, voornamelijk of wellicht uitsluitend herkomstig zijn uit het fennoskandische gebied en dat ze in ons land tijdens en na achtereenvolgende vergletscheringsfasen van het Saalien naar hun uiteindelijke lig- i.c. vindplaatsen

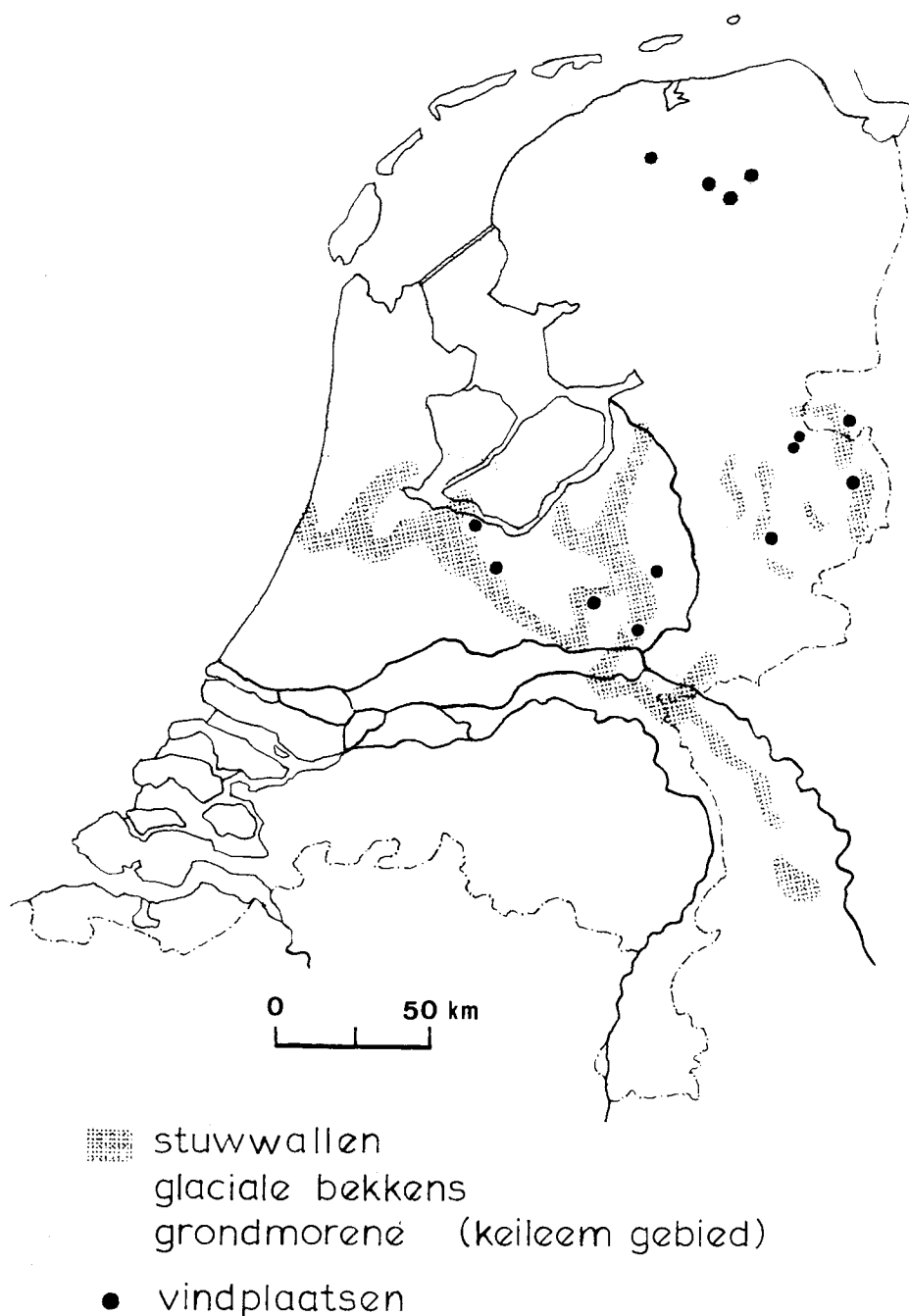


Fig. 11: Door stuwwallen gemarkeerde maximale bedekking van het Saale-landijs (Laat-Pleistoceen). Gestuwde keileem niet apart aangegeven. Aangeduid zijn, van W naar O, de vermelde vindplaatsen van sillimaniet-houdende zwerfkeien: In Friesland en Drente, Kooten (Drogeham), Steenberg, Norg en Dondren. In Noord-Holland en Utrecht, Huizen en Amersfoort. In Gelderland, Mossel (Veluwe), Rozendaal en Loenermark. In Overijssel, Markelo, Westerhaar/Sibculo en Oldenzaal. In Duitsland, Uelsen. Kaartje globaal naar JELGERSMA & BREEUWER, 1975 en VAN STAALDUINEN et al., 1979/80.

werden getransporteerd. Waar een gemengd (geremanieerd) gezelschap van noordelijk zwerfsteenmateriaal en preglaciaal aangevoerd grind en keien van zuidelijke herkomst (Rijn- en Maastransport) wordt aangetroffen - zoals bijvoorbeeld bekend is uit ontsluitingen in Amersfoort en omgeving -, kunnen in principe ook sillimanietkeien vanuit het duitse gebied zijn aangevoerd, bijvoorbeeld uit het Zwarte Woud en Zevengebergte. VAN DER LIJN (1963, p. 248) suggereert min of meer dat de door KOENDERINK bij Amersfoort gevonden sillimanietknol afkomstig is van het Zevengebergte. Opgemerkt zij echter, dat in Noordwest-Brabant (Zevenbergen, Oudenbosch; zie HOFLAND, 1969) - dus bezuiden de grote rivieren en binnen de directe invloedssfeer van grove afzettingen door Maas en Rijn - noordelijk zwerfsteenmateriaal voorkomt, dat hier (en elders in deze provincie) middels smeltwaterrivieren nogal ver van het definitief tot stilstand gekomen Saale-ijsfront werd gedeponneerd. Het eventueel aantreffen van sillimaniet-zwerfgesteenten bezuiden onze grote rivieren houdt daarom niet zondermeer in dat deze van zuidelijke herkomst zouden zijn; dat hangt er maar vanaf in hoeverre er ter plaatse nog noordelijke invloed kan worden aangetoond.

Tabel 1

Gesteente-type	Vindplaats	Vinder	Literatuurbron
sillimanietgneis	Steenbergen	P. v.d. LIJN	Keienboek, 1965, p. 247
"	Donderen	L.B. BOS	Idem
"	Mossel	C. DE GRAAF	Idem en Public. X, NGV, 1950, p. 158
"	Loenermark	C. DE GRAAF	Idem
Granaat-sillimaniet			
-biotietgneis*	Kooten (Drogeham)	P. v.d. LIJN	niet eerder vermeld
"	Rozendaal	C. DE GRAAF	Publicatie XI, NGV, 1952, p. 202
sillimanietknol ¹	Amersfoort	A.G. KOENDERINK	Keienboek, 1965, p. 248
kinzigiet	Norg	ERDBRINK	Idem
"	Huizen	E.W.F. DE ROEVER (Geol. Inst., A'dam)	niet eerder vermeld
"	Markelo	P. v.d. LIJN, W. VAN HOUTUM e.a.	Keienboek, 1965, p. 248
"	Markelo	J. SMIT (Geol. Inst., A'dam)	niet eerder vermeld
"	Uelsen	E. VEENSTRA EN J. SMIT (Geol. Inst., A'dam)	Idem
"	Westerhaar	Th.M.G. v. KEMPEN (Geol. Inst., A'dam)	Idem
"	Sibculo	Th.M.G. v. KEMPEN	Idem
sillimaniet- oligoklaasgneis*	Westerhaar	Th.M.G. v. KEMPEN	Idem
sillimaniet-houdende keien met verweerde granaten	Loenermark en Oldenzaal	W. v.d. ZWAAN	Idem ²
sillimaniet-houdende kei zonder granaat	Markelo	W. v.d. ZWAAN	Idem ²

Vermeldingen van in Nederland gevonden sillimaniet-houdende zwerfkeien en een vondst van vlak over de grens in Duitsland (Uelsen).

* Deze zwerfkeien in dit artikel nader beschreven.

1. De sillimanietknol is waarschijnlijk een pyrometamorfe xenoliet.
2. Schriftelijke informatie van C. DE GRAAF, Arnhem, 8-1970.

SUMMARY

Contrary to the impression given by the available regional literature, sillimanite can be found in many ice or river transported gneissic erratics in the Netherlands. Macroscopic and microscopic descriptions of two sillimanite-bearing erratic, collected from different locations in the north-eastern Netherlands are given (see fig. 2 - 10). A list and a map of occurrences of 17 sillimanite-bearing erratics known to the authors from finds in the Netherlands is added (see table I and fig. 11). The distribution pattern of these particular erratics grossly correlates with the maximal extension of the Saalian ice sheet in this country. As yet there are no reports of finds of such erratics from locations that have not been under direct or indirect influence of the Saalian glaciation. Therefore, it is suggested that the sillimanite-bearing erratics listed have a Scandinavian provenance. The conditions for the formation of sillimanite-bearing metamorphites in general, are reviewed. The unusual persistence of patches of apparently non-devitrified glass in one of the high-grade gneisses described - a rock of deep-seated origin - is tentatively explained as being due to their having a presumed abnormally alkali-rich and alumina-poor composition, preventing the crystallization of a stable mineral paragenesis, even during slow cooling. It is suggested that droplets of anatectic melt, formed by ultra-metamorphism were unusually depleted in alumina by the crystallization of numerous sillimanite needles that abound in the glass.

LITERATUUR:

- CLEMENS, J.D. en McMILLAN, P.F. 1982: A discussion of: 'Biotite melting in high-grade metamorphic gneisses from the Haut Allier (French Massif Central)' by NÉDÉLEC and PAQUET. - Contributions to Mineralogy and Petrology, vol. 79, p. 436-438.
- HESEMANN, J., 1975: Kristalline Geschiebe der nordischen Vereisungen. - Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, 267 pp., Krefeld.
- HOFLAND, L.H., 1969: Tussen Rijn-Maas en Schelde. - Grondboor en Hamer, no. 1, p. 1-6, Oldenzaal.
- HOLDAWAY, M.J., 1971: Stability of andalusite and the aluminium silicate phase diagram. - American Journal of Science, vol. 271, p. 97-131, New Haven, Connecticut.
- JELGERSMA, S. en BREEUWER, J.B., 1975: Toelichting bij de kaart glaciale verschijnselen gedurende het Saalien, 1 : 600.000. In: ZAGWIJN, W.H. en Van STAALDUINEN, C.J., Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland, p. 93-103, Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- KERRICK, D.M., 1968: Experiments on the upper stability limit of pyrophyllite at 1.8 kilobars and 3.9 kilobars water pressure. - American Journal of Science, vol. 266, p. 204-214, New Haven, Connecticut.
- KERRICK, D.M., 1972: Experimental determination of muscovite + quartz stability with $P_{H_2O} < P_{total}$. - American Journal of Science, vol. 272, P. 946-958, New Haven, Connecticut.
- LINTHOUT, K., 1984: Alkali-zirconosilicates in peralkaline rocks. - Verschijnt in: Contributions to Mineralogy and Petrology, Springer-Verlag, Heidelberg.
- LUTH, W.C., JAHNS, R.H. en TUTTLE, O.F., 1964: The granite system at pressures of 4 to 10 kilobars. - Journal of Geophysical Research, vol. 69, no. 4, p. 759-773.
- LIJN, P. VAN DER, 1963: Het Keienboek, 5e druk, 390 pp., Thieme, Zutphen.
- MARCHAND, J., BOSSIÈRE, G. en LEYRELOUP, A., 1982: Pinite and pseudo-'glass' in high-grade metamorphic gneisses. A discussion of: Biotite melting in high-grade metamorphic gneisses from the Haut Allier (French Massif Central) by NÉDÉLEC and PAQUET, 1981, p. 1-10. - Contributions to Mineralogy and Petrology, vol. 79, p. 439-442.
- NÉDÉLEC, A. en PAQUET, J., 1981: Biotite melting in high-grade metamorphic gneisses from the Haut Allier (French Massif Central). - Contributions to Mineralogy and Petrology, vol. 77, p. 1-10.
- NÉDÉLEC, A. en PAQUET, J., 1982: Reply to CLEMENS and McMILLAN's, and MARCHAND, BOSSIÈRE and LEYRELOUP's discussions. - Contributions to Mineralogy and Petrology, vol. 79, p. 443-445.
- ORVILLE, P.M., 1963: Alkali ion exchange between vapor and feldspar phases. - American Journal of Science, vol. 261, p. 201-237, New Haven, Connecticut.
- SCHUDDEBEURS, A.P., 1980-81: Die Geschiebe im Pleistozän der Niederlande, - Der geschiebesammler, Sonderdruck (separaatdruk van meerdere afleveringen).
- STAALDUINEN, C.J. VAN et al., 1979/80: The geology of the Netherlands. - Mededelingen Rijks Geologische Dienst, vol. 31, no. 2, p. 9-49, Haarlem, Heerlen.
- WINKLER, H.G.F. en VON PLATEN, H., 1960: Experimentelle Gesteinsmetamorphose-III. Anatektische Ultrametamorphose kalkhaltiger Tone. - Geochimica et Cosmochimica Acta, vol. 18, p. 294-316, London.