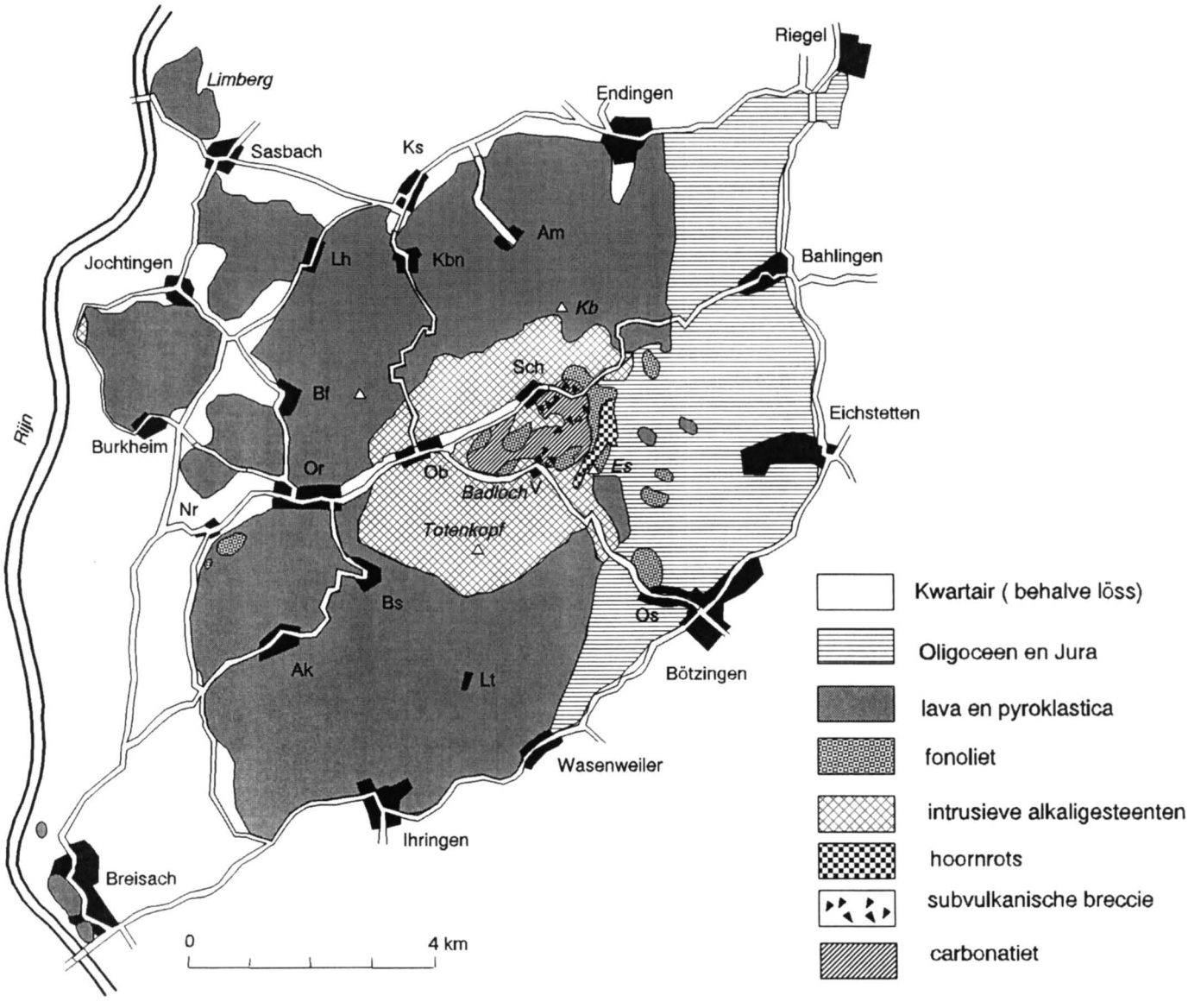
De Kaiserstuhl en zijn gesteenten

Peter Venema
P. Venema, Magnoliastraat 20, 7552 AX Hengelo, peter.venema@wxs.nl

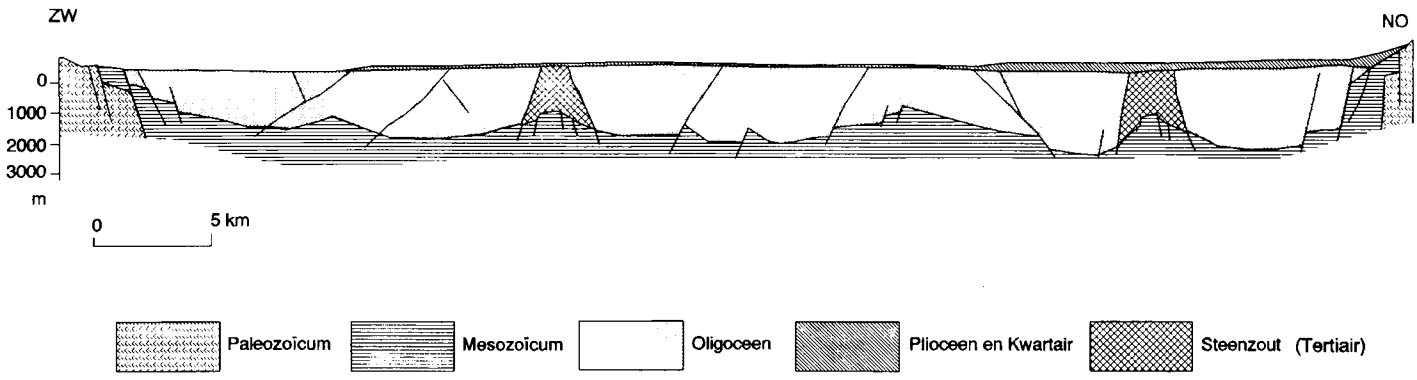
Er zijn veel indrukwekkender vulkanen dan de Kaiserstuhl en zelfs onder de dode vulkaantjes langs de Rijn zijn er heel wat die gaver bewaard zijn gebleven. Desondanks is de Kaiserstuhl zeer bijzonder: een zeldzame carbonatietvulkaan, gelegen boven een mantelpluim in een belangrijk riftdal, met een zeer exclusief gezelschap aan gesteenten en mineralen. Genoeg reden om er toch maar eens te kijken en er enige kennis over te vergaren.

Op de achterpagina van dit nummer worden enige termen verklaard. In de tekst zijn deze aangeduid met een asterisk (*). Namen van mineralen - te vinden in ieder handboek - zijn hierin niet opgenomen.

Geografie
De Kaiserstuhl is een klein middelgebergte in Baden-Württemberg (ten noordwesten van Freiburg) dat opvalt door zijn ligging in het Rijndal, tussen het Zwarte Woud en de Vogezen (Afb. 1). Het bestaat uit resten van een vulkaancomplex uit het Tertiair. De vulkaanruïne steekt meer dan 350 meter boven de omgeving uit. Het hoogste punt van de Kaiserstuhl, de Totenkopf, ligt op 556,7 meter hoogte. Oorspronkelijk was de vulkaan ongeveer tweemaal zo hoog (Fricke 1988). Het vulkaangebied heeft een doorsnede van 16 kilometer; de oppervlakte is 92 km^2. Het gebied is één van de warmste delen van Duitsland. De bodem bestaat grotendeels uit een dikke laag löss. Het gunstige klimaat en de vruchtbare bodem



Afb. 1. Eenvoudige geologische kaart van de Kaiserstuhl. Naar Wimmenauer 1985.
Afkortingen: Ak = Achkarren; Am = Amoltern; Bf = Bisschoffingen; Bs = Bickensohl; Es = Eichelspitze; Kb = Katharinaberg; Kbn = Kiechlinsbergen; Ks = Königschaffhausen; Lh = Leiselheim; Lt = Lilienthal; Nr = Niederrotweil; Ob = Oberbergen; Or = Oberrotweil; Os = Oberschaffhausen; Sch = Schelingen; V = Vogtsburg.



Afb. 2. Dwarsprofiel van de Boven-Rijndalslenk ten noorden van Mulhouse. Naar R. Walter 1995 [naar Pflug 1982].

maken de Kaiserstuhl bij uitstek geschikt voor wijnbouw en groenteteelt.

Geologische geschiedenis

De wording van de Kaiserstuhl hangt nauw samen met het ontstaan van het Zwarte Woud, de Vogezen en de Boven-Rijndalslenk. Tijdens het Paleozoïcum strekte het Variscisch (= Hercynisch) gebergte zich uit over een aanzienlijk deel van Europa. De kristallijne kernen van de Vogezen en het Zwarte Woud zijn restanten van dit gebergte. Oorspronkelijk vormden de beide gebergten één geheel, maar in het midden bevond zich een zwakke zone, waaruit de Boven-Rijndalslenk zou ontstaan. Al in het Paleozoïcum gingen tektonische bewegingen in het gebied gepaard met vulkanisme. Dit blijkt uit vulkanische gesteenten in de Vogezen en het Zwarte Woud. Aan de westkant van het Zwarte Woud bevindt zich bijvoorbeeld op verschillende plaatsen kwarts-porfier* (paleorhyoliet) uit het Perm. Het Variscisch gebergte sleet tijdens het Perm af tot een schiervlakte.

Tijdens de Trias (mogelijk nog eerder) was het hele gebied zelfs overspoeld door de zee. In die tijd begon zich in de aardkorst van West-Europa een stelsel van breuken te ontwikkelen dat is te volgen vanaf de monding van de Rhône tot in de Noordzee en Zuid-Noorwegen (Mjösen). Tijdens het Krijt kwam de aardkorst in het gebied van de Vogezen en het Zwarte Woud omhoog, waardoor het gebied in het Laat-Krijt boven de zeespiegel kwam te liggen.

Vanaf het vroege Paleoceen trad riftvorming op, waarbij de bovengenoemde breuken zich verbreedden en verdiepten tot grote slenken, waaronder de Boven-Rijndalslenk. Deze ontwikkelde zich in de loop van het Tertiair tot een klassiek voorbeeld van een rift. De slenk werd steeds breder (tot circa 40 km) en dieper, waarbij de riftvorming zich vanaf het Eoceen geleidelijk naar het noorden verplaatste. De slenk is hoofdzakelijk opgevuld met sedimenten uit het Tertiair. De meeste lagen dateren uit het Oligoceen (Afb. 2). Onder de Kaiserstuhl is het Tertiaire lagenpakket ongeveer 1.200 meter dik. Daaronder liggen Jura-gesteenten. Onder de Kaiserstuhl hebben deze een dikte van 600 meter (Walter 1995). Aan de randen van de slenk bevinden zich gesteenten uit de Trias en Jura. Deze lagen dagzomen tegen het Zwarte Woud aan (Duff 1993). Een voorbeeld hiervan vormen de Jura-gesteenten aan de oostzijde van de Kaiserstuhl (Afb. 1).

Ter hoogte van Mannheim vormen de slenken een driesprong, een 'triple junction'. De Boven-Rijndalslenk strekt zich uit naar het zuiden, de Hessische Slenk naar het noordoosten en de Beneden-Rijndalslenk naar het noordwesten (Afb. 3). Een ander bekend voorbeeld van een triple junction is de Afar-driehoek, waar de Grote Oost-Afrikaanse Slenk, de slenk van de Rode Zee en die van de Golf van Aden elkaar ontmoeten.

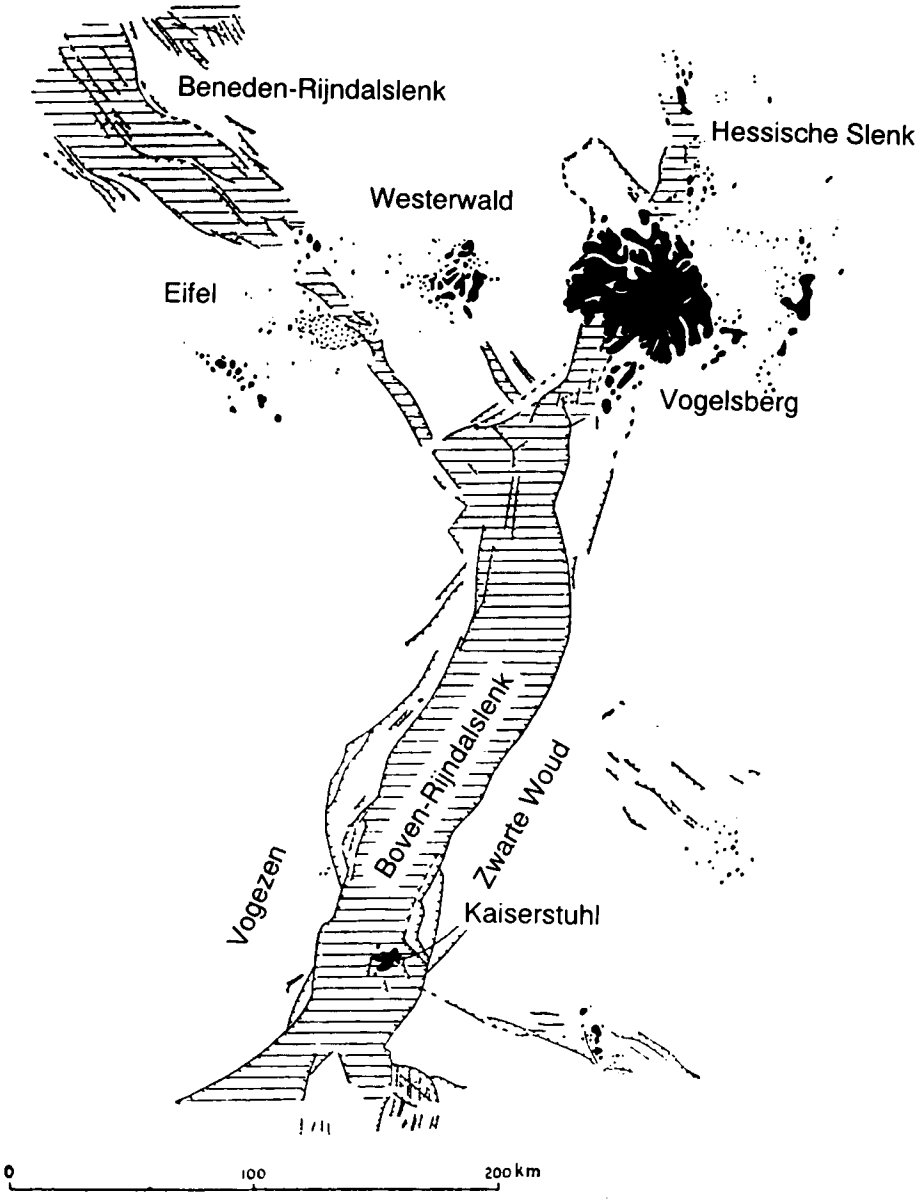
De riftvorming ging, zoals ook elders, gepaard met seismische en vulkanische activiteit. Hierdoor zien we aan weerskanten van de Rijn verschillende vulkaangebieden, waaronder de Eifel, het Zevengebergte, de Vogelsberg en de Kaiserstuhl. Het vulkaancomplex van de Kaiserstuhl ontstond in het Mioceen. Sommige vulkanische ganggesteenten en tuffen in de omgeving zijn echter ouder. Enkele dateren uit het midden van het Boven-Krijt. K/Ar-ouderdomsbepalingen leverden voor de gesteenten van de Kaiserstuhl een ouderdom op van 18 tot 16 miljoen jaar. Dit is in overeenstemming met de ouderdom van zoogdierfossielen in de tuffen (Walter 1995).

De gedeeltelijke afbraak van het vulkaangebied vond voornamelijk plaats tijdens het Midden-Mioceen en Vroeg-Pleistoceen. In het Laat-Pleistoceen werd vooral het noordoostelijk deel bedekt met soms meer dan 40 meter dikke lagen löss en lössleem (Henningsen & Katzung 1992).

Geologische ontdekkingen

De Kaiserstuhl heeft eeuwenlang in de belangstelling gestaan van natuuronderzoekers, maar gaf zijn geheimen slechts mondjesmaat prijs. Wij kunnen ons bijna niet voorstellen dat pas in 1774 werd ontdekt dat de Kaiserstuhl een vulkaan is. De eer van deze ontdekking komt toe aan baron Ph. F. von Dietrich die in 1783 een verhandeling publiceerde: *'D'un Volcan découvert en 1774, près le vieux Brisach'*. Enige tijd vóór het verschijnen van deze publicatie, in 1781, verzamelde C.Ch. Gmelin in zijn studententijd gesteenten van de Kaiserstuhl die door de Straatsburgse hoogleraar J. Hermann meteen als vulkanisch werden herkend (Mayer, 1971). Niet iedereen geloofde meteen in het vulkanische karakter van het gebied. Eén van de beroemdste natuuronderzoekers van die tijd, H.B. de Saussure, kwam in 1791 een kijkje nemen. Hij raakte overtuigd van de vulkanische aard van de Limberg maar had twijfels aangaande andere lokaties, zoals Burkheim en Achkarren. Nog in 1823 vond K.J. Selb het noodzakelijk om te betogen dat de mineralen van de Kaiserstuhl van vulkanische oorsprong zijn, door deze te vergelijken met die van de Etna en de Vesuvius.

De eerste geologische kaart van de Kaiserstuhl werd in 1829 gepubliceerd door O. Eisenlohr. Op deze kaart (1 : 86.400) zijn de vulkanieten* aangegeven als 'doleriet', 'trachiet' e.d. en de carbonatiet wordt *'calcaire grenu'* (korrelige kalksteen) genoemd. Een



Afb. 3. De Boven-Rijndalslenk met de 'triple junction' en vulkaangebieden. Naar De Sitter 1956 [naar Cloos 1936].

kaart met veel meer details, (schaal 1 : 25.000, door A. Knop) verscheen in 1892. Van 1952 tot 1955 karteerden W. Wimmenauer c.s. de Kaiserstuhl opnieuw (1 : 25.000).

Talrijke mineralen en gesteenten van de Kaiserstuhl werden in de loop der tijd verzameld en beschreven. De eerder genoemde Gmelin, die directeur werd van het Karlsruher Mineralienkabinett, legde als een der eersten een collectie gesteenten en mineralen van de Kaiserstuhl aan (Mayer, 1971). De eerste onderzoeker die de verscheidenheid aan vulkanische gesteenten geologisch probeerde te verklaren was J. Schill met zijn *'Geognostisch-mineralogische Beschreibung des Kaiserstuhlgebirges'* uit 1854, waarin een lijst van 41 soorten mineralen is opgenomen.

Niet ver van de Kaiserstuhl werkte één van de grondleggers der gesteentenkunde op basis van microscopisch onderzoek van slijpplaatjes en veldwerk. Dat was K.H.F. Rosenbusch (1836-1914), hoogleraar in de petrografie te Straatsburg en Heidelberg. In 1872 publiceerde hij een omvangrijke studie over de lava's van de Limberg, met o.a. de eerste beschrijving van limburgiet. Ook door anderen werden nieuwe gesteenten beschreven met de Kaiserstuhl als typelokatie: tefriet en mondhaldeïet door F. Graeff in 1889 en bergaliet door J. Soellner in 1913.

Ondanks de inspanningen van deze geleerden bleef de kristallijne kalksteen die wij nu als carbonatiet kennen een raadselachtig gesteente. Wellicht werden andere onderzoekers op het verkeerde been gezet door C. Fromherz, die in 1838 als eerste opperde dat de 'korrelige kalk' een contactmetamorf* gesteente zou zijn. Onder invloed van hitte van de vulkaan zou deze zijn gevormd uit kalksteen die afgezet zou zijn in koolzuurhoudende bronnen. Nog in 1891 beschouwde F. Graeff het gesteente als contactmetamorfe kalksteen uit de Midden-Jura.

De Zweedse petrograaf A.G. Högbom onderzocht overeenkomstige kristallijne kalksteen van Alnö. Hij stelde vast dat het een magmatisch* gesteente betrof dat op dit eiland een gangvormige intrusie* vormt. (De naam carbonatiet zou pas in 1921 worden ingevoerd door de Noor W.C. Brögger). In zijn publicatie over Alnö, uit 1895, suggereerde Högbom dat dit ook bij de Kaiserstuhl het geval kon zijn. Deze gouden tip ontsnapte blijkbaar aan de aandacht van de Duitse geologen.

Pas in 1952 ging een onderzoek van start door W. Wimmenauer c.s. dat leidde tot het inzicht dat de Kaiserstuhl inderdaad een carbonatietvulkaan is. In 1964 deden Van Wambeke c.s. geochemische onderzoekingen aan de carbonatieten en andere gesteenten. Talrijke ejecta* van fenieten en enige carbonatieten in tuffen* van de Limberg, bij Eichstetten en Wasenweiler tonen de aanwezigheid aan van een carbonatietmagma onder het vulkaancomplex. Tijdens een onderzoeksboring bij Badberg in 1970, waarbij een diepte van 500 meter werd bereikt, werd het intrusief-magmatische karakter van de carbonatiet en andere gesteenten bevestigd (Baranyi c.s. 1977). In 1978 ontdekte J. Keller carbonatiettuf, afgezet tussen tefriet. Dit eigenaardige tuf bestaat uit millimeter-grote 'druppeltjes' en kogeltjes met karakteristieke carbonatietmineralen, vooral calciet. De carbonatietlava moet dunvloeibaar zijn geweest en tijdens de uitbarsting over de omgeving zijn gesproeid. Ook onderzocht Keller xenokristen* van diopsied in olivijnnefeliniet van de Limberg. Hij kwam tot de conclusie dat het magma van een diepte van circa 100 kilometer afkomstig was.

Tenzij anders vermeld zijn deze historische gegevens ontleend aan Wimmenauer (1981), wiens artikel uitvoeriger ingaat op dit onderwerp.

Het vulkanisme van de Kaiserstuhl

Het vulkanisme van de Kaiserstuhl is karakteristiek voor continentale riftzo-

nes. Diepe scheuren in de continentale lithosfeer gaan in verschillende werdelddelen vergezeld van vulkanen. Dit is bijvoorbeeld te zien bij het Oost-Afrikaanse slenkstelsel, het Baikalslenkstelsel, de Oslo-slenk en het slenkenstelsel waartoe de Boven-Rijndalslenk behoort. Dikwijls liggen de vulkanen een eindje buiten de slenk, zoals die van het Zevengebergte, maar soms liggen ze erbinnen, zoals de Kaiserstuhl.

Daarbij is van betekenis dat de uitgerekte aardkorst onder de slenk dunner is dan daarbuiten. Seismisch onderzoek heeft uitgewezen dat de grens tussen de aardkorst en de aardmantel (de moho) onder de Kaiserstuhl slechts 24 kilometer diep ligt, onder de Vogezen en het Zwarte Woud op 26 tot 28 kilometer diepte en daarbuiten op circa 30 kilometer diepte. Deze opwelving duidt - evenals de triple junction en de aanwezigheid van de vulkaan - op de aanwezigheid van een 'hot spot'* (Duff 1993). Dit is een plaats waaronder een lange kolom van heet materiaal (mantelpluim*) diep vanuit de aardmantel opstijgt. Een erg beroemde vulkaan boven een hot spot is de Mauna Loa op Hawaï.

Het magma waardoor deze vulkanen worden gevoed, bevindt zich op grote diepte. Algemeen wordt aangenomen dat het magma ontstaat door gedeeltelijke opsmelting van het peridotiet waaruit de buitenmantel bestaat. Het magma verandert van samenstelling op zijn weg door de aardkorst, bijvoorbeeld tijdens het verblijf in hoger gelegen magmakamers. Bij het afkoelen van het magma kristalliseert de ene mineraalsoort eerder uit dan de andere, afhankelijk van temperatuur en druk. Het ene mineraal is zwaarder dan het andere, waardoor zware mineralen bezinken en licht materiaal, waaronder vloeistoffen en gassen, opstijgt. Eenmaal gevormde mineralen lossen voor een deel later weer op en allerlei stoffen kunnen met elkaar reageren. Bovendien kunnen magma's ontstaan of van samenstelling veranderen door het smelten van gesteenten die ermee in aanraking komen.

De vulkanen in continentale riftzones kenmerken zich door het uitstoten van alkaligesteenten*. Deze bezitten een hoog gehalte aan natrium en/of kalium en weinig calcium. Veel soorten zijn zo arm aan kiezelzuur dat ze geen kwarts bevatten maar wel mineralen uit de groep der foïden*. De belangrijkste alkalivulkanieten zijn trachiet, fonoliet en alkalibasalten.

In de 'Atlantische magmaprovincie', die overigens ook de eilanden in het midden van de Grote Oceaan omvat, overheersen alkaligesteenten met natrium. Dit is ook in de Kaiserstuhl het geval. Kaliumrijke alkaligesteenten zijn kenmerkend voor de 'Mediterrane magmaprovincie' (Pannekoek & Van Straaten 1982).

Uit magma met de samenstelling van alkali-olivijnbasalt ontstaan behalve de genoemde basalt gesteenten als trachiet en alkali-rhyoliet. Uit magma met de samenstelling van olivijnnefeliniet ontstaan andere gesteenten, bijvoorbeeld nefeliniet en fonoliet. Volgens Wimmenauer (1985) zijn de vulkanische gesteenten van de Kaiserstuhl - evenals de andere Tertiaire vulkanische gesteenten van Zuid-Duitsland en Oost-Frankrijk - ontstaan uit een magma van olivijnnefelinitische samenstelling. Deze kunnen worden verdeeld in drie groepen:

1. de tefritisch-essexitische familie: met o.a. olivijnnefeliniet, essexiet, limburgiet en tefriet.
2. de fonolitische familie: met o.a. fonoliet en tinguaïet.
3. de carbonatieten.

Alkalische uitvloeiingsgesteenten zijn in sommige gebieden en in bepaalde perioden op grote schaal gevormd. In het Laat-Tertiair van de Kenia Rift Valley is bijvoorbeeld meer dan 50.000 km^2 fonoliet en trachiet aanwezig. Dat is meer dan het totaal in de rest van de wereld. In het Tertiair en Kwartair van Midden-Europa en Frankrijk worden meer alkalische dan niet-alkalische uitvloeiingsgesteenten aangetroffen. Veel schaarser zijn de alkalische intrusieve* gesteenten. Hun aandeel aan het totale oppervlak van alle intrusieve gesteenten bedraagt in Europa slechts 1,27% en over alle continenten gerekend zelfs maar 0,17%. Het totale oppervlak van deze gesteenten op aarde bedraagt ongeveer 22.000 km^2. De grootste voorkomens bevinden zich op het Kolaschiereiland en in Zuid-Noorwegen. Ook de Kaiserstuhl is een vindplaats van alkalische intrusieve gesteenten (Wimmenauer 1985).

Nog zeldzamer zijn de carbonatieten. In Europa komen ze behalve in de Kaiserstuhl voor in Zuid-Noorwegen en op Alnö (Zweden). Ook wordt wel carbonatiet gevonden bij de Laacher See in de Eifel. Carbonatieten komen altijd samen voor met gesteenten uit sterk alkalische, basaltische magma's. Dat lijkt vreemd, omdat de samenstelling van carbonatieten heel anders is. Zij kunnen zijn ontstaan uit een vloeistof die zich bij afkoeling door ontmenging van een silicaatsmelt heeft afgescheiden (Smith c.s. 1983). In de nabijheid van carbonatietvulkanen bevinden zich vaak voorkomens van kimberliet, o.a. in Tanzania en het Fen-gebied in Noorwegen (Bergstøl & Svinndal 1960). Van de Kaiserstuhl of omgeving is mij geen kimberliet bekend. Evenals kimberliet is carbonatiet afkomstig van grote diepte. De carbonatiettuf van de Kaiserstuhl bevat mineralen die ongeveer 100 kilometer diep zijn gevormd.

De meeste carbonatieten, ook die van de Kaiserstuhl, bestaan hoofdzakelijk uit calciumcarbonaat. De enige actieve carbonatietvulkaan ter wereld is de 2.878 meter hoge Oldoinyo Lengai in Tanzania, die ongeveer 20 kilometer ten zuiden van het Natronmeer ligt, in de Oost-Afrikaanse Riftzone. Deze vulkaan is zeer bijzonder doordat hij natriet (= natriumcarbonaat = natron = soda) uitstoot. Op de in de lijst genoemde website is veel interessante informatie over deze vulkaan te vinden, evenals in Duff (1997) en Rast (1983).

De vulkanische activiteit van de Kaiserstuhl begon met uitbarstingen in het Mioceen, waarbij tuffen en tufbreccies vrijkwamen. Pas daarna ontstonden verschillende stratovulkanen, die overwegend leucietfetritische lava's produceerden. Naar het westen toe zijn deze gesteenten steeds jonger, tenslotte overgaand in limburgiet, olivijnhoudende tefriet, olivijnnefeliniet en alkaliveldspaatnefeliniet. Eén van deze stratovulkanen is de Limberg bij Sasbach. Hij is gevormd uit drie lavastromen van limburgiet. Daartussen bevinden zich tuffen en agglomeraten van vulkanische slakken. Onder het basalt bevindt zich aan de westzijde olivijnnefeliniettuf en breccie daarvan (Walter 1995). Wie dit in ogenschouw wil nemen kan er een geologische wandelroute volgen. De in de lijst genoemde website kan u meer bijzonderheden geven.

Vooral in het centrum van de Kaiserstuhl bevinden zich subvulkanische* intrusieve gesteenten. Door erosie zijn deze aan de oppervlakte gekomen of ze zijn aan het licht gebracht in steengroeves of door boringen. Ze zijn jonger dan de uitvloeiingsgesteenten aan de oppervlakte. Als oudste intrusieve gesteenten worden de essexieten en theralieten be-

schouwd. Jonger zijn fonolieten, ledmorieten en alkalisyenieten, gevolgd door carbonatieten (Walter 1995).

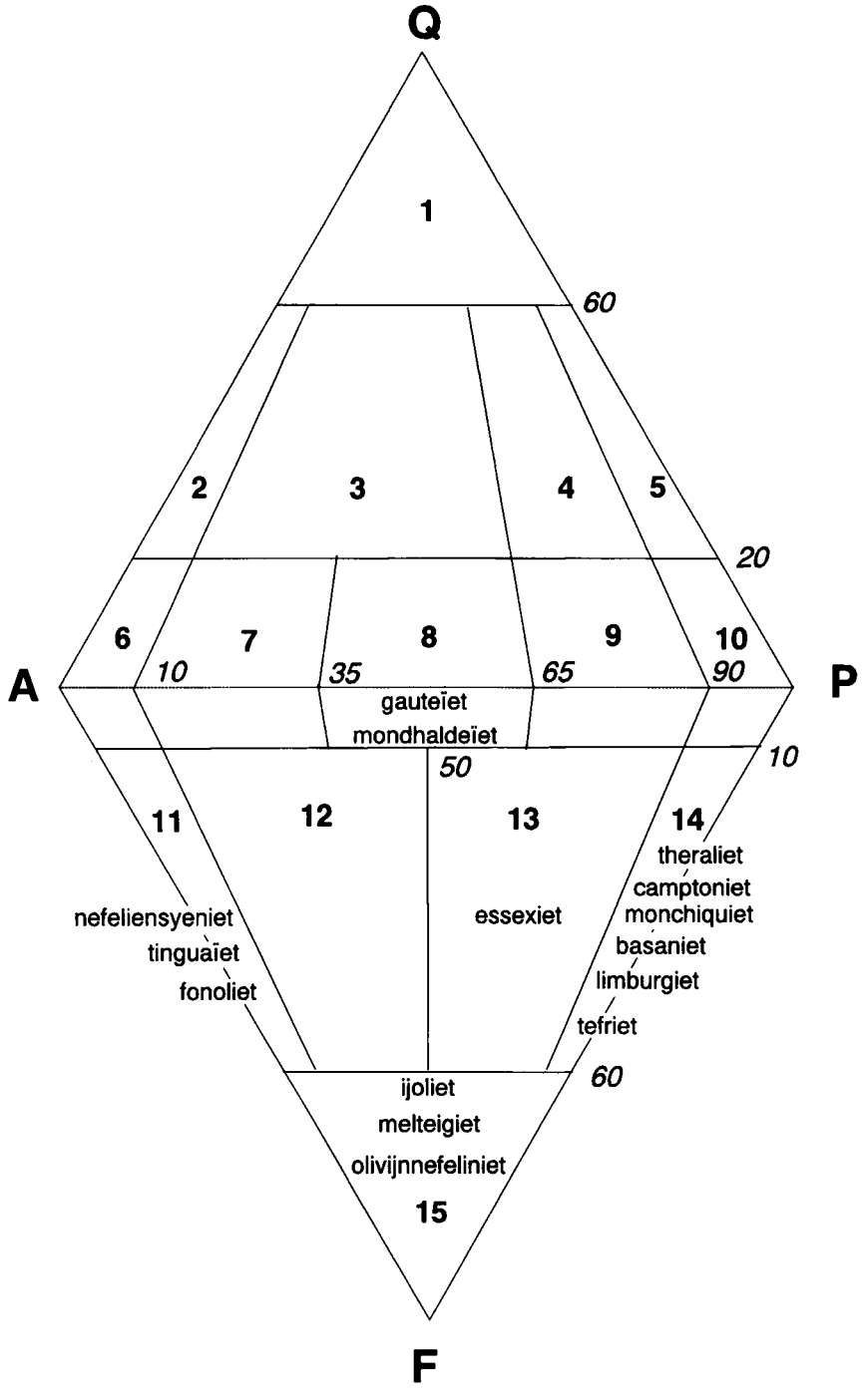
In veel gesteenten van de Kaiserstuhl zijn naderhand hydrothermale* mineralen gevormd in spleten en holten, waaronder diverse zeolieten*. Olivijnnefeliniet, essexiet, limburgiet en tefriet bevatten vooral kalkzeolieten: apofylliet, faujasiet, philippsiet en chabasiet. Fonoliet en tinguaïet bevatten vooral analciem, natroliet, mesoliet, thomsoniet en apofylliet (Fricke 1988).

Gesteenten van de Kaiserstuhl
Vrijwel alle stollingsgesteenten van de Kaiserstuhl zijn zo arm aan kiezelzuur dat ze foïden* bevatten en dus absoluut geen kwarts. In het bekende Streckeisen-diagram voor de klassificatie van stollingsgesteenten horen ze dan ook alle thuis in de onderste driehoek. Het is niet altijd mogelijk een scherp onderscheid te maken tussen dieptegesteenten*, ganggesteenten* en uitvloeiingsgesteenten. Daarom zijn deze categorieën hier samen in één diagram opgenomen (Afb. 4). De ultramafische gesteenten, zoals peridotiet en carbonatiet, vallen buiten het diagram. Beschrijvingen van de vele mineralen die genoemd worden zijn te vinden in ieder goed mineralenboek. Verscheidene gesteenten die hieronder worden genoemd zijn vanwege hun zeldzaamheid in veel stenengidsen niet te vinden.

1 Stollingsgesteenten (magmatieten*)
1.1 foïdhoudende alkalimagmatieten met veel alkaliveldspaat en weinig of geen plagioklaas
(Streckeisen-diagram vak 11)

Nefeliensyeniet
Het dieptegesteente nefeliensyeniet komt in de Kaiserstuhl voor in twee variëteiten. *Shonkiniet* is een melanokrate variëteit. De hoofdmineralen zijn orthoklaas, nefelien en aegirienaugiet. Daarnaast bevat het olivijn, biotiet, ertsmineralen en apatiet. Te Horberich bij Oberbergen bevindt zich een gang van *shonkinietporfier* als een van de jongste vormingen. Maresch (1987) toont twee foto's van shonkinietporfier van de Katzenbuckel (Odenwald). Deze bevat tot circa 7 millimeter grote, idiomorfe* eerstelingen* van nefelien met typische vierhoekige én zeshoekige doorsneden. De grondmassa bevat circa 35% pyroxeen, 15% biotiet, 1% erts en 1% alkaliveldspaat (sanidien). Ook *ledmoriet* is een donkere nefeliensyeniet. Het is samengesteld uit orthoklaas, nefelien, aegirienaugiet en melaniet (10%), met wat biotiet en apatiet. Calciet en chloriet zijn aanwezig als secundair gevormde mineralen. Bij de onderzoeksboring in de steengroeve Badberg werd op een diepte tussen 150 en 500 meter veel ledmoriet aangetroffen. In het gedeelte tussen 205 en 325 meter was deze rijk aan mafische insluitsels. In het gedeelte tussen 325 en 500 meter bleek de ledmoriet radioactief te zijn door uranium en thorium.

Fonoliet
Fonoliet is een wereldwijd voorkomend uitvloeiingsgesteente. Het bestaat uit alkaliveldspaat (natriumsanidien, albiet), (iets) plagioklaas (oligoklaas of andesien), foïden (vooral nefelien, maar ook leuciet, sodaliet, haüyn, noseaan) en allerlei donkere mineralen. De typische donkere mineralen zijn: aegirien, aegirienaugiet, natriumamfibool (kaersutiet, barkevikiet, arfvedsoniet), ijzerrijke olivijn, biotiet en enigmatiet. Bijzonder is het voorkomen van primaire zeolieten, waar-



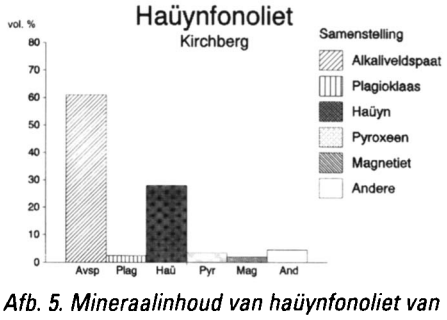
Afb. 4. QAPF-diagram volgens Streckeisen voor de klassificatie van stollingsgesteenten. Hierin zijn alleen de gesteentetypen van de Kaiserstuhl opgenomen. De percentages zijn cursief aangegeven. Q = % kwarts (Q+A+P = 100); A = % alkaliveldspaat, incl. albiet (A+P = 100); P = % plagioklaas (A+P = 100); F = % foïde (F+A+P= 100). De ultramafische gesteenten (met meer dan 90 % mafieten) vallen buiten het schema.

onder analciem en natroliet. In holten komen ook secundair gevormde zeolieten voor, bijvoorbeeld natroliet, chabasiet en apofylliet. De zeolieten en calciet kunnen omzettingsproducten zijn van foïden. Van de overige mineralen komt vooral titaniet voor. In mindere mate kunnen ijzererts, apatiet en zirkoon aanwezig zijn. Enkele fonolieten bevatten wollastoniet en/of melaniet.

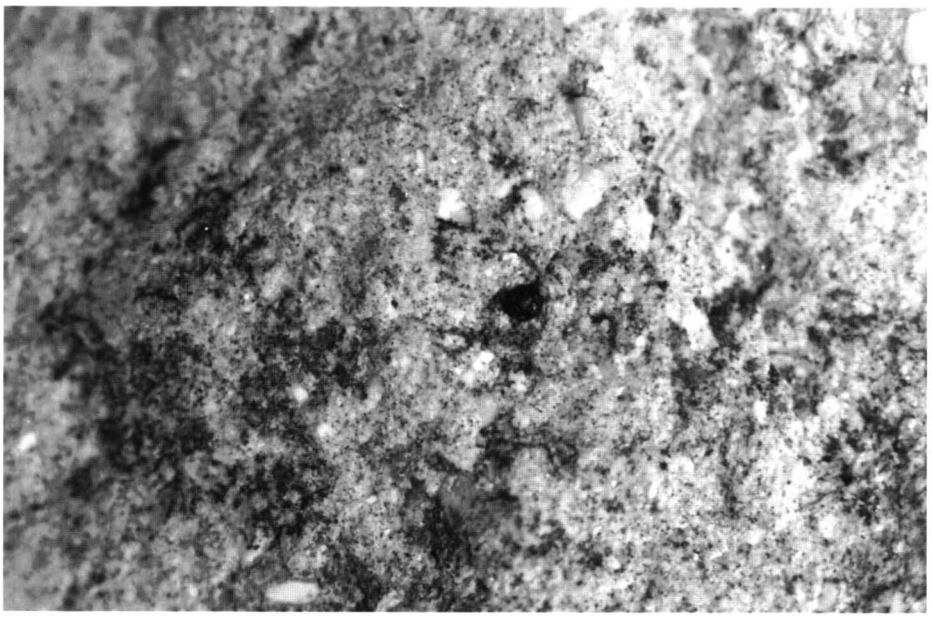
De structuur is vaak trachitisch of porfierisch. Bij porfierachtige vormen komen vooral de veldspaten en minder vaak nefelien als eerstelingen voor. Soms zijn er kleine eerstelingen van haüyn. De eerstelingen zijn vaak idiomorf. De grondmassa is dicht tot fijnkorrelig en grijs, groenig, bruingroen of rose. Als de structuur trachitisch is, bezit de grondmassa een vloeistructuur. In de grondmassa liggen dan evenwijdige lijstjes van sanidien welke zijn georiënteerd volgens de stroomrichting. Soms zijn in de grondmassa duidelijk aegiriennaalden te herkennen. Bij verwering ontstaat een gelige of lichtgrijze magnetietarme laag en krijgen de eerstelingen van nefelien een rode kleur.

Fonolitische lava's zijn net als trachitische taaivloeibaar. Vulkaankegels van fonoliet en trachiet hebben hierdoor een bolle vorm en opvallend steile hellingen (lavadom of cumulovulkaan). Bij de Kaiserstuhl is daar niets (meer) van te bespeuren. Fonoliet komt op andere plaatsen vaak samen voor met trachiet.

In de Kaiserstuhl komen verschillende typen fonoliet voor in gangen en lagen van verschillende ouderdom. Ze bevatten steeds enige procenten melaniet. Van de Kirchberg bij Oberrotweil is haüynfonoliet bekend (Afb. 5). De haüyn is te zien als verspreide rode puntjes (Fricke 1988). In Horberich bij Oberbergen bevindt zich een gang van haüynfonoliet die in de 19e eeuw beroemd werd vanwege de



Afb. 5. Mineraalinhoud van haüynfonoliet van de Kaiserstuhl. Naar gegevens van Wimmenauer 1985.



Afb. 6. Fonoliet van Niederrotweil (Kaiserstuhl). Breedte beeld 36 mm. Foto: P. Venema.

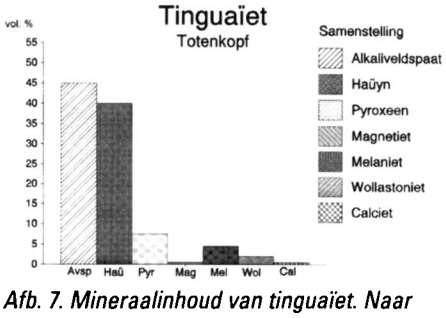
zeldzame mineralen die er gevonden werden, waaronder saffier. Volgens Fricke is er nu niets bijzonders meer te vinden. Een gang in de Eichberg bij Oberrotweil bestaat uit leucietfonoliet met haüyn. In de steengroeve Fohberg bij Oberschaffhausen wordt wollastonietfonoliet aangetroffen. De steengroeve van Niederrotweil levert fonoliet met circa 2% eerstelingen van plagioklaas (oligoklaas) met een duidelijke zoom van kaliveldspaat (Afb. 6). Van Kirchweiler wordt fonoliet met eerstelingen van kaliveldspaat en aegirien vermeld door Fricke (1988). In fonoliet van de Kaiserstuhl worden niet alleen insluitsels (xenolieten*) van graniet en gneis aangetroffen uit de aardkorst onder de vulkaan, maar ook basische* tot ultrabasische* insluitsels uit de buitenmantel.

Tinguaïet
Tinguaïet is het gang-equivalent van foïdsyeniet en fonoliet. Het is een gelijkkorrelig of porfierachtig gesteente, groenig van kleur, gekenmerkt door een combinatie van alkaliveldspaat en nefelien, met aegirien of aegirienaugiet. Als haüyn de plaats inneemt van nefelien, wordt gesproken van haüyntinguaiet. De Pulverbuck bij Oberbergen bevat talrijke gangen tinguaïet met veel eerstelingen van sanidien die soms 4 centimeter groot zijn en in mindere mate van haüyn en melaniet, in een fijnkorrelige grondmassa. Van tinguaïet van de Totenkopf wordt de samenstelling gegeven in afbeelding 7. Te Neunbrunnen bij Badloch komt tinguaïet voor met melaniet en apatiet. Bij de onderzoeksboring in de steengroeve Badberg bij Badloch bevonden zich op 0 - 151 meter diepte 8 tinguaïetgangen met een totale dikte van 18,5 meter, op 205-325 meter diepte tinguaïet met veel mafische insluitsels. Ook op 325 - 500 meter diepte bevonden zich gangen van tinguaïet.

1.2 alkali-magmatieten met ongeveer evenveel kaliveldspaat als plagioklaas en weinig foïde.
Streckeisen-diagram: vak 8.

Gauteïet is het gang-equivalent van monzoniet en bevat dus een laag percentage foïden. Het is een leukokrate, haüynhoudende monzonietporfier. Het gesteente bezit een fijnkorrelige, door secundaire omzettingen gelige, grondmassa met vaak radiaalstralige, viltige veldspaataggregaten (natriumsanidien en plagioklaas). De eerstelingen zijn idiomorfe amfiboolkristallen, augiet en soms biotiet. Van Oberbergen Nord wordt gauteïet met veel chabasiet vermeld.

Mondhaldeïet is eveneens een leukokrate monzonietporfier, doch zonder haüyn. Er zijn eerstelingen van amfibool (naaldvormig), augiet, bytowniet



Afb. 7. Mineraalinhoud van tinguaïet. Naar gegevens van Wimmenauer 1985.

en leuciet in een glazige, iets viltige grondmassa (Afb. 8). Dit gesteentetype werd het eerst beschreven van de Kaiserstuhl. Het is genoemd naar Mondhalde bij Oberbergen door Graeff in 1900.

1.3 alkali-magmatieten met foïde(n) en meer plagioklaas dan alkaliveldspaat.
Streckeisen-diagram: vak 13.

Essexiet
Essexiet is een mesokraat* dieptegesteente dat ook wel kleine gangen vormt. De naam essexiet is een synoniem voor *foïdmonzodioriet of -gabbro.* Het percentage foïden is 10-60% (van de hoeveelheid foïden + veldspaat) en plagioklaas maakt 50-90 % van de hoeveelheid veldspaat uit. Het gesteente is fijn- tot grofkorrelig en vaak porfierisch. In dit laatste geval heeft het eerstelingen van augiet en/of plagioklaas en is de benaming *essexietporfiriet* van toepassing. De kleur van essexiet is donkergrijs tot bijna zwart door het hoge gehalte aan donkere mineralen, vooral pyroxeen. Een essexiet van de Scheibenbuck bij Oberbergen (Afb. 9) bevatte 12% analciem in plaats van een foïde. In andere essexieten komt meestal nefelien voor, maar ook wel sodaliet, haüyn of leuciet. Analciem is een hydrothermaal* omzettingsproduct van Na-houdende foïden zoals nefelien en behoort tot de zeolieten.

De plagioklaas is labradoriet of bytowniet. Vaak worden deze plagioklaaskristallen omgeven door een zoom van alkaliveldspaat. Dit komt ook voor als opvulling van holten tussen de kristallen. De pyroxeen is diopsied, titaanaugiet of aegirienaugiet. Een amfibool die vaak in essexiet wordt aangetroffen is barkevikiet: een natriumhoudende bruine hoornblende. Olivijn is lang niet altijd aanwezig en meestal omgezet in serpentijn. Het ijzer-/titaanerts kan magnetiet of ilmeniet zijn. In de Kaiserstuhl wordt wel essexiet gevonden met idiomorfe magnetietkristallen. Tenslotte kan essexiet biotiet bevatten, zo ook die van de Kaiserstuhl.

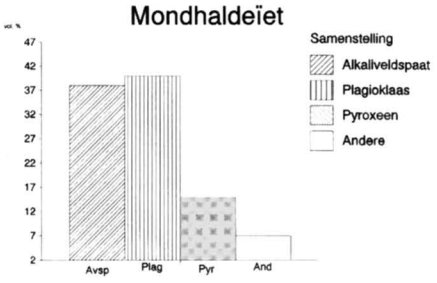
Behalve op de Scheibenbuck bij Oberbergen komt essexiet volgens een kaartje in Baranyi (1976) in ruime mate voor rondom de Kirchenbuck ten noorden van de weg van Oberbergen naar Schelingen en ten oosten van Vogtsburg. Essexiet staat te boek als een zeldzaam gesteente. De typelokaliteit is Essex County in Massachusetts bij New York (USA). In Europa komt essexiet niet alleen voor in Duitsland maar ook in Schotland, Tsjechië, Italië, Frankrijk, Noorwegen en Zweden.

1.4 Alkali-magmatieten met foïde, veel plagioklaas en weinig of geen alkaliveldspaat
Streckeisen-diagram: veld 14.

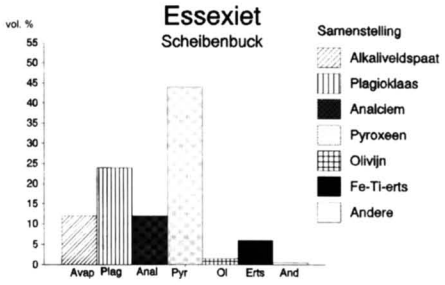
Theraliet
Dit dieptegesteente is een foïdgabbro of -dioriet, in essentie samengesteld uit calciumplagioklaas (andesien, labradoriet), foïde (gewoonlijk nefelien) en een aanzienlijke hoeveelheid pyroxeen (augiet). Bijkomende mineralen zijn biotiet, natriumamfibool, foïden uit de sodalietgroep, olivijn, magnetiet, titaniet en erts. Het is een fijn- tot grofkorrelig, middel- tot donkergrijs gesteente (M 30-70). In de Kaiserstuhl komt *theralietporfiriet* voor.

Tefriet
Het uitvloeiingsgesteente tefriet is een alkalibasalt die gekenmerkt wordt

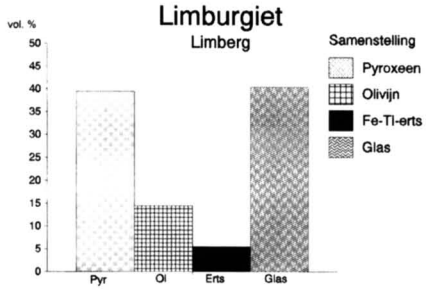
Afb. 10. Limburgiet van Sasbach (Kaiserstuhl). Breedte beeld 36 mm. Foto: P. Venema.



Afb. 8. Mineraalinhoud van mondhaldeïet. Naar gegevens van Jubelt & Schreiter 1972.



Afb. 9. Mineraalinhoud van essexiet. Naar gegevens van Wimmenauer 1985.



Afb. 11. Mineraalinhoud van limburgiet. Naar gegevens van Wimmenauer 1985.

door de combinatie van calcium-plagioklaas, pyroxeen en een foïde (gewoonlijk leuciet of nefelien). Als er meer dan 5% olivijn aanwezig is, wordt het gesteente *basaniet* genoemd. De variëteiten worden genoemd naar de verschillende foïden, bijvoorbeeld leuciettefriet. Tefriet is, afhankelijk van de hoeveelheid mafische mineralen, meer of minder donker van kleur. De structuur is bijna altijd porfierisch, met eerstelingen van pyroxeen en hoornblende. De fijnkorrelige, compacte of glasachtige grondmassamassa bestaat uit plagioklaas, pyroxeen en foïde. De holten in tefriet bevatten vaak zeolieten, zoals uitvoerig is beschreven door onder andere Fricke (1971, 1988).

Leuciettefriet en verwante uitvloeiingsgesteenten, bijvoorbeeld leucietarme leuciettefriet en basaniet (waaronder limburgiet) vormen, samen met hun pyroklastica*, het grootste deel van de Kaiserstuhl. Vindplaatsen van de Kaiserstuhl zijn: Sasbach (Limberg, Eichert), Burkheim (Burgberg), Niederrotweil (Büchsenberg), Achkarren (Hochbuk), Ihringen (Fohberg), Silberbrunnen (Bergwald), Oberbergen (Birrisboden, Spielberg, Horberich). Ten noorden van de groeve te Lilienthal komt tefriet voor met 2 centimeter lange augietkristallen. Schelken (1990) maakt melding van tefriet met onder andere thomsoniet van de Totenkopf.

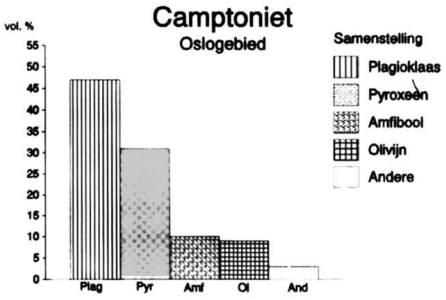
Basaniet
Basaniet bevat niet alleen meer dan 5% olivijn, maar ook een hoog percentage andere mafische* bestanddelen (M 40-70). Hierdoor is het is het donkergrijs tot zwart. Het heeft een porfierische structuur met een meestal kristallijne grondmassa. De talrijke holtes zijn vaak met zeolieten opgevuld. Tefriet en basaniet verweren gemakkelijk en worden dan bros en vlekkerig ('Sonnenbrenner'). Dit komt doordat in het omzettingsproduct analciem gemakkelijk water kan binnendringen.

Limburgiet
Limburgiet werd het eerst beschreven van de Kaiserstuhl en wel door Rosenbusch in 1872. Het is genoemd naar de vulkaan Limburg (of Limberg) bij Sasbach. Het is (volgens berekeningen) een porfierische *nefelienbasaniet* met glazige grondmassa en eerstelingen van titaanaugiet, olivijn en titanomagnetiet (Afb 10). Van Limburgiet van de Limberg wordt de samenstelling gegeven in afbeelding 11. De limburgiet wordt beschouwd als een van de jongste vulkanieten van de Kaiserstuhl. De onderste limburgietstroom van de Limberg bestaat uit grove basaltzuilen. In onverweerde toestand is het gesteente zwart. Met het blote oog zijn eerstelingen te zien van zwarte augiet en omgezette olivijn (bruin tot olijfkleurig). De limburgiet bevat holten met of zonder mineraalvulling. Aan de oppervlakte van de lavastroom is het gesteente lichtbruin door verwering, waardoor de eerstelingen mooier uitkomen. De limburgiet van de bovenste, blokkige lavastroom is in onverweerde toestand donker roodbruin, eveneens met eerstelingen en holten.

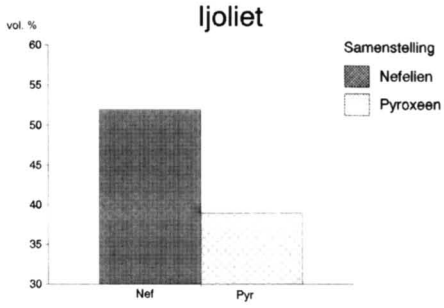
De vermelde website van de universiteit van Keulen toont, hoe limburgiet er door de polarisatiemicroscoop uitziet. De onderstaande beschrijving is hier ten dele op gebaseerd.
De lava koelde zo snel af dat deze niet volledig kon uitkristalliseren en gedeeltelijk stolde tot glas. De mineralen die wèl konden uitkristalliseren zijn de eerstelingen van olivijn, pyroxeen en titanomagnetiet. In de grondmassa bevinden zich ook kristalskeletten van titaanaugiet en wellicht ilmeniet.
Die mineralen konden niet volledig uitkristalliseren. Soms bevat het gesteente kleine kristallen van biotiet en barkevikiet. De rest stolde tot bruin, natriumrijk glas of verdampte. Indien de lava geheel had kunnen uitkristalliseren, zouden er veldspaten en foïden zijn gevormd in plaats van glas. De meeste olivijnen zijn idiomorf maar er zijn ook gecorrodeerde, xenomorfe* kristallen aanwezig.
Aan de buitenzijde is geel- tot roodbruine iddingsiet gevormd als hydrothermaal omzettingsprodukt.
Iddingsiet is geen afzonderlijk mineraal, maar bestaat uit een submicroscopisch mengsel van goethiet, kleimineralen, chloriet e.d. (Pichler & Schmitt-Riegraf 1987).

De pyroxenen zijn idiomorf en liggen georiënteerd volgens de stroomrichting. Onder de polarisatiemicroscoop vertonen de kristallen een uitgesproken zonaire bouw, waarbij de kern (indien de polars gekruist zijn) bestaat uit kleurloze diopsied en de buitenzone uit paarse tot purperen titaanaugiet. Elk kristal is opgebouwd uit een paar honderd fijne, ritmische laagjes. Er zijn kristallen met een inwendige structuur in de vorm van een zandloper als gevolg van snelle stolling. Het gesteente is serieel porfierisch voor wat de pyroxenen betreft, want de eerstelingen komen in alle formaten voor. Dit geldt ook voor de titanomagnetiet, die bovendien skeletachtig in de grondmassa is gegroeid. De fijne, zeer sterk verdeelde skeletten in de grondmassa zijn mogelijk van ilmeniet. Optisch zijn deze niet meer te determineren.

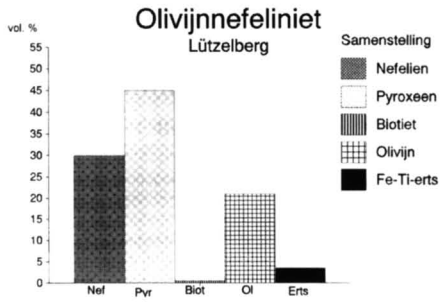
In het glas hebben zich gasbellen gevormd die holten in het gesteente hebben veroorzaakt. Hierin zijn restoplossingen binnengedrongen, waaruit mineralen zijn ontstaan. De alledaagse mineralen in de holten zijn kalkspaat (wit tot kleurloos-doorschijnend), phillipsiet (een suikerachtig laagje op de wanden) en opaal (als blauwgrijze bekleding van de wanden). Eén van de zeolieten is faujasiet ($Na_2Ca[Al_2Si_4O_{12}]_2$) (kleurloze octaëders, soms met aanloopkleuren of gekromde kristalvlakken, tot 3 mm groot). De limburgiet van de Kaiserstuhl is bekend om het voorkomen van dit zeldzame mineraal, dat het eerst van deze lokatie werd beschreven. Wie meer wil weten over de



Afb. 12. Mineraalinhoud van camptoniet. Naar gegevens van Wimmenauer 1985.



Afb. 13. Mineraalinhoud van ijoliet. Naar gegevens van Jubelt & Schreiter 1972.



Afb. 14. Mineraalinhoud van olivijnnefeliniet. Naar gegevens van Wimmenauer 1985.

zeolieten in limburgiet leze Hentschel (1976) en Marzi (1983).

In Nederland gevonden limburgiet kan als Rijngesteente afkomstig zijn uit het Zevengebergte of de Taunus en als noordelijke zwerfsteen uit Schonen (Zuid-Zweden) (Van der Lijn 1986).

Camptoniet
Camptoniet behoort tot de *lamprofieren*. Dit zijn mesokrate of melanokrate ganggesteenten die biotiet of flogopiet en eventueel amfibool bevatten, samen met pyroxeen, olivijn en soms meliliet in een grondmassa van veldspaten of foïden. Ze kunnen niet eenvoudigweg beschouwd worden als gangequivalenten van bekende dieptegesteenten. Die van de Kaiserstuhl behoren tot de *alkali-lamprofieren*. Deze zijn donkergrijs tot bijna zwart, met eerstelingen van olivijn en/of titaanaugiet en/of amfibool. Een typisch verschijnsel zijn de ocelli. Dit zijn tot centimeter-grote min of meer ronde plekken met veldspaten, nefelien, analciem, carbonaten, soms amfibool, zeolieten of zelfs glas, eventueel in combinatie. Mogelijk worden de ocelli veroorzaakt door ontmenging van gesmolten gesteente. Tevens kunnen deze lamprofieren insluitsels bevatten in de vorm van veldspaatkristallen en peridotiet.

Camptoniet is volgens Williams c.s. (1954) een variabel gesteente. Zo zijn er camptonieten met eerstelingen van barkevikiet, terwijl andere typen eerstelingen van olivijn, titaanaugiet en evt. labradoriet bevatten of eerstelingen van biotiet. De hoofdbestanddelen zijn titaanaugiet, amfibool (meestal barkevikiet of kaersutiet), biotiet of flogopiet (zelden) en plagioklaas (gewoonlijk andesien of labradoriet). Olivijn (met resorptieverschijnselen) is meestal aanwezig en kan voorkomen als eersteling of als xenokrist. Andere veel voorkomende mineralen zijn titanomagnetiet, nefelien, analciem, kaliveldspaat, apatiet en calciet. Van camptoniet uit het Oslogebied (M 53) wordt de samenstelling gegeven in afbeelding 12.

Monchiquiet komt overeen met camptoniet maar heeft een overwegend glazige grondmassa. Deze kan kristallen van nefelien of analciem bevatten.

1.5 alkalimagmatieten met veel foïden, zonder veldspaat.
Streckeisen-diagram: vak 15.

Foïdolieten
Deze dieptegesteenten bestaan in essentie uit foïden en mafieten*. *Ijoliet* is het equivalent van het uitvloeiingsgesteente nefeliniet. Het is een mesokratisch (M 30-70), grofkorrelig gesteente, dat bestaat uit nefelien en 30-70% pyroxeen (diopsied, aegirienaugiet of titaanaugiet) (Afb.13). Insluitsels van ijoliet en melaniet-ijoliet werden aangetroffen in carbonatiet op een diepte van 151-205 meter tijdens de onderzoeksboring in de steengroeve Badberg. *Melteigiet* is hieraan verwant, maar bevat meer pyroxeen. Het is een melanokrate (M 70-90), nefelienhoudende foïdoliet met een beetje biotiet, primaire calciet, cancriniet, melaniet en apatiet. Op dezelfde plaats werden ook hiervan insluitsels gevonden.

Foïdieten
Dit zijn de overeenkomstige uitvloeiingsgesteenten, waaronder olivijnnefeliniet. Olivijnnefeliniet is een melanokraat*, fijnkorrelig of porfierisch uitvloeiingsgesteente, samengesteld uit nefelien, pyroxeen en olivijn. Op de Lützelberg bevindt zich een minstens 50 meter dikke lavastroom van olivijnnefeliniet. Het basaltachtige, op de verse breuk zwartgrijze gesteente is afkomstig van de aardmantel (meer dan 50 km diep). De buitenzijde is door oxidatie van de ijzerhoudende mineralen meer of minder sterk rood gekleurd (Afb. 14).

1.6 Ultramafische gesteenten*
Peridotiet
Peridotiet is het voor meer dan 60% uit olivijn en verder uit pyroxeen en wat erts bestaand gesteente. Naar alle waarschijnlijkheid is de de aardmantel hieruit opgebouwd. In de vorm van 'olivijnnesten' zien we het in alkaliolivijnbasalt. Ook worden afzonderlijke 'olivijnknollen' als uitgeworpen materiaal gevonden tussen andere ejecta*, bijvoorbeeld rondom de maren in de Eifel. Onder de limburgiet van de Limberg bij Sasbach bevindt zich aan de westzijde olivijnnefeliniettuf en breccie daarvan. Fricke (1988) vermeldt dat hierin hazelnoot- tot hoofdgrote stenen worden gevonden met olivijn, chroomdiopsied en picotiet (chroomspinel). Dit zijn blijkbaar 'olivijnknollen' van *spinelperidotiet*. Matthes (1990) geeft in een diagram aan dat deze gevormd zijn in de buitenmantel op een diepte van 40 - 80 kilometer bij een temperatuur van 500 - 1500 °C en een druk van 7 - 25 kbar.

Pyroxeniet
Pyroxenieten zijn ultrabasische mantelgesteenten* die voor minstens 60% bestaan uit pyroxeen. De andere mineralen zijn in de eerste plaats olivijn, maar ook spinel, granaat, amfibool, biotiet, veldspaat en nefelien. Als aegirienaugiet of nefelien aanwezig is wordt de term *alkalipyroxeniet* gebruikt.

De fonoliet, carbonatiet en ledmoriet van de Kaiserstuhl bevatten veel xenolieten van onder andere (alkali)pyroxenieten. Het laatste bleek bij de onderzoeksboring in de steengroeve Badberg ten westen van Badloch (op een diepte van 15 - 205 m).

In olivijnnefeliniettuf en breccie daarvan van de Limberg werden brokjes enstatiet gevonden. Dit magnesiumhoudende pyroxeen is een bestanddeel van ultramafische gesteenten.

Melilietgesteenten
Dit zijn weliswaar alkaligesteenten, maar het alkaligehalte is over het algemeen laag. Extreem hoog is echter het gehalte aan mafieten (meliliet en carbonaten meegerekend). Als ze zeer weinig kiezelzuur bevatten zijn ze bijzonder rijk aan magnesium en calcium. Er bestaan overgangen met carbonatieten. Ze komen voor op plaatsen met een sterk explosief vulkanisme. Tot deze groep behoort *bergaliet,* dat wel als een lamprofier wordt beschouwd. Het is een zeldzaam ganggesteente, genoemd naar de typelokatie Oberbergen (Kaiserstuhl) door J. Söllner in 1913. Het heeft een porfierische structuur. De eerstelingen worden gevormd door meliliet, haüyn, biotiet en soms augiet. De dichte grondmassa bestaat uit nefelien, magnetiet, perovskiet, apatiet, calciet en soms ook glas.

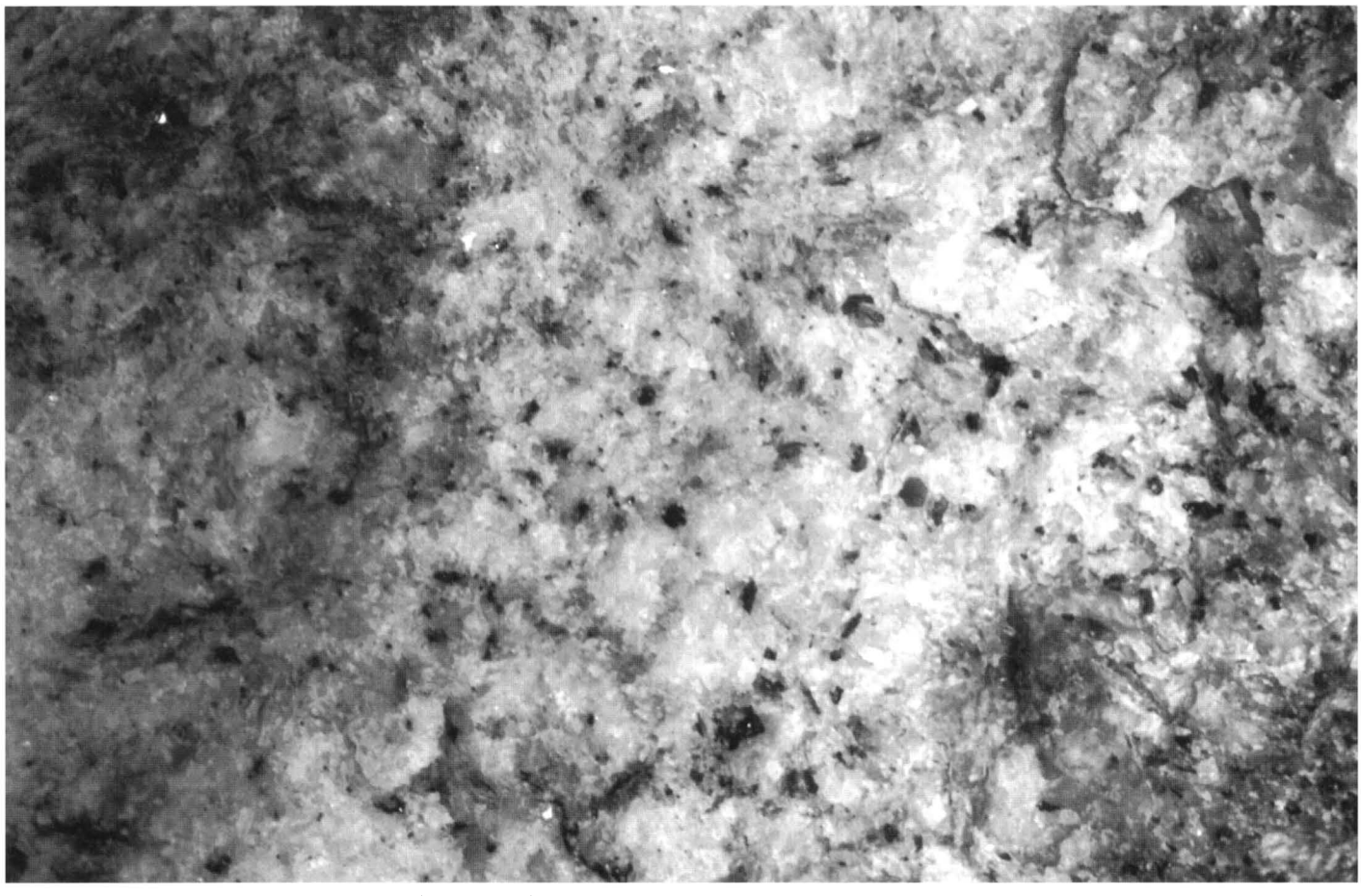
Carbonatieten
Carbonatieten zijn zeldzame stollingsgesteenten die als dieptegesteente, als ganggesteente èn als uitvloeiingsgesteente voorkomen. Ze bestaan voor meer dan de helft uit carbonaatmineralen. Het zijn volkristallijne, meestal grijswitte tot lichtgrijze gesteenten die gemakkelijk kunnen worden verward met marmer. Hoewel carbonaten meestal licht van kleur zijn, worden deze bij het classificeren van gesteenten tot de donkere mineralen (mafieten) gerekend.

Het centrale gedeelte van de Kaiserstuhl, bij Schelingen, bestaat uit carbonatiet. Hier bevindt zich een intrusie van 1 km^2. Deze carbonatiet hoort vrijwel steeds tot de *calcietcarbonatieten* omdat calciumcarbonaat het hoofdbestanddeel vormt. Toch is er ook *dolomietcarbonatiet* te vinden. Fijnkorrelige dolomitisch-ankeritische *beforsiet* komt namelijk als enkelvoudige of onregelmatig vertakte gangetjes voor in de omgeving van Schelingen (Wimmenauer, 1985).

De middel- tot grofkorrelige vorm van calcietcarbonatiet, *söviet,* komt in de Kaiserstuhl het meest voor; de fijnkorrelige vorm *alvikiet* werd te Badloch in enige centimeter- tot decimeterbrede gangen gevonden. Söviet van Schelingen is geelgrijs, met okerkleurige partijen door oxidatie van ijzerhoudende bestanddelen (Afb. 15). Het gesteente bestaat uit onregelmatig gevormde calcietkristallen van flinke afmetingen, waartussen aanmerkelijk kleinere kristallen van apatiet, magnetiet, groene zeshoekige blaadjes flogopiet en donkerrode octaëders van koppiet $(Na,Ca)_2(Nb,Ti,Ta)_2O_6(OH,F,O)$ (een vorm van pyrochloor).

Carbonatiet kan nog veel meer soorten mineralen bevatten dan de genoemde; er zijn al meer dan 200 bekend. Sommige zeldzame mineralen in carbonatiet zijn van economisch belang. Niobiumhoudende carbonatiet met een gehalte van gemiddeld 0,078 % niobium werd tot 1952 gewonnen in de Orberg bij Schelingen. Al voor de Tweede Wereldoorlog begon het chemie-concern IG-Farbenindustrie AG hier met de winning van koppietcarbonatiet als niobium-erts. Koppiet komt hierin voor als millimeter-grote donkerrode octaëders. Een ander niobiumhoudend mineraal, dat bovendien cerium bevat, is dysanaliet $(Ca, Ce, Y, Na)(Ti, Nb, Fe)O_3$. Dit werd hier het eerst gevonden, als 1-2 millimeter grote kubusjes (Fricke 1988).

Bij de boring in de steengroeve Badberg iets ten westen van Badloch werd van 0 - 151 meter midden- tot grofkorrelige carbonatiet aangetroffen en vijf fijnkorrelige carbonatietgangen met fluïdaaltextuur (0,07 - 0,70 m breed). Plaatselijk is de carbonatiet rijk aan glimmer en magnetiet. Op 151 - 205 meter werden 14 gangen



Afb. 15. Carbonatiet (söviet) van Schelingen (Kaiserstuhl). Breedte beeld 36 mm. Foto: P. Venema.

van carbonatiet en 13 middel- tot grofkorrelige lagen carbonatiet met veel mafische insluitsels (pyroxenieten, ijoliet, melaniet-ijoliet, melanietmelteigiet) ontdekt. Op 205 - 325 meter diepte bevonden zich ook gangen van carbonatiet. Deze was hier en daar rijk aan 'groene glimmer'. De söviet van Badloch bevat tevens insluitsels van kalksilicaatgesteenten omgeven door biotietzones. Op veel plaatsen is de carbonatiet verbrokkeld, waarna de brokken zijn aaneengekit tot een *subvulkanische breccie.*

2 Sedimenten

2.1 Pyroklastica

De vulkanische as en de soms heel grote stenen die tijdens uitbarstingen werden uitgeworpen worden hier niet nader beschreven omdat de samenstellende delen overeenkomen met de beschreven stollingsgesteenten.

2.2 Löss

Na de ijsbedekking in het Pleistoceen werden delen van Midden-Europa, waaronder de Kaiserstuhl, bedekt met löss. Löss is een heel fijnkorrelig klastisch sediment. Het bestaat uit korreltjes kwarts, veldspaat, calciet, glimmer en andere mineralen, die een grootte hebben van slechts 0,002 tot 0,063 millimeter. Dit materiaal werd getransporteerd door de wind. De löss-lagen hebben op de Kaiserstuhl soms een dikte van 40 meter. Von Dietrich (1783) zag de löss abusievelijk aan voor vulkanische as. In de löss ontstonden op sommige plaatsen concreties van kalk rondom wortels of stenen. Omdat deze vaak op poppetjes lijken worden ze wel 'lösspoppetjes' ('Lösskindl') genoemd.

3 Metamorfe gesteenten

3.1 Carbonaathoornrots

Waar hete intrusies in contact komen met het omringend gesteente ontstaan contactmetamorfe* gesteenten. Aan de oostzijde van de Kaiserstuhl, de Rüttekamm bij Eichstetten, is fonoliet of carbonatiet in aanraking gekomen met mergel van de Pechelbronner Schichten uit het Oligoceen. Door gedeeltelijke opsmelting, verkitting van losse korrels en de vorming van nieuwe mineralen ontstond uit de mergel carbonaathoornrots. De centimeterdikke lagen van het oorspronkelijke sediment zijn nog te zien. Door infiltratie van ijzerhydroxide langs de breuken is de steen plaatselijk bruin gekleurd. Het gesteente trok al omstreeks 1750 de aandacht van J.J. Reinhard, toen deze op zoek was naar marmer. Hij noemde het fantasievol 'landschappenjaspis'.

3.2 Kalksilicaatgesteenten

De söviet van Badloch bevatte onder andere insluitsels van kalksilicaatgesteenten met diopsied, andradiet, wollastoniet, haüyn, calciet en kaliveldspaat, omgeven door biotietzones. Ook deze worden beschouwd als contactmetamorfe gesteenten.

3.3 Feniet

Mineralen in een gesteente kunnen worden verdrongen door andere als gevolg van het binnendringen van magma of oplossingen. Dit proces heet metasomatose*. Bij een bepaalde vorm hiervan, fenitisatie, wordt de omzetting veroorzaakt door carbonatiet of alkaligesteenten. Het gesteente verandert hierdoor in feniet, een zeer variabel gesteente. De naam is afgeleid van het Fen-gebied in Zuid-Noorwegen. Door Van Wambeke werd in 1964 feniet onderzocht uit tuf van de Kaiserstuhl.

Literatuur

Baranyi, I., 1976. Ein Beitrag zur entwicklung der Carbonatitforschung. De Aufschluss 27 (3): 87-106.

Bergstøl, S. en S. Svinndal, 1960. The carbonatite and per-alkaline rocks of the Fen area. Petrology. In: Holtedahl, O. (ed.): Geology of Norway: 99-105. Norges Geologiske Undersøkelse nr. 208. Oslo (Aschehoug).

Duff, D., 1993. Holmes' Principles of physical geology, 4e druk, 791 pp. London etc. (Chapman & Hall).

Fricke, G., 1971. Die Zeolithe Chabasit und Philippsit in der essexitischen Gesteinsfamilie des Kaiserstuhls. Der Aufschluss 22 (6): 201-204.

Fricke, G., 1988. Der Kaiserstuhl und seine Minerale. Der Aufschluss 39 (2): 65-86.

Henningsen, D. & G. Katzung, 1992. Einführung in die Geologie Deutschlands. 4e druk, 228 pp. + 89 afb. Stuttgart (Enke Verlag).

Hentschel, G., 1976. Die Zeolithe im Limburgit von Sasbach/Kaiserstuhl. In: Der Aufschluss 27 (7/8): 285-288.

Jubelt, R. en P. Schreiter, 1972. Gesteinsbestimmungsbuch. 178 pp. Leipzig (VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie).

Lijn, P. van der, 1986. Het Keienboek. 7e druk, bewerkt door G.J. Boekschoten, 361 pp. Zutphen (Thieme).

Maresch, W., O. Medenbach & H.D. Trochim, 1987. 287 pp., Steinbachs Naturführer Gesteine, München (Mosaik Verlag).

Marzi, E., 1983. Die Mineralien des Fohberges bei Bötzingen (Oberschaffhausen) im Kaiserstuhl. Der Aufschluss 34 (5): 205-214.

Matthes, D., 1990. Mineralogie. 3e druk. 448 pp. Berlin etc. (Springer Verlag).

Mayer, G., 1971. Carl Christian Gmelins geologisch-mineralogische Reisen und Exkursionen. I. Kaiserstuhl. In: Der Aufschluss 22 (7/8): 264-267.

Mitchell, R.S., 1985. Dictionary of rocks. 228 pp. New York (Van Nostrand Reinhold Company).

Pannekoek, A.J. en L.M.J.U van Straaten (red.), 1982. Algemene Geologie. 3e druk. 598 pp. Groningen (Wolters-Noordhoff).

Pichler, H. en C. Schmitt-Riegraf, 1987. Gesteinsbildende Minerale im Dünnschliff. 230 pp. Stuttgart (Enke Verlag).

Rast, H., 1983. Vulkane und Vulkanismus. 2e druk, 230 pp. Stuttgart (Enke Verlag).

Schelken, E., 1990. Thomsonit-Fund am Kaiserstuhl. Der Aufschluss 41 (6): 353-356.

Sitter, L.U. de, 1956. Structural geology. 552 pp. New York etc. (McGraw-Hill).

Smith, D.G. (red.), 1983. Cambridge encyclopedie van de aardwetenschappen. 495 pp. Maastricht (Natuur en Techniek).

Walter, R. (ed.), 1995. Geologie von Mitteleuropa. 6e druk, 566 pp. Stuttgart (Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).

Wimmenauer, W., 1981. Die Gesteine des Kaiserstuhls im Wandel der wissenschaftlichen Anschauungen. Aufschluss 32 (9), 309-322.

Wimmenauer, W., 1985. Petrographie der magmatischen und metamorphen Gesteine. 382 pp. Stuttgart (Enke Verlag).

Websites

Limburgiet: Website universiteit Keulen: http://peridot.min.uni-koeln.de/reinersworld/polgestein/GP161.htm
Oldoinyo-Lengai: www.stlawu.edu/cnya:http/lenweb8.htm
Geologisches Lehrpfad: www.lehrpfad.de

Bijlage 1

Zure* en basische gesteenten

'Zuur' en 'basisch' zijn in de gesteentenkunde ingeburgerde, maar enigszins verwarrende begrippen. Hiermee wordt aangeduid of een gesteente rijk of arm is aan kiezelzuur. Kiezelzuur (SiO_2) komt niet alleen voor als kwarts, maar is een belangrijke bouwsteen van silicaten, waaronder veldspaten en foïden. Alleen als een gesteentesmelt oververzadigd is met kiezelzuur (dit zijn de zure gesteenten, zoals graniet), kan er vrije kwarts ontstaan. De intermediaire* gesteenten bevatten weliswaar kwarts, doch minder dan 10%. Als er onvoldoende kiezelzuur is om veldspaten te vormen (bij basische gesteenten), ontstaan er foïden, die daarom ook veldspaatvervangers of veldspatoïden genoemd worden. Foïden en kwarts gaan nooit samen. Ultrabasische gesteenten zijn uiterst arm aan kiezelzuur. Oververzadigde* gesteenten: veldspaat en vrije kwarts aanwezig. Verzadigde* gesteenten: veldspaat aanwezig maar zeer weinig of geen kwarts. Onderverzadigde* gesteenten: veldspaat en foïde(n) aanwezig, nooit kwarts.
Sterk onderverzadigde gesteenten: foïde(n) aanwezig, geen veldspaat en kwarts.

Donkere en lichte mineralen

Bij stollingsgesteenten rekent men kwarts, de veldspaten en de foïden tot de lichte mineralen. Alle overige worden donkere mineralen of mafieten* genoemd, ongeacht de kleur! Het percentage mafieten is de 'colour index' (M).
M < 35: leukokraat*
M 35-65: mesokraat*
M 65-90: melanokraat*
M > 90: ultramafisch*

Bijlage 2

Verklaring van enige termen

Alkaligesteenten: kalium- of natriumrijke, calcium-arme stollingsgesteenten met alkalimafieten en/of foïden.
Basische gesteenten: donker gekleurde, mafische gesteenten, arm aan kiezelzuur.
Contactmetamorfe gesteenten: gesteenten die door hoge temperatuur zijn omgevormd tijdens het contact met hete stollingsgesteenten.
Dieptegesteenten: magmatische gesteenten die zijn uitgekristalliseerd op grote diepte.
Eerstelingen (fenokristen): grote kristallen die eerder uitkristalliseerden dan de rest van de smelt.
Ejecta: door een vulkaan uitgeworpen materiaal.
Foïden (veldspatoïden of veldspaatvervangers): mineralen uit de groep der silicaten die verwant zijn aan veldspaten doch minder kiezelzuur bevatten.
Ganggesteenten: magmatische gesteenten uit min of meer verticale platen (gangen).
Hydrothermale vormingen: mineralen die zijn neergeslagen uit een hete waterige oplossing met een hoge concentratie zouten.
Hot spot: warmtegebied waarin magma wordt gevormd, gelegen boven een mantelpluim.
Idiomorfe kristallen: kristallen met een gave kristalvorm .
Intermediaire gesteenten: gesteenten, matig rijk aan kiezelzuur, met hoogstens 10% kwarts.
Intrusieve gesteenten: stollingsgesteenten, ontstaan uit in de aardkorst gedrongen magma.
Leukokraat gesteente: gesteente met minder dan 35% mafieten (M < 35).
Mafieten (mafische bestanddelen): (meestal) donker gekleurde mineralen welke niet behoren tot kwarts, veldspaten of foïden.
Magmatieten: stollingsgesteenten, ontstaan door stolling van magma of lava.
Mantelgesteenten: dieptegesteenten, ontstaan uit een magma afkomstig uit de aardmantel.
Mantelpluim: verticale, cilindrische structuur in de aardmantel die warmer is dan de omgeving en die vanuit de mantel oprijst naar de aardkorst. De straal ervan bedraagt circa 150 km.
Melanokraat gesteente: gesteente met 65 tot 90% mafieten (M 65-90).
Mesokraat gesteente: gesteente met 35 tot 65 % mafieten (M 35-65).
Metasomatische gesteenten: gesteenten waarvan mineralen zijn verdrongen door andere door binnengedrongen magma of hete oplossingen.
Onderverzadigde gesteenten: foïdhoudende gesteenten, onderverzadigd met kiezelzuur.
Oververzadigde gesteenten: kwartshoudende gesteenten, oververzadigd met kiezelzuur.
Porfier: stollingsgesteente met eerstelingen in een fijnkorrelige of glazige grondmassa.
Pyroklastica: uitgeworpen vulkanisch materiaal, zoals vulkanische as en stenen.
Subvulkanische gesteenten: ganggesteenten.
Tuf: afzettingsgesteente van verkitte vulkanische as.
Ultrabasische gesteenten: gesteenten die sterk zijn onderverzadigd met kiezelzuur.
Ultramafisch gesteente: gesteente met meer dan 90% mafieten (M > 90)
Verzadigde gesteenten: kwartsarme gesteenten, verzadigd met kiezelzuur.
Vulkanieten: uitvloeiingsgesteenten.
Xenokristen: afzonderlijke kristallen die als soortvreemd insluitsel voorkomen in stollingsgesteenten.
Xenolieten: gesteentebrokken die als soortvreemd insluitsel voorkomen in stollingsgesteenten.
Xenomorfe kristallen: kristallen van onregelmatige vorm.
Zeolieten: groep waterhoudende silicaten die vaak voorkomen in holten van lava's en tuffen.
Zure gesteenten: o.h.a. licht gekleurde gesteenten, rijk aan kiezelzuur.