

# De Vogezes

door C. Biermann  
Instituut voor Aardwetenschappen  
Vrije Universiteit, Amsterdam

## Inleiding

Iedereen, die tijdens zijn vakantieomzwervingen wel eens is neergestreken in de noordoosthoek van Frankrijk en het aangrenzende deel van Duitsland en Zwitserland, zal het zijn opgevallen dat het landschap hier een zeer gevarieerd reliëf heeft. Gebieden met een sterk reliëf worden dikwijls zeer plotseling onderbroken door vlakliggende depressies. In het noordoosten van het gebied, aangegeven op afb. F-1 bijvoorbeeld, vindt men het afgeronde berggebied van de Vogezes en het Zwarte Woud. Deze berggebieden worden van elkaar gescheiden door de langwerpige noord-zuid verlopende depressie van de Boven-Rijn. Een ander voorbeeld, meer naar het zuiden, vormt het sikkelvormige Juragebergte, met een regelmatig reliëf van lineaire bergruggen en parallelle dalen. Het Juragebergte ligt geïsoleerd. In het zuidoosten vormt de Zwitserse Laagvlakte de scheiding met het hooggebied van de Alpen; in het westen, tussen Dijon en Lyon, vormt de depressie van de Bresse de scheiding met de uitlopers van het Massif Central en de Morvan. Deze grote verschillen in reliëf en landschap zijn voor een belangrijk deel toe te schrijven aan de structuur van de aardkorst.

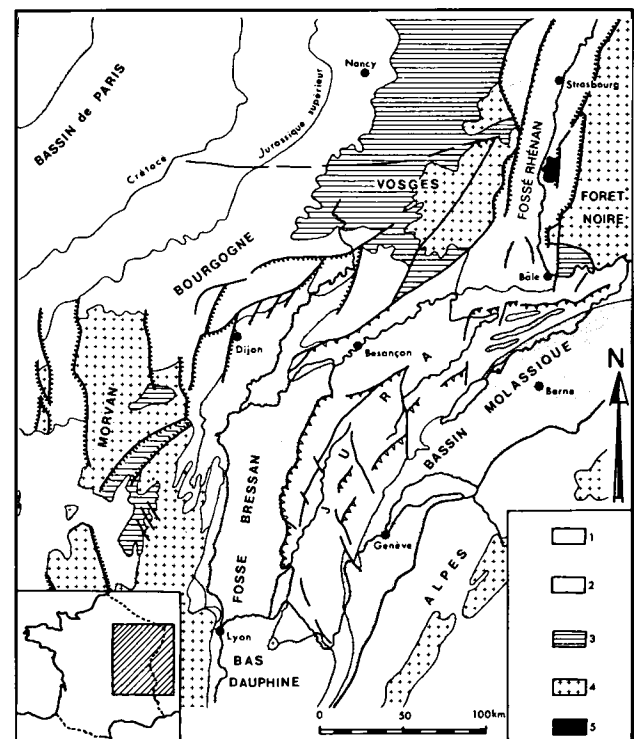
In grote lijnen is de opbouw van de korst in dit deel van West-Europa weergegeven in afb. F-1. Feitelijk is het gebied opgebouwd uit een aantal zeer grote structuren, die het resultaat zijn van grootschalige deformaties van de korst. Deze structuren zijn in verschillende perioden van de aardgeschiedenis gevormd en in sommige gevallen zijn jongere structuren gevormd over reeds bestaande oudere structuren heen. De oudste delen van de korst zijn ontsloten in de Vogezes, het Zwarte Woud, de Morvan en de uitlopers van het Massif Central. Hier treft men voornamelijk metamorfe Precambriëse en Paleozoïsche kristallijne gesteenten aan (schisten, gneisen, migmatieten). De Precambriëse gesteenten zijn sterk gedeformeerd en gemetamorfiseerd tijdens verschillende perioden van gebergtevorming. De oudste vond plaats op de grens van het Cambrium en het Precambrium. De gesteenten werden opnieuw gedeformeerd tijdens de Variscische periode van gebergtevorming in het Laat-Paleozoïcum. De Paleozoïsche gesteenten zijn alleen tijdens de Variscische orogenese beïnvloed. De kristallijne korst is tijdens het Paleozoïcum geïntroduceerd door granieten, die voor een deel zijn gedeformeerd tijdens de Variscische gebergtevorming, maar voor een deel ook dateren van na de Variscische orogenese.

Het Variscische gebergte, dat aan het einde van het Midden-Carboon voltooid was, werd tijdens het Perm grotendeels afgesletten tot een vlak gebied en vervolgens bedekt door Mesozoïsche en jongere sedimenten. Het vormt het grondgebied (of 'basement') in grote delen van West-Europa, veelal diep weggedoken en volledig bedekt door jongere gesteentelagen. De Mesozoïsche sedimenten hebben met name een grote dikte bereikt ten NW van de

Vogezes, in het Bekken van Parijs, waar zij ook in de latere perioden van de aardgeschiedenis nauwelijks zijn beïnvloed door deformatie.

Daarnaast werden tijdens het Mesozoïcum sedimenten afgezet in het Alpine sedimentatiegebied. Dit gebied vormde in feite de zuidelijke shelf en de continentrand van de Europese plaat. Deze sedimenten zijn sterk gedeformeerd tijdens de Alpine gebergtevorming, die het gevolg was van de botsing van de Europese plaat met een zuidelijke (Adriatische) plaat. De deformatie, die het gevolg was van deze botsing, vond plaats in de periode van het Oligoceen tot het einde van het Mioceen. De sterk gedeformeerde Mesozoïsche sedimenten zijn thans terug te vinden in de dekbladen van de Helvetische Alpen van Zwitserland en de Zone Dauphinoise in de Franse Alpen en in de plooistructuren van het Juragebergte.

De jongste structuren in dit deel van de Europese korst zijn de langwerpige depressies van de Zwitserse laagvlakte (Molasse Bekken), de Boven-Rijn en de Bresse. Deze structuren zijn gevormd vanaf het Eo/Oligoceen en bevatten enorme pakketten Tertiaire en Kwartaire sedimenten. Het Molasse Bekken is het voorlandbekken van de Alpen en is gevormd door neerwaartse uitbuiging van de lithosfeer onder het gewicht van de enorme dekbladstapel in de Alpen zelf. Dit bekken is tijdens zijn daling



Afb. F-1. De grote structurele eenheden in het oosten van Frankrijk (naar Fluck, 1979). (1) Tertiaire en Kwartaire bekkens, (2) Mesozoïsche bedekking, (3) Permische bekkens en Triadische afzettingen, (4) Kristallijn basement, (5) Kaiserstuhl-vulkanisme.

voor een groot deel opgevuld met afbraakprodukten van de Alpen. De depressies van de Boven-Rijn en de Bresse zijn slenken ('rifts' of 'graben-structuren'). Deze zijn ontstaan als gevolg van laterale uitrekking van de aardkorst, loodrecht op de lengterichting van de slenk. Hierdoor is het centrale deel - de slenk - gedaald langs breuken, terwijl tegelijkertijd de randgebieden van de slenk (de horsten) werden opgeheven.

De Boven-Rijnslenk is een prachtig voorbeeld van een dergelijke structuur. In de slenk zelf is het Variscische basement met zijn Mesozoïsche bedekking diep weggezonden. Tijdens de daling is de slenk opgevuld met Tertiaire en Kwartaire sedimenten. Gelijktijdig met de daling van de slenk werden de horsten - de Vogezes en het Zwarte Woud - opgeheven. Door erosie van de bedekkende series kwam hier het Variscische grondgebergte opnieuw aan de oppervlakte. We zien hier dus een voorbeeld van een oud stuk Variscische continentale korst, dat tijdens een veel jongere Tertiaire fase van tektoniek door opheffing en erosie opnieuw een gebergte vormt.

## De Variscische gebergtevorming

De Variscische (Hercynische) gebergtevorming vond plaats in het Boven-Paleozoïcum. Gedurende deze periode ondergingen grote delen van de korst van Centraal-, West- en Zuid-Europa sterke deformatie en metamorfose. Het gebied in Centraal- en West-Europa waar deze gebergtevorming zich afspeelde, wordt in het noorden begrensd door het Precambrië Schild van Fennosarmatia en de aangrenzende Caledonische ketens van West-Scandinavië en Groot-Britannië en in het oosten door het oude stabiele platform van de Russische Tafel. In Zuid-Europa is een reconstructie van de oorspronkelijke Variscische structuur veel moeilijker. De Variscische continentale korst is hier opnieuw gedeformeerd tijdens de Alpine orogenese. Buiten Europa is het Variscisch gebergte ontsloten in NW-Afrika (Mauretanië en Marokko) en in de zuidoostelijke Verenigde Staten (zuidelijke Appalachen-Allegheny-gebergte).

Het Variscisch gebergte in Europa vormt niet, zoals bijvoorbeeld de Alpen of de Caledoniden, een doorlopend ontsloten keten. Het komt aan de dag in min of meer geïsoleerde gebieden in o.m. het Boheems Massief, Saksen, Thüringen, Odenwald, Spessart, Rijnleisteengebergte, Ardennen, Vogezes, Zwarte Woud, Massif Central, Montagne Noire, Armoricaans Massief, delen van de Pyreneeën en delen van het Iberisch Schiereiland. De gesteenten die tijdens de Variscische gebergtevorming zijn

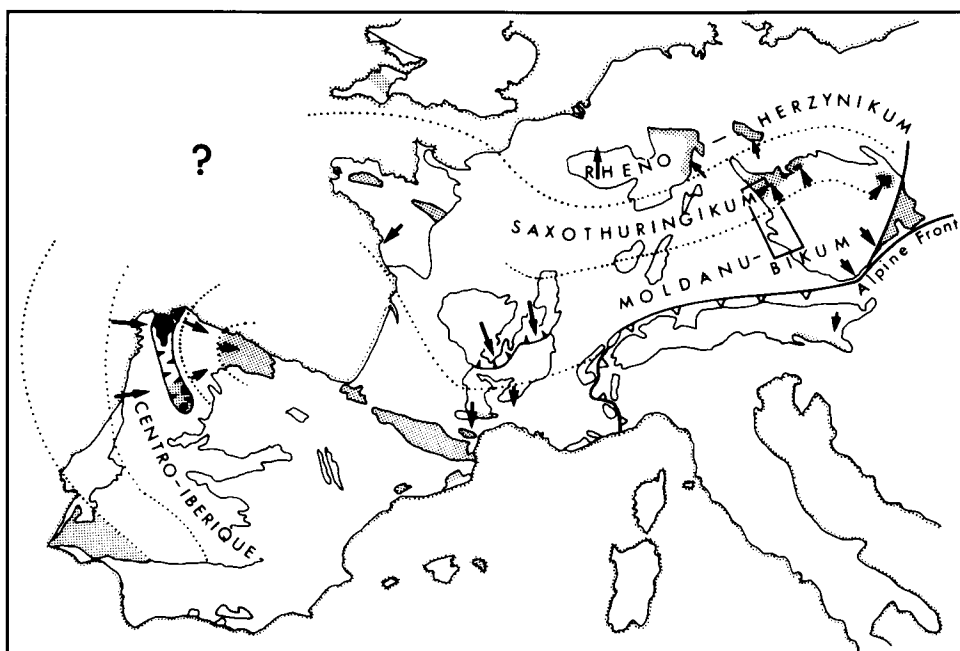
beïnvloed zijn in de eerste plaats een belangrijke serie Paleozoïsche sedimenten. Deze sedimenten zijn in veel gebieden afgezet op zeer oude kristallijne continentale korst. Deze kristallijne korst is gevormd tijdens de Cadomische orogenese, die plaats vond op de grens van het Precambrium en het Cambrium. Ouderdomsbepalingen van deze gesteenten variëren tussen de 550 en 650 miljoen jaar. Lokaal bevat deze oude continentale korst overigens nog veel oudere elementen - o.a. in het Armoricaans Massief - met ouderdommen variërend van 3400 - 800 miljoen jaar.

In belangrijke delen van Centraal-Europa zijn tijdens het Paleozoïcum granitische gesteenten in de korst geïntroduceerd. De maximale magmatische activiteit vond plaats in het Boven-Ordovicium - Onder-Siluur. Al deze verschillende gesteenten, deels kristallijne continentale korst van variabele ouderdom, deels de op die korst afgezette Paleozoïsche sedimentpakketten, zijn gedeformeerd en gemetamorfiseerd tijdens de Variscische gebergtevorming. Tijdens die gebergtevorming en ook nadat de orogenese grotendeels voltooid was intrudeerden opnieuw granitische gesteenten in de korst. Dit zijn de syn- en post-Variscische granieten.

Het Variscisch gebergte in Centraal- en West-Europa is onderverdeeld in drie min of meer WSW-ENE verlopende parallelle zones (afb. F-2). Deze onderverdeling is gebaseerd op verschillen in de Paleozoïsche sedimentatiegeschiedenis. Ze is in principe al in 1928 door Kosmatt opgesteld. Daarnaast tonen de onderscheiden zones ook verschillen in de deformatiestijl en metamorfose tijdens de Variscische orogenese.

Zo onderscheidt men in de eerste plaats de *Moldanubische Zone*. Deze omvat het zuidelijke deel van het Boheems Massief, het zuidelijke Zwarte Woud, de zuidelijke Vogezes, het Massif Central en het Armoricaans Massief. De Moldanubische Zone bestaat voor het grootste deel uit Cadomisch kristallijn basement en ontwikkelde zich tijdens het Paleozoïcum niet opnieuw tot een belangrijk sedimentatiebekken. Binnen deze zone zijn veel Variscische granietintrusies en daarmee gekoppelde metamorfose; de Variscische deformatie daarentegen is betrekkelijk gering.

Ten noorden daarvan vindt men de *Saxothuringische Zone*. Deze omvat het noordelijke deel van het Boheems Massief, Zwarte Woud en Vogezes, Saksen, Thüringen, Spessart en Odenwald. De Saxothuringische Zone heeft een Cadomisch basement en werd wel een belangrijk sedimentatiegebied tijdens het Paleozoïcum. De zone wordt daarnaast gekenmerkt door een sterke Variscische deformatie, metamorfose en magmatische activiteit.



Afb. F-2. De onderverdeling van het Variscisch gebergte in Europa en de belangrijkste ontsluitingsgebieden. Met de pijlen is de bewegingsrichting van kleine dekbladen aangegeven. Gestippeld zijn belangrijke bekken met klastische sedimenten, die tijdens de Variscische orogenese ontstonden. (Behr, H., W. Engel en W. Franke, 1980)

De *Rhenohercynische Zone* vindt men in de Harz, het Rijnleisteengebergte, de zuidelijke Ardennen, Cornwall en Devonshire. Dit domein heeft een sterke Paleozoïsche sedimentatie, met name tijdens het Devoon en Carboon. In Cornwall en Devonshire, Zuid-Wales en in delen van de Ardennen (o.a. Massief van Stavelot en Massief van Rocroi) is het oudere deel van deze Paleozoïsche serie geplooid en gemetamorfiseerd tijdens de Caledonische orogenese aan het einde van het Siluur. De deformatie wordt gekenmerkt door betrekkelijk eenvoudige, naar het NW gerichte plooistructuren en kleine overschuivingen. De gesteenten zijn laaggradig gemetamorfiseerd met een afnemende metamorfosegraad naar het NW. In het noordelijke deel van de Rhenohercynische Zone zijn de gesteenten niet metamorf en ongeplooid tot het Westfalen. Kenmerkend zijn koolbekkens, die in principe in het Carboon zijn aangelegd door het afsterven van moerassige vegetatie.

Er blijken belangrijke verschillen te bestaan in de stijl van deformatie en de kenmerken van de metamorfose tussen het interne deel van het Variscisch gebergte, ingenomen door de Moldanubische en Saxothüringische Zone en de extern gelegen Rhenohercynische Zone. De Interne Zone wordt gevormd door metamorfe blokken, deels met ouder gereactiveerd Cadomisch en ouder basement. De structuur in deze gebieden wordt met name gevormd door anticlinale open structuren, waarin gemetamorfiseerde Paleozoïsche sedimenten de bedekking vormen van orthogneis basementkernen ('mantled gneis domes'). De gesteenten zijn dikwijls in verschillende perioden gedeformeerd, waarbij verschillende deformatiefasen zijn te onderscheiden. Dekbladstructuren, waarin ook basement is opgenomen, zijn bekend uit onder andere het Massif Central en het Boheemse Massief. Ook de metamorfose kent verschillende episoden. In verschillende gebieden is een episode van metamorfose herkend, waarbij het gesteente is gerekristalliseerd onder intermediaire tot hoge drukken. Deze metamorfose gaat vooraf aan de karakteristieke Variscische hoge temperatuur/lage druk metamorfose, die wordt gekenmerkt door hoge geothermische gradiënten, variërend van 40-60 °C per kilometer (en lokaal zelfs oplopend tot 100 °C per kilometer). Deze Variscische metamorfose is gekoppeld aan een zeer sterke granitische magmatische activiteit.

Aan de noordelijke, externe kant van deze metamorfe kern van het Variscisch gebergte vindt men de laaggradige terreinen van de Rhenohercynische Zone. De deformatie in de Rhenohercynische Zone wordt gekenmerkt door relatief eenvoudige plooiing. De plooien zijn asymmetrisch en vormen naar het noorden gerichte overkniepte anticlinalen. Met name in het zuidelijke deel van de Rhenohercynische Zone is de plooiing veelal geassocieerd met naar het noorden gerichte opschuivingen en kleinschalige dekbladstructuren met verplaatsingen in de orde van 20-40 km. Het begin van de deformatie en de metamorfose in de Rhenohercynische Zone valt samen met de laat-Midden-Carbonische gebergtevorming in de metamorfe interne zone. De intensiteit van de deformatie en de temperaturen waaronder de metamorfose in de Rhenohercynische Zone plaats vond, nemen naar het noorden af.

## De Variscische structuur van de Vogezen

De kenmerkende structuur van de Interne Zone van het Variscisch gebergte vindt men ook terug in de Vogezen. Ook de Vogezen vormen een 'mantled gneis dome', met een anticlinale mantel van gemetamorfiseerde Paleozoïsche sedimenten rond een kern van Cadomische en oudere gneisen. Dit geheel wordt doorsneden door syn- tot post-Variscische granitische intrusies. Het noordelijke domein behoort tot de Saxothüringische Zone; de Midden-Vogezen en de zuidelijke Vogezen behoren tot de Moldanubische Zone. Een belangrijke Variscische breuk - l'accident de Lalaye-Lubine - vormt de scheiding tussen de twee domeinen.

De Variscische structuur in de noordelijke Vogezen wordt gekenmerkt door WSW-ENE verlopende lithologische eenheden (afb. F-3). De oudste gesteenten in de kern van de gneis-dome wor-

den gevormd door Precambrische dioritische gneisen van de Série du Climont en de laaggradige Schistes de Villé, die bij het contact met de Série du Climont overgaan naar granaat-micaschisten. Ten noorden van deze band vindt men de Paleozoïsche 'Schistes de Steige'. Deze hebben een ouderdom Ordovicium/Siluur en tonen contactmetamorfose rond granieten van Andlau en Hohwald. Ten noorden van de Schistes de Steige wordt het basement van de noordelijke Vogezen gevormd door de plutonische gesteenten van het Massief van Champ du Feu. Deze gesteenten vormen een zuidelijke band met diorieten en granodiorieten en een noordelijke band met granieten, die van elkaar worden gescheiden door 'La bande médiane'. Dit zijn niet-gedaateerde tuffen en in mindere mate lava's. De Variscische WSW-ENE trend van deze lithologische eenheden wordt doorsneden door laat-Variscische albit-granieten en geassocieerde rhyolieten van Kagenfels.

Aan de noordzijde van dit plutonische complex vindt men de Série de la Bruche et du Rabodeau. Dit zijn in essentie Devonische schisten en grauwackes, maar omvatten ook Onder-Carbonische series in een synclinaal geplooid structuren. In de meta-sedimenten van de Série de la Bruche zijn de vulkanische massieven van Schirmeck en van Moyemoutier (Midden-Devoon) opgenomen, die bestaan uit keratofieren, doorsneden door doleriet-sills en diabazen. Het grondgebergte in de noordelijke Vogezen wordt discordant bedekt door Perm.

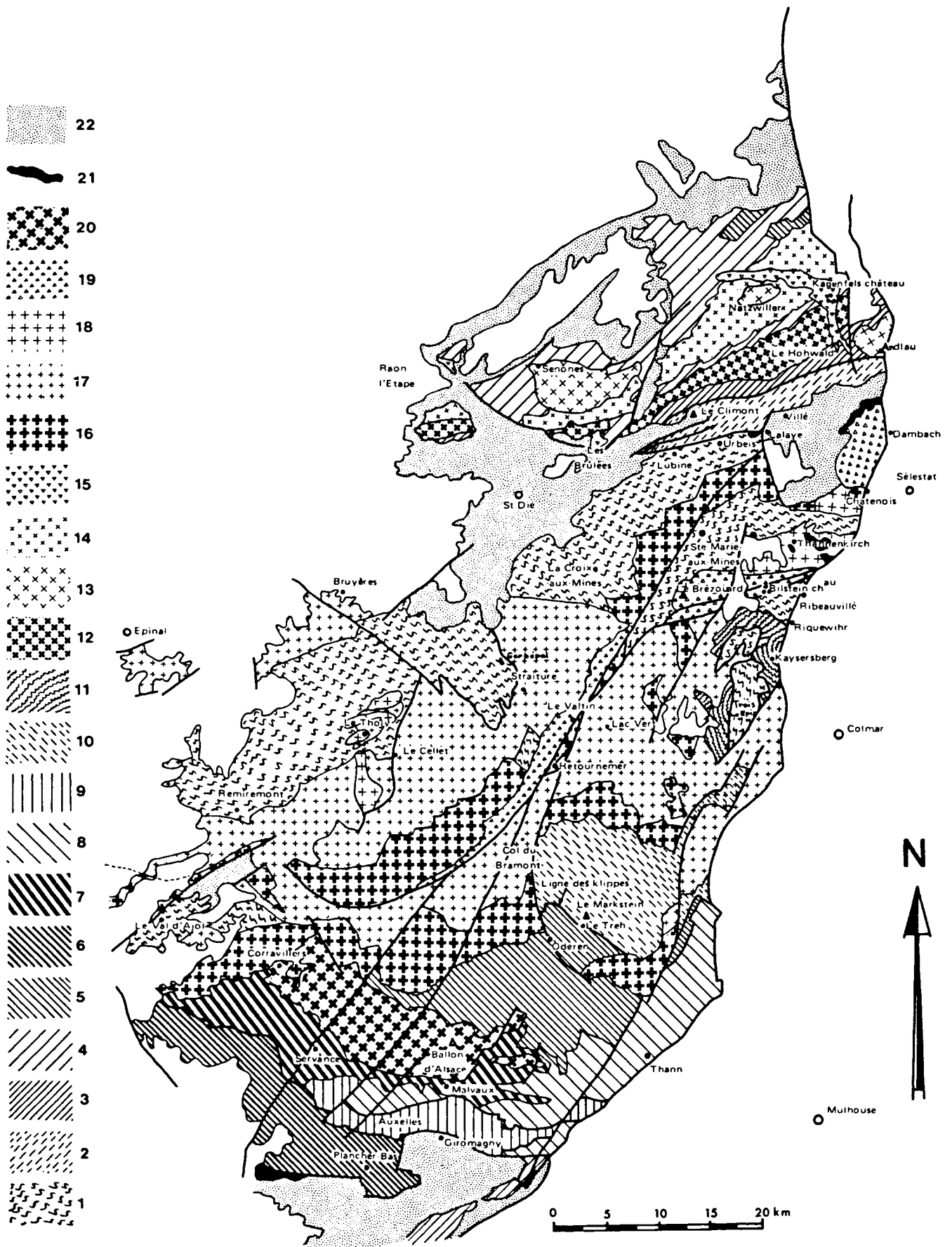
De oudste gesteenten in de Midden-Vogezen treft men aan in de Precambrische gneis- en migmatietterreinen van La Croix-aux-Mines, Urbeis, Sainte-Marie-aux-Mines, Ribeaupillé/Riquewih, Val d'Ajol, Remiremont en Gérardmer (afb. F-3). Bij Sainte-Marie-aux-Mines is de meest complete opeenvolging beschreven met onderin amfibolieten en serpentinieten, en daarop verschillende typen granaat- en sillimaniethoudende gneisen met inschakelingen van kristallijne carbonaatgesteenten, amfiboliet-niveaus, pyroxeenhoudende gneisen, kwartsietgneisen en leptynieten (rhyolieten) (zie excursie) De gesteenten hebben een hoge druk/hoge temperatuur-metamorfose ondergaan, vermoedelijk van Silurische ouderdom, gevolgd door een Variscische lage druk/hoge temperatuur-metamorfose. Tevens zijn binnen de serie van Sainte-Marie-aux-Mines oude granulieten bewaard gebleven in de migmatieten van Gerbépal en Trois Epis.

Het Precambrische gneisterrein vormt de ondergrond van Paleozoïsche sedimenten, die weer voorkomen in de Zuid-Vogezen. De oudste sedimenten zijn gedateerd Devoon. Het zijn schisten en fossielhoudende kalken, maar hun uitbreiding is beperkt. Gesteenten uit het Onder-Carboon zijn voornamelijk schisten en grauwackes met lava- en tuf-inschakelingen. Zij zijn aanwezig tussen de Markstein en de Ballon d'Alsace (Série d'Oderen), in de serie van Plancher-Bas, de serie van Malvaux, met voornamelijk vulkanieten, de serie van Giromagny, de serie van Thann en de serie van Markstein. (zie voor lokaties afb. F-3).

Dit oude gneisterrein met zijn metamorfe Paleozoïsche bedekking is tijdens het laat-Viséen/Namurien geïntroduceerd door verschillende typen Variscische granieten, die thans het grootste deel van de Midden-Vogezen opbouwen. De Granite des Crêtes is een amfiboolhoudende variant met biotiet en relictten van pyroxeen. Zij heeft in de korst plaatsgenomen langs de breuk van Sainte-Marie-aux-Mines naar Retournemer. Er bestaan geleidelijke overgangen naar anatexitische (partieel opgesmolten) granieten, die grote delen van de Midden-Vogezen beslaan en die bestaan uit cordiëriethoudende tweeglimmer-granieten. Voorbeelden zijn de graniet van Remiremont, Ventron, Lac Vert, l'Altenberg, Sattel en de Furch. Grove leucogranieten komen voor in de Granite du Valtin, du Brézouard et du Bilstein.

In een aantal lokaties hebben Devono-Carbonische sedimenten contactmetamorfose ondergaan rond Variscische granietintrusies. Meer naar het noorden neemt de hoge temperatuur-metamorfose toe tot partiële smelt (anatexis) optreedt in de migmatieten van Kaysersberg.

Bijna volledig omzoomd door Onder-Carbonische gesteenten bevindt zich in het zuiden van de Vogezen het intrusieve massief



Afb. F-3. Vereenvoudigde geologische kaart van de Variscische Vogezen (Fluck, 1979).

1: Gneis en migmatieten; 2: Serie van Villé en schubben van de Climont; 3: Schistes de Steige; 4: Devoon van de Noord-Vogezen en van de Belfortais; 5: Serie van Oderen en Viséen van de Bruche; 6: Serie van Plancher-Bas; 7: Serie van Malvaux; 8: Serie van Thann; 9: Serie van Giromagny; 10: Serie van de Markstein; 11: Migmatieten van Kaysersberg; 12: Groep van de granodiorieten (Noord-Vogezen); 13: Late granieten (Noord-Vogezen); 14: Groep van de granieten (Noord-Vogezen); 15: Graniet van de Kagenfels; 16: Graniet van de Crêtes; 17: Anatexitische granieten; 18: Granieten met megakristen; 19: Grove leucogranieten; 20: Plutoon van de Ballons; 21: Carboon; 22: Perm

van de Ballon d'Alsace. De kern van dit massief bestaat uit een grote granietintrusie met een E-W as. Zij wordt omringd door een meer basische randfaciës van diorieten en gabbro's. De Onder-Carbonische sedimenten in dit gebied zijn als gevolg van de hoge temperatuur van de granietintrusie gemetamorfiseerd.

## Historische mijnbouw in de Centrale Vogezen

In de oude Precambrische/Paleozoïsche gneiskern van de Vogezen zijn zeer veel gemineraliseerde gangen aanwezig, die de basis vormen van de historische ertsmijnbouw in dit gebied. In de Noord-Vogezen zijn belangrijke ertswinningsgebieden aanwezig in o.a. de storingszone van Lalaye-Lubine (koper, lood, zink, arseen, zilver en goud). De rijkste ertsgebieden vond men echter in de gneismassieven in de Centrale Vogezen en dan met name bij La Croix-aux-Mines en bij Sainte-Marie-aux-Mines. Bij Sainte-Marie-aux-Mines zijn 25 belangrijke gangen aanwezig waar o.a. koper, zilver, arseen, lood, zink, kobalt en nikkel werd gewonnen. Historisch gezien is dit het oudste zilverdistrict van Frankrijk. Reeds in documenten uit de 9<sup>e</sup> eeuw wordt melding gemaakt van ertsmijnbouw in dit gebied.

De grote bloeitijd van de ertsmijnbouw bij Sainte-Marie-aux-Mines dateert uit de 16<sup>e</sup> eeuw. De mijnbouw bracht grote werkgelegenheid en, hoewel vermoedelijk niet voor iedereen, grote welvaart in de streek. In 1545 bijvoorbeeld waren er in dit gebied 3000 mijnwerkers aan de slag in 600 mijnen met in totaal 150 km galerijen. Daarnaast waren er 12 smelterijen, die dag en nacht in bedrijf waren; de jaarproductie aan zilver bedroeg 3,5 ton.

Aan het einde van de eeuw moest men steeds diepere schachten aanleggen, tot een diepte van 280 m onder het niveau van het dal. De kosten van ertswinning liepen daardoor steeds hoger op en de inkomsten verminderden, ook doordat de zilverprijs daalde. De rijkste aders waren toen echter reeds uitgeput en men moest zich in toenemende mate tevreden stellen met de diepere en minder rijke voorkomens. Een en ander resulteerde in een afname van de werkgelegenheid. Omstreeks 1635 veroorzaakte de Dertigjarige Oorlog uiteindelijk de totale ondergang van de mijnbouwactiviteit.

Aan het begin van de 18<sup>e</sup> eeuw veroorzaakte de ontdekking van kobalt bij Sainte-Marie-aux-Mines en de vestiging van een kobalt-glasnijverheid een opleving in de streek, zonder dat echter ooit het welvaartsniveau van de vorige periode werd bereikt. Deze periode duurde, met goede en slechte tijden, ongeveer tot de Franse Revolutie. De aandacht ging overigens opnieuw voornamelijk uit naar zilver, koper en lood en regelmatig werden er nieuwe vindplaatsen ontdekt. De grote ader van La Croix-aux-Mines produceerde in deze tijd tot 2 ton zilver per jaar. Omstreeks 1760 maakte een serie ernstige ongelukken echter ook hier een plotseiling einde aan de hervonden welvaart.

In de 19<sup>e</sup> eeuw was de ertsmijnbouw in de Vogezen met name geconcentreerd op de ijzerwinning in de Valle de Bruche en de Valle de Thur. Tegelijkertijd verkeerde de mijnbouw naar andere metalen in een crisis. Mijnbouwmaatschappijen verkwisten kapitalen aan het leegpompen en herstellen van de oude mijnen, maar kwamen nooit tot een rendabele exploitatie. Dit was ook het geval in Sainte-Marie-aux-Mines en in La Croix-aux-Mines. Ondanks grote investeringen in Sainte-Marie-aux-Mines, waar aan het begin van deze eeuw nog 630 mensen in de mijnen werkten, werden de verwachtingen nooit meer gerealiseerd.

## Excursie ten zuiden van Sainte-Marie-aux-Mines

De hier beschreven excursie is een vertaling uit de 'Guides géologiques régionaux', deel Vosges/Alsace door J.-P. von Eller; uitgever Masson, Parijs, 1976. De excursieroute doorkruist het gneisterrein ten zuiden van Sainte-Marie-aux-Mines en maakt voor een belangrijk deel gebruik van boswegen. In de gids wordt ervoor gewaarschuwd dat de wegen niet altijd goed voor auto's berijdbaar zijn. Als de route niet doorgaand berijdbaar is moet men wellicht sommige ontsluitingen vanuit Fertrup/Bourgonde benaderen en sommige ontsluitingen vanuit Saint-Pierre-sur-l'Hâte. Men kan natuurlijk ook voor een deel plezierig wandelen. Een goede

topografische kaart, schaal 1:50.000, is noodzakelijk, bijvoorbeeld de Carte des Vosges, kaartblad Colmar-Munster-Gerardmer-St-Dié. Deze is in de streek verkrijgbaar. De positie van de ontsluitingen is aangegeven in afb. F-4. In het gebied zijn veel oude mijnen. Kijk daarmee uit. Een gewaarschuwd mens telt voor twee!

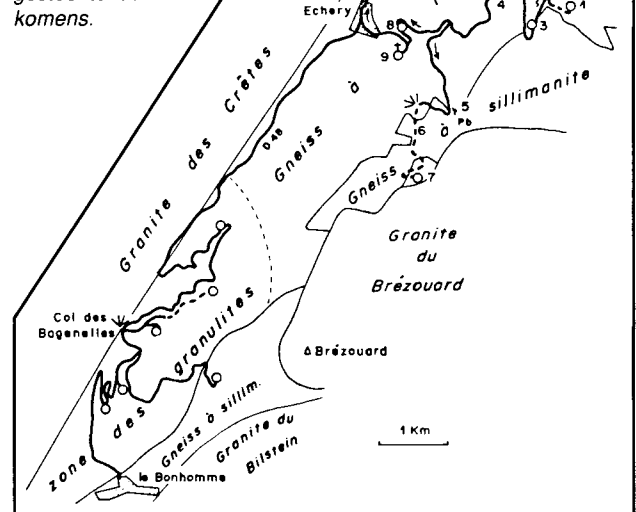
We verlaten Sainte-Marie-aux-Mines via de N 416 richting Ribeauvillé en rijden door Fertrup, het centrum van ertsmijnactiviteit gedurende het gehele eerste deel van de 16<sup>e</sup> eeuw. We verlaten de hoofdweg en slaan rechtsaf in bij de eerste haarspeldbocht en volgen de weg langs de beek stroomopwaarts. Na 900 m slaan we linksaf bij de hoogte met de schilderachtige huisjes van La Bourgonde en gaan in het Langthol omhoog. Laat de auto staan in de eerste splitsing naar rechts, bij een kleine brug. Vervolg te voet de zeer steile hoofdweg door het bos nog 200 m. Iets na een scherpe bocht naar links komt men bij een belangrijke ontsluiting van granaathoudende gneisen en fijnkorrelige amfibolietbanken (1). Deze gesteenten horen tot het gneiscomplex dat de Proterozoïsche kern vormt van de manteld gneis dome van de Vogezen. De structuur van de gneis is 'gepareld'; de plagioklaas is bolvormig; de biotiet is veelvuldig gechloritiseerd.

We keren hierna terug naar La Bourgonde en vervolgen het hoofddal. Na ca. 80 m ziet men rechts aan de oever van de beek de ingang van een oude kobaltmijn (2).

We vervolgen nu de reeds vrij steile weg en stoppen waar een horizontaal verlopende weg naar links naar de top met een kleine weide loopt. Ga te voet 60 m terug en zoek aan de zoom aan de oever aan de overzijde het begin van een voetpad (moeilijk zichtbaar), dat door het bos gaat. Ga dit bochtige pad omhoog. Na de tweede bocht naar links vervolgen we horizontaal naar links en komen na enkele tientallen meters bij een zone met zeer veel ontsluitingen van opvallende amfibolieten en amfiboolgneisen, voornamelijk opgebouwd uit groene hoornblende en plagioklaas (3). De gesteenten zijn vulkanisch of vulkano-sedimentair (tuffen) en zijn tijdens de metamorfose deels gemigmatiseerd (partieel opgesmolten).

Keer terug naar de auto. De weg maakt nu een bocht in de vloer van het dal en gaat daarna weer omhoog naar de boerderijen van La Suscité. Vervolgens bereikt de weg een pas (614 m) met een fraai uitzicht op het hoogliggende dal van de Lièpvrette. Na de

Afb. F-4. Excursieroute en ontsluitingen ten zuiden van Sainte-Marie-aux-Mines (J.-P. von Eller, 1976). De D 48 vanaf Echery naar Le Bonhomme leidt langs verdere interessante gesteentevorkomens.

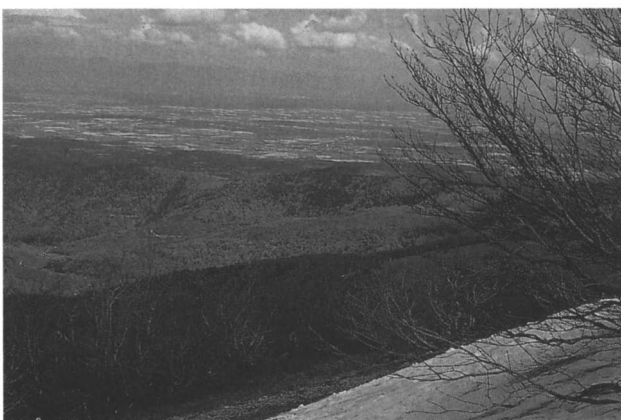


pas daalt de weg langs de helling ten westen van de Altenberg. Iets verder komt men in een scherpe bocht naar links. Hier neemt men de horizontaal verlopende weg (merk op: lager gelegen een groot aantal storthopen van oude mijnen; Travaux des Trois Rois; galeniet, sideriet, limoniet) en parkeer ca. 100 m verder in een verbreding van de weg aan de voet van een ophoging van de kalkgroeve van Saint-Philippe (4).

Deze groeve die thans bedekt is door vegetatie was nog aan het begin van deze eeuw een van de belangrijke ontsluitingen van de petrografie en de mineralogie. Hier zijn meer dan 20 verschillende, met kalk geassocieerde mineralen beschreven. In de rechterwand ziet men banken kristallijne kalksteen (cipolin), dikwijls met lichtgekleurde phlogopiet en geserpentiniseerde forsteriet. De marmerebanken wisselen af met gneisen, die centimeters grote granaten bevatten. Tevens zijn enkele amfibolietbanken aanwezig. Minder voorkomend zijn grafiet-houdende marmers en kwarts/ diopsied-marmers. In enkele pegmatietaders kan men mogelijk grote kristallen van groene diopsied en helderbruine titaniet vinden.

We vervolgen onze weg in het dal van St-Philippe. Na een kleine afdaling gaan we links omhoog langs een steile weg. Men komt in de haarspeldbocht uit op een bosweg, uitgegraven in de storthopen van een van de galerijen van de grootste ertsmijn van de Vozezen (Traugott) waarvan de loodaders geëxploiteerd werden in talloze mijnen over een afstand van 4 km. Volg links de horizontale bosweg tot de kruising met de bosweg die Saint-Pierre-sur-l'Hâte verbindt met Chauffour. Volg de bosweg naar links in de richting van Chauffour tot de plaats genaamd 'Mines de Plomb' (5) (belangrijke exploitatie in de 18<sup>e</sup> en 19<sup>e</sup> eeuw). De weg bereikt het ingesneden dal van Saint-Pierre-sur-l'Hâte, vervolgens volgt men de weg omhoog aan de linkerzijde tot het met gras begroeide plateau van Chauffour. Vanhier heeft men een fraai uitzicht op de graniet van de Crêtes. Ga verder te voet. Na 550 m snijdt een aftakking van de weg naar links de sillimaniet-gneisen aan (6), voornamelijk in een biotiet-houdende faciës met massieve kwartsrijke inschakelingen. Het is mogelijk hier pakketjes fibreuse groene of wit-parelmoeren sillimaniet te vinden. Men kan de hoofdweg nog verder vervolgen tot men het serpentienietmassief van de Hohltann bereikt op de hellingen van het Rauenthal. In een bocht naar links kruist men een horizontaal weggetje dat men 200 m vervolgt naar links. Men vindt hier echter slechts puin van de serpentiniten (7).

We keren nu via dezelfde route terug en rijden door tot de haarspeldbocht bij Saint-Pierre-sur-l'Hâte (8). In de afdaling doorsnijdt men fijnkorrelige granaatgneisen, die prismatische sillimaniet kunnen bevatten. Deze gesteenten zijn helaas niet erg goed ontsloten en zijn bovendien sterk gemylonitiseerd (tijdens deformatie doorbewogen). Saint-Pierre-sur-l'Hâte ligt op een heuvel aan het einde van het diepe Rauenthal. Er staat een zeer karakteristieke 'égglise des mineurs' uit de 15<sup>e</sup> eeuw (9).



Afb. F-5. Gezicht op de Bovenrijnse Laagvlakte vanaf de Ballon d'Alsace. Op de achtergrond het Jura-gebergte.

Van Saint-Pierre-sur-l'Hâte rijdt men naar Echery, waar men op de D 48 uitkomt. Linksaf gaat men terug naar Sainte-Marie-aux-Mines.

In Sainte-Marie-aux-Mines is een museum voor Mineralogie, Mijnbouw en 'Traditions locales' (10). Tevens is in het dorp een bezoek aan de historische zilvermijn Saint-Barthélemy (open voor publiek) zeer aan te bevelen (11).

## De Rijnslenk

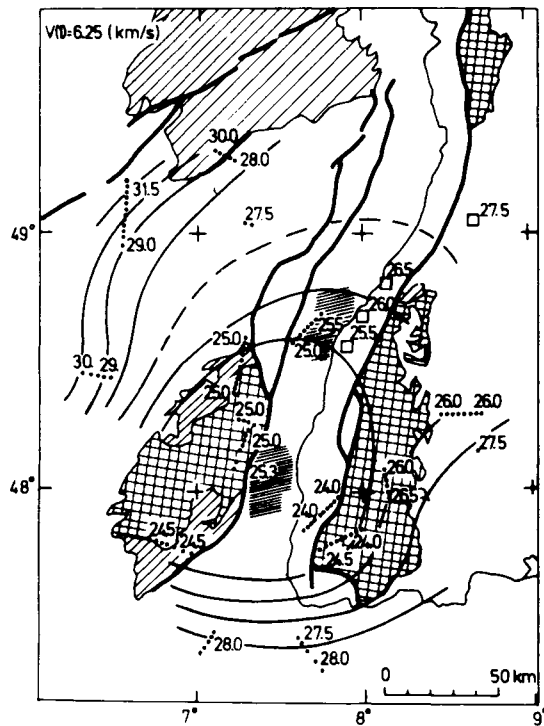
Wie in de Vozezen op vakantie is en interesse heeft voor de geologie, kan nauwelijks om de spectaculaire grootschalige structuur van de Rijnslenk heen. De Rijnslenk is een 'rift-structuur', die een litteken vormt in de Variscische continentale korst van het Vozezen/Zwarte Woud-complex. Rifts zijn grootschalige structuren, die kunnen ontstaan wanneer de lithosfeer wordt uitgerekt. In het hogere deel van de korst, dat bros reageert op de rekrachten, ontstaan dan breuken, waarlangs het centrale slenkblok daalt. De ruimte, die tijdens de daling ontstaat, wordt gelijktijdig opgevuld met sedimenten.

De Boven-Rijnslenk heeft een gemiddelde breedte van 36 km en een lengte van ongeveer 300 km. De afschuivingsbreuken die de begrenzing van de rift vormen hellen onder een hoek van 60 tot 65 ° in de richting van de afgeschoven centrale slenk. Een opvallend verschijnsel daarbij is de parallelle rangschikking van de hoofdbreuken. Een verandering in de richting van de breuken aan de ene zijde van de slenk wordt nauwkeurig gevolgd door een corresponderende verandering aan de andere zijde van de slenk. De eigenlijke grabenvorming en de daarmee samenhangende sedimentatie begon 45 miljoen jaar geleden in het Midden-Eoceen. De grootste sedimentopvulling in de Boven-Rijnslenk is gemeten in de boring Frankenthal, ten NW van Mannheim. Daar werd vanaf het Onder-Oligoceen 3335,3 m sediment aangetroffen. Tot op de dag van vandaag is het gebied seismisch en tektonisch actief. Het Kwartair heeft een maximale dikte tot 380 m en nauwkeurige metingen hebben aangetoond dat de huidige daling van de grabenvloer bijna 5 mm/jaar bedraagt.

De met Tertiaire afzettingen opgevulde slenk wordt aan weerszijden begrensd door opgeheven schouders van Variscische kristallijne gesteenten met hun Permisch-Mesozoïsche bedekking. De continentale korst hier is opgebouwd uit het Variscische kristallijne grondgebergte en een discordante bedekking van Boven-Paleozoïsche en Mesozoïsche sedimenten. Deze series zijn afgezet in de periode vóór de vorming van de Rijnslenk. De ouderdom van deze pre-rift serie is Perm tot Boven-Jura (Malm). Op de schouders zijn de bedekkende Mesozoïsche series geheel of gedeeltelijk geërodeerd. Binnen de graben zijn de Mesozoïsche series niet over de gehele lengte van de graben bewaard gebleven, met name als gevolg van een periode van non-depositie en erosie tijdens het Onder- en Boven-Krijt. In de slenk zelf ligt dit pre-Tertiaire fundament tot circa 4 km dieper. Het maximale verticale hoogteverschil (de spronghoogte) langs de afschuivingsbreuken bedraagt dus 4000 m. Door erosie van de schouders en sedimentopvulling van de graben is het huidige topografische hoogteverschil tussen schouders en grabenvloer ongeveer 1300 m. Zie afb. F-5.

Het diepere deel van de lithosfeer, onder de rift, reageert ductiel (vervormbaar) op de rekrachten. Hier treedt plastische uitrekking en verdunning van de lithosfeer op. Als gevolg van deze verdunning buigt de lithosfeer-asthenosfeer-grens onder de rift omhoog en loopt de temperatuur onder de rift op. Verhoging van de temperatuur veroorzaakt een geringere dichtheid van het daar aanwezige mantelmateriaal. Hierdoor ontstaat een brede, ononderbroken opwelling van gesteenten met een lage dichtheid onder de rift. De opheffing van de grabenschouders (Vozezen, Zwarte Woud) is een gevolg van isostatische aanpassing aan de lagere dichtheid van het onderliggende mantelmateriaal.

De opwelling van de korst-mantelgrens (Moho) onder de graben is een van de meest opmerkelijke geofysische observaties aan de diepe structuur van de Rijnslenk. Zij is te zien op de contourkaart



van de korst-mantelgrens (afb. F-6). De dome is enigszins asymmetrisch en heeft een sterkere helling naar het westen dan naar het oosten. Naar het westen duikt de Moho tot een diepte van 30 km; naar het oosten tot een diepte van 28 km onder de flanken van de graben. De kruinlijn van de mantel-dome volgt de as van de graben met een geringe duiking in de richting N 20 E. De top van de dome ligt in het gebied van de (Tertiaire) Kaiserstuhl-vulkaan, waar de Moho een diepte van slechts 24 km heeft. Tijdens de vorming van de rift vindt langs de breuken vulkanische activiteit plaats, die wordt gevoed door de hete onderliggende mantel. Het vulkanisme was zeer actief in het Tertiair. Het wordt gekenmerkt door de eruptie van verschillende typen van basische tot intermediaire lava's, die kenmerkend zijn voor continentale grabenstructuren. De vulkanische gesteenten komen voor in

Afb. F-6. Contourkaart van de diepte van de korst-mantelgrens in het gebied van de Boven-Rijnslenk. Contourinterval is 1 km; 26.5 is diepte in km. Het gekruiste gebied is het kristallijne grondgebirge; de onderbroken lijnen geven het sedimentaire basement aan.

Punten geven lokaties waar de diepte is berekend uit seismische refractiegegevens. Open vierkanten markeren gebieden waar de diepte is verkregen uit reflectiegegevens. In de dicht gearceerde gebieden zijn geen reflecties van een diepte van 24-25 km waargenomen. (J.B. Edel, K. Fuchs, C. Gelbke, en C. Prodehl, 1975).

pijpen, dikes en soms als lavastromen, die bijna uitsluitend zijn geërupteerd langs breuken in de horsten, die de slenk begrenzen.

Rifting veroorzaakt de opening van breuksystemen, die tot diep in de korst doordringen. Binnen deze breuksystemen vindt onder invloed van de hoge temperatuur hydrothermale convectie plaats. Binnen de Rijnslenk komen dan ook op tal van plaatsen warme bronnen voor, waarvan met name die van Baden-Baden bekend zijn. De reservoirtemperaturen van de warme bronnen van Baden-Baden zijn berekend op 156 °C.

De hoge temperatuur is ook de reden, dat rifts in toenemende mate belangrijk worden als bronnen voor geothermale energie.

#### LITERATUUR

- Behr, H., W. Engel en W. Franke, 1980 - Guide to excursion Münchberger Gneismasse und Bayerischer Wald. Göttingen, 1980.
- Chauve, P., P. Fluck, R. Enay, C. Sittler & J.B. Edel, 1980 - Vosges, Fosse Rhéna, Bresse, Jura. In: Lorenz, C. (Ed) Géologie des pays européens (France, Belgique, Luxembourg), 26e Congrès International, Bordas, p 353-393.
- Eller, J.-P. von, 1976 - Guides géologiques régionaux - Vosges/Alsace. Masson, Paris, 182 p.
- Edel, J.B., Fuchs, K., Gelbke, C. en Prodehl, C., 1975 - Deep structure of the Rhinegraben area from seismic refraction investigation. J.Geophys., 41, 333-356.
- Fluck, P., R. Weil & W. Wimmenauer, 1975 - Géologie des gîtes minéraux des Vosges et des régions limitrophes. Mém. du BRGM, 87., 189 p + kaarten.

## Geologische hoogtepunten in de Vogezes

De Vogezes zijn uit toeristisch oogpunt een heel aantrekkelijk gebied. Er zijn bijvoorbeeld prachtige wandelingen te maken, die heel goed met een bezoek aan geologische bezienswaardigheden kunnen worden gecombineerd. Afb. F-7.

Uit de hier volgende opsomming zijn wellicht goede ideeën op te diepen. Het gebied is zeer bosrijk of anderszins begroeid; waar dat het geval is, is de ondergrond tamelijk spaarzaam ontsloten. Via de Michelin- en IGN-kaarten kunt u nog veel meer groeven en mijnen opsporen dan hier genoemd zijn. Vele ervan zullen inmiddels zijn verlaten, maar ontsluitingen zijn er doorgaans nog wel.

\* In het noorden van de Vogezes liggen verscheidene schilderachtige ruïnes op grillige rotspartijen, zoals de *Fleckenstein*, *Windstein*, *Falkenstein* en *Wassenbourg*; de ondergrond van deze oude kastelen is Grès des Vosges: Vogezes-zandsteen. Dit is een afzetting uit de Trias (Buntsandsteen) die in het noorden en oosten van de Vogezes veel voorkomt.

\* Ten westen van *Barr* ligt de *Rocher du Neuntelstein* op een mooie dioriet. Dit gesteente bestaat voornamelijk uit plagioklaas (lichtgekleurd) en amfibool (donker). Hier zijn de amfibolen uitzonderlijk groot. In de diaklazen (barsten in het gesteente) is groene epidoot te vinden.

\* Het onneembare slot *Haut-Koenigsbourg*, ten O van Sélestat, met zijn grandioze uitzicht over de Bovenrijnse Laagvlakte, is op Vogezes-zandsteen en Permische zandsteen gebouwd.

\* De *Hohneck* is een van de hoogste Vogezes-bergen, met een maximale hoogte van 1362 m. Afb. F-8. De vlakke top bestaat uit een harde conglomeraatlaag van Triassische Buntsandsteen (Grès des Vosges), die op de Postvariscische schiervlakte ligt. Het effect van de opheffing spreekt hier wel duidelijk!

\* In de hoge Vogezes liggen de typische "ballons", de voornamelijk uit kristallijne gesteenten bestaande bergen met hun zwak glooiende toppen. Ook deze zijn een herinnering aan de Postvariscische schiervlakte.