

Of er inderdaad een beginnende biosfeer op Mars is geweest, zullen uiteindelijk alleen geologisch onderzoek ter plaatse, de gerichte, selectieve bemonstering van oude sedimentgesteenten, en analyse van de verzamelde gesteentemonsters in laboratoria op Aarde kunnen uitmaken. Het is niet goed denkbaar dat dit te verwezenlijken is in het kader van de voor de komende jaren geplande onbemande 'sample return missions' en robot-observaties op het Mars-oppervlak, anders dan als een toevalstreffer. De menselijke beoordelingsfactor, gestoeld op geologische kennis, inzicht en ervaring, lijkt een essentiële voorwaarde te zijn om tot conclusieve resultaten te kunnen komen.

Met spanning wordt dan ook uitgezien naar de resultaten van het geologisch onderzoek van de oudste Martiaanse sedimenten, dat een belangrijke doelstelling is van de bemande expeditie naar de rode planeet, die voor het begin van de volgende eeuw op stapel staat.

Met deze expeditie, die wellicht in internationale samenwerking zal worden gerealiseerd, zijn vele tientallen miljarden dollars en een gigantische technologische inspanning gemoeid. Die zijn het doel echter alleszins waard, gezien de enorme revenuen die zij voor de collectieve menselijke kennis zullen opleveren. Vele openstaande vragen betreffende de vroegste ontwikkelingsgeschiedenis van onze eigen planeet zullen op Mars kunnen worden beantwoord. Op de rode planeet ligt wellicht ook de sleutel tot een beter begrip van het hoe en waarom van het verschijnsel Leven, inclusief van onze eigen soort. Als op Mars sporen van vroeger leven kunnen worden aangetoond, ook al is dat miljarden jaren geleden in een pril stadium van de evolutie van de Martiaanse biosfeer uitgestorven, dan is onomstotelijk vastgesteld dat leven géén uniek verschijnsel van onze planeet is. Dit wordt de laatste jaren op allerlei gronden steeds waarschijnlijker geacht, maar het definitieve bewijs zou een impact hebben op ons wereldbeeld van dezelfde orde als het

aantonen van de heliocentriciteit in de 16de eeuw en de publikatie van Charles Darwins evolutieleer in 1859. De kerkelijke inquisiteurs wisten in 1600 zeer goed wat zij deden, toen zij Giordano Bruno naar de brandstapel stuurden!

Literatuur

- Burgess, E. (1990) Return to the red planet. Columbia University Press, New York, 222 pp.
- Morrison, D. and Owen, T. (1988) The planetary system. Addison-Wesley Publ., Reading (Mass.), 519 pp.
- Priem, H.N.A. (1987) Isotopic tales of ancient continents. *Geologie & Mijnbouw* 66, 275-292.
- Priem, H.N.A. (1988) Continent genesis - a story of oceans, life and isotopes. *Memoria e Noticias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra* 105, 37-73.
- Priem, H.N.A. (1989) Het aardse perspectief. In: *Denken over het ontstaan van Aarde, Leven en de Mens*, Studium Generale, reeks 8803, Rijksuniversiteit Utrecht, 13-44.
- Priem, H.N.A. (1989) Het Geosfeer-Biosfeer Systeem - wordt de Aarde door het Leven bepaald? *Gea* 22, nr. 3, 65-69.
- Priem, H.N.A. (1990) Strange relatives - Earth and her sibling neighbours. *Geologie & Mijnbouw* 69, 391-406.
- Priem, H.N.A. en Vlaar, N.J. (1991) Aardse Planeten - *Geologie in het Zonnestelsel. Natuur & Techniek* 59, nr.10, 768-779.
- Schilling, G. (1990) Werelden naast de Aarde - de planeten: ontstaan, evolutie, onderzoek. *Wereldbibliotheek*, Amsterdam, 191 pp.
- Smith, A.E. (1989) Mars, the next step. Adam Hilger, Bristol & New York, 151 pp.

Deze bijdrage is in verkorte vorm verschenen in de bijlage Wetenschap & Onderwijs van NRC-Handelsblad, 26 september 1991.

De continentale diepteboring in Duitsland: een speldeprik in de aardkorst?

door J.H.A. te Boekhorst

Vorig jaar waren wij, mijn echtgenote en ik, op vakantie in de Oberpfalz, in de nabijheid van de Duits-Tsjechische grens. Niet om specifiek geologische redenen, alhoewel uiteraard bezoeken aan enige vindplaatsen op het programma stonden. In een bij het plaatselijke VVV-kantoor veroverde folder werd iets vermeld over het KTB-project, dat in de Oberpfalz wordt uitgevoerd. KTB staat voor "Continental Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland". Over dit project had ik inderdaad gelezen, ook dat dit werd uitgevoerd in het Duits-Tsjechische grensgebied. De exacte lokatie van deze boring bleek op nog geen 15 km van ons vakantieovertrek te liggen, er was dus geen enkele belemmering om er eens langs te gaan.

Wat is nu dat KTB-project?

Al lange tijd heeft de internationale geologische wereld belangstelling voor het onderzoek van de diepe aardkorst. In de laatste twee decennia werd met name de aardkorst onder de oceanen intensief onderzocht. De

oceanbodem is echter slechts maximaal 200 miljoen jaar oud, terwijl de delen van de aardkorst die onder de continenten liggen aanzienlijk ouder zijn, zelfs wel tot 4 miljard jaar toe. Hun opbouw is bovendien veel ingewikkelder. Daarom heeft de internationale geo-wetenschappelijke wereld het onderzoek van de continentale aardkorst voor de komende tijd in het middelpunt van de belangstelling geplaatst.

Sinds een aantal jaren vinden daarom over de gehele wereld internationale en nationale onderzoeken plaats om de kennis over de opbouw en het ontstaan van de continentale aardkorst te verdiepen. Het grootste deel van deze onderzoeken betrof seismologisch onderzoek. Onderzoek dus om met behulp van bestudering van trillingen in de aardkorst conclusies te trekken over de opbouw en het ontstaan van de lithosfeer. Een voorbeeld van een dergelijk onderzoek wordt beschreven in het artikel van G. Nolet in *Gea*, vol. 19 nr. 2 (juni 1986). Om de gegevens die dit soort projecten opleveren te kunnen interpreteren, is echter nader onderzoek van de aardkorst noodzakelijk. Voor dit nadere onderzoek van

de aardkorst is de diepteboring het meest geschikte instrument. Helaas echter zijn diepteboringen verschrikkelijk duur, zodat het toepassen ervan slechts spaarzaam kan geschieden.

In het kader van een Europees samenwerkingsproject worden op een aantal plaatsen in West-Europa diepteboringen voorzien, en wel in Gravberg (Zweden), Sancerre (Frankrijk) en de Oberpfalz (Duitsland). Deze boringen sluiten aan bij reeds uitgevoerde boringen in Mirow (voormalige DDR) en op het Kola-schiereiland (Rusland). Afb. 1. Wereldwijd sluiten de boringen aan bij uitgevoerde boringen op bijvoorbeeld de Koerillen Eilanden (tussen Rusland en Japan), in de Atlantische Oceaan (bij Spanje) en in de Stille Oceaan voor de kust van Ecuador, in het kader van het Deep Sea Drilling Project (DSDP) van de Verenigde Staten. Ook buiten Europa bestaan plannen voor nadere boringen, o.a. in Swerdlowsk (in Aziatisch Rusland), in de Transkaukasus en in de Appalachian Mountains (USA). De Russen, die al vanaf het eind van de jaren '60 met een nationaal onderzoeksprogramma bezig zijn, scoorden de grootste bereikte diepte tot nu toe bij de boring op het Kola-schiereiland, hier werd al in 1985 een diepte van 12.066 m bereikt. Het KTB-project is de Duitse bijdrage aan het Europese samenwerkingsproject. Dit Duitse project voorziet in een boring tot een diepte van waarschijnlijk 12 km op een zeer bewust gekozen locatie in de Bondsrepubliek, namelijk de Oberpfalz in de nabijheid van de stad Windischeschenbach. Over het waarom van de keuze van deze locatie later meer.

Niet alleen zuiver wetenschappelijke boringen leveren gegevens op voor het onderzoek van de continentale aardkorst. Ook de boringen die uitgevoerd worden in het kader van de exploratie t.b.v. delfstoffen (olie, gas, kolen) hebben als nevenresultaat gegevens opgeleverd die van nut zijn voor het geologisch onderzoek. In 1974 is in Berta Rogers (USA) t.b.v. aardolie-exploratie tot een diepte van 9.583 m geboord, in Zistersdorf (Oostenrijk) werd een diepte bereikt van 8.553 m bij een boring in 1983 voor aardgas-exploratie.

Waarom diepteboringen ?

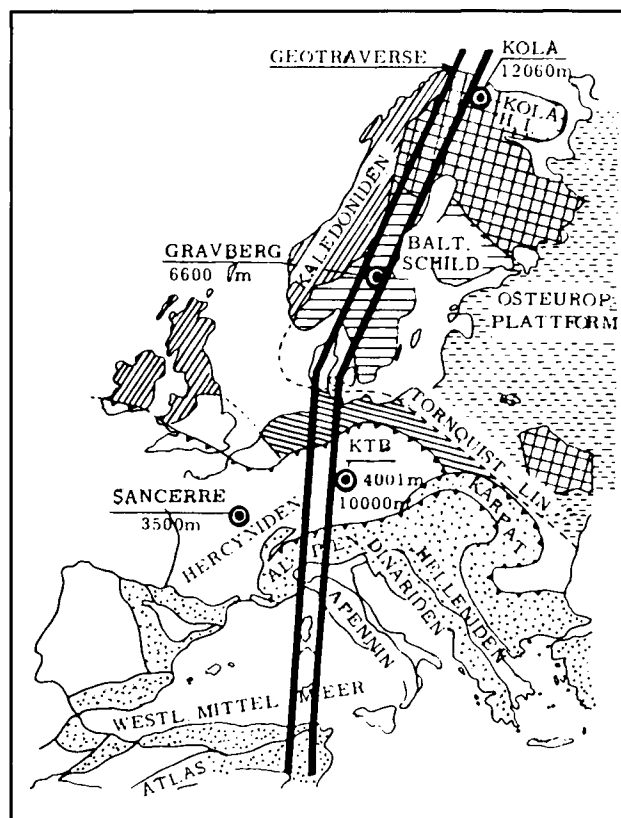
Zoals reeds gezegd, is het grootste deel van de onderzoeken van de continentale aardkorst die tot nu toe zijn uitgevoerd van seismologische aard. Bij deze onderzoeken wordt getracht d.m.v. interpretatie van aan het aardoppervlak gemaakte registraties van aardbevingstrillingen conclusies te trekken over de samenstelling en de opbouw van de aardkorst en de aardmantel op grote diepte.

Het zal duidelijk zijn dat heel veel van de resultaten van dit onderzoek gebaseerd zijn op veronderstellingen. Helaas kunnen deze resultaten niet ter plekke in de aardkorst geverifieerd worden, omdat we niet in staat zijn zo ver in de diepte af te dalen. Om nu toch na te kunnen gaan of de gemaakte veronderstellingen, en daarmee de bereikte conclusies, juist zijn, zit er niets anders op dan delen van de diepe aardkorst omhoog te halen om ze aan het aardoppervlak te kunnen onderzoeken. En dat nu is wat men, naast andere onderzoeken, bij een diepteboring nastreeft. Naast het onderzoek aan dit omhoog gebrachte korstmateriaal kunnen echter ook nog in het daardoor ontstane gat allerlei soorten metingen op grote diepte worden uitgevoerd. Hierop komen we verderop in dit artikel uitgebreider terug.

Je zou dus kunnen zeggen dat de vergelijking van de resultaten van een diepteboring met de resultaten van seismologisch onderzoek een toetsing is van de veronderstellingen waarvan men bij het seismologisch onderzoek uitgaat. Uiteraard verdient het de voorkeur om deze toetsing op zo veel mogelijk verschillende plaatsen uit te voeren. Diepteboringen behoren echter tot de meest kostbare onderzoeksmethoden in de geologie, een reden voor de geldschieters om er zeer spaarzaam gebruik van te maken.

Waarom een diepteboring in de Oberpfalz?

Uitgebreide geologische en geofysische onderzoeken, die zich over verscheidene jaren uitstrekten, toonden aan dat binnen de Bondsrepubliek het Zwarte Woud en de Oberpfalz de beste voor-



Afb. 1. Structuren van de aardkorst in Europa en plaats van de diepteboringen in dit werelddeel. Enkele liggen bij de zg. **Geotrasverse**. KTB = Kontinentale Tiefbohrung Oberpfalz.

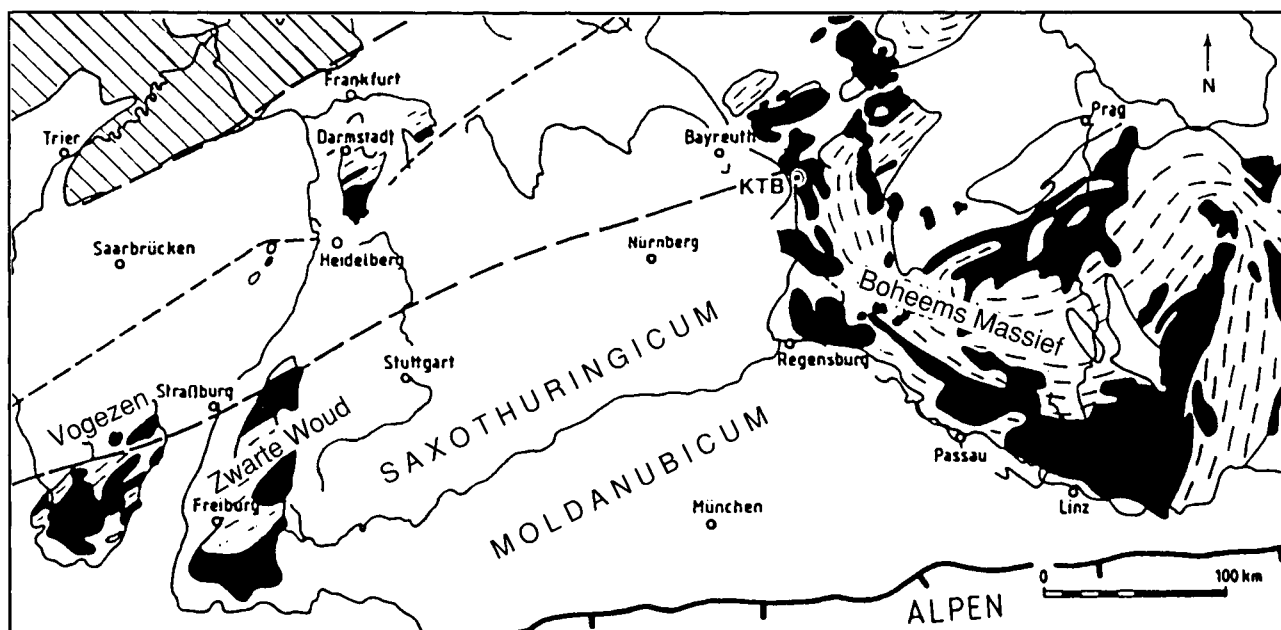
uitzichten gaven op interessante gegevens bij een diepteboring. De uiteindelijke keuze viel op de Oberpfalz en wel op een plaats aan de westrand van het Boheems Massief, tussen Erbdorf en Windischeschenbach.

Waarom is deze plaats nu zo interessant? De noordelijke Oberpfalz vormt geen geologische eenheid. Een lijn, die ongeveer van Mähring aan de Tsjechische grens naar Erbdorf loopt, vormt een ruim 300 miljoen jaar oude geologische grens. Hier grenzen namelijk twee continentale blokken aan elkaar, die een totaal verschillende geologische voorgeschiedenis hebben. Het noordelijke blok wordt Saxothuringicum genoemd en het zuidelijk deel Moldanubicum. Afb. 2.

Beide geologische eenheden waren vroeger door een oceaan van onbekende grootte van elkaar gescheiden. In de loop van het Devoon en het Onder-Carboon (400-320 miljoen jaar geleden) sloot deze oceaan zich, waarbij de beide blokken met elkaar in botsing kwamen en samenvloeiden. De lijn Mähring - Erbdorf is dus eigenlijk een sluitnaad tussen twee continentale blokken. Bij de genoemde botsing, zo'n 320 miljoen jaar geleden, werden de verschillende delen van de aardkorst op en over elkaar geschoven. Daarbij werden ook diepe delen van de aardkorst opgeheven en kwamen zodoende op een met diepteboringen bereikbare diepte te liggen. Zie afb. 3.

De oudste gesteenten in dit deel van de Oberpfalz zijn de gneizen van het Moldanubicum. Ze zijn door veelvuldige metamorfoses uit oudere sedimentgesteenten gevormd. De zandige tot kleiige afzettingen, waaruit ze ontstaan zijn, dateren overwegend uit het Precambrium.

De gesteenten van het Saxothuringicum zijn ontstaan uit sedimenten die afgezet werden vanaf de bovengrens van het Precambrium tot in het Onder-Carboon, waartussen zich zo nu en dan gesteenten van vulkanische oorsprong hebben gevormd. Vanaf de smelting van beide blokken in het Boven-Carboon is hun geschiedenis identiek. De botsing van beide continenten markeerde een fase van sterke plooiing en opheffing, de Variscische (Hercynische) orogenese. Deze orogenese strekt zich over geheel Europa



Afb. 2. Gedeelte van Centraal-Europa met oude massieven.
Zwart: voornamelijk graniet; streepjes: voornamelijk gneis;
gearceerd: Devonisch en Carbonisch Rijnleisteengebergte.

uit, van Spanje, via Frankrijk, door het midden van Europa tot in Zuid-Rusland. Ook buiten Europa, in Azië en Noord-Amerika (de Appalachians), is hij te volgen. Alhoewel dit plooingsgebergte op veel plaatsen door latere vlakliggende sedimenten is bedekt, duikt het in Europa hier en daar op als betrekkelijk lage middelgebergten, zoals in Bretagne, het Massif Central, de Ardennen en de Harz.

Wat omvat nu het KTB-project ?

Het KTB-project voorziet in een tweetal diepteboringen, die elkaar aanvullen.

Op 22 september 1987 werd begonnen met een proefboring die een diepte van 4.000 m moest bereiken. Op 4 april 1989 werd deze boring succesvol afgesloten, toen een diepte van 4.000,10 m was bereikt.

Het doel van deze boring was:

- het verzamelen van wetenschappelijke gegevens;
- het onderzoek van de gebergte-opbouw t.b.v. de hoofdboring;
- het beproeven van nieuw ontwikkelde meetapparatuur, boorgereedschap en geo-wetenschappelijke onderzoeksmethoden;
- het verkrijgen van boorkernen, omdat de hoofdboring i.v.m. de grote boordiameter gedurende het aanvangstraject hiervoor minder geschikt is.

Deze proefboring werd uitgevoerd m.b.v. een 49 m hoge boortoren, de grootste die bij normale exploratieboringen gebruikt wordt. De diameter van het boorgat op het diepste punt bedroeg 15 cm. Deze boring heeft aan boorkernen een totale lengte van 3.600 m opgeleverd. Bovendien werd inzicht verkregen over de opbouw van de gesteenten over de eerste 4.000 m van de hoofdboring en werd ervaring opgedaan met bij de hoofdboring toe te passen apparatuur, gereedschappen en onderzoeksmethoden.

Op 8 september 1990 werd op 200 m ten oosten van de proefboring begonnen met de hoofdboring, die tegen het einde van 1994 een diepte van tenminste 10.000 m bereikt moet hebben. Op deze diepte heerst een temperatuur van ongeveer 570 K (° Kelvin, ca 300 °C) en een druk van meer dan 2.000 bar.

Het doel van deze boring is:

- de interpretatie van geofysische structuren en van onregelmatigheden in de opbouw van de aardkorst;
- het verzamelen van kennis omtrent opbouw, deformatie en evolutie van de aardkorst;

- temperatuurmetingen in de aardkorst;
- metingen van de spanningen in de aardkorst.

Na het bereiken van een diepte van 10.000 m zal beslist worden of de boring wordt voortgezet tot een diepte van 12.000 m of meer. Het feit dat de Russen in 1985 reeds een diepte van 12.066 m bereikt hebben en er voor de Duitsers een mogelijkheid bestaat dit record te breken, zou bij deze beslissing wel eens van doorslaggevend betekenis kunnen zijn.

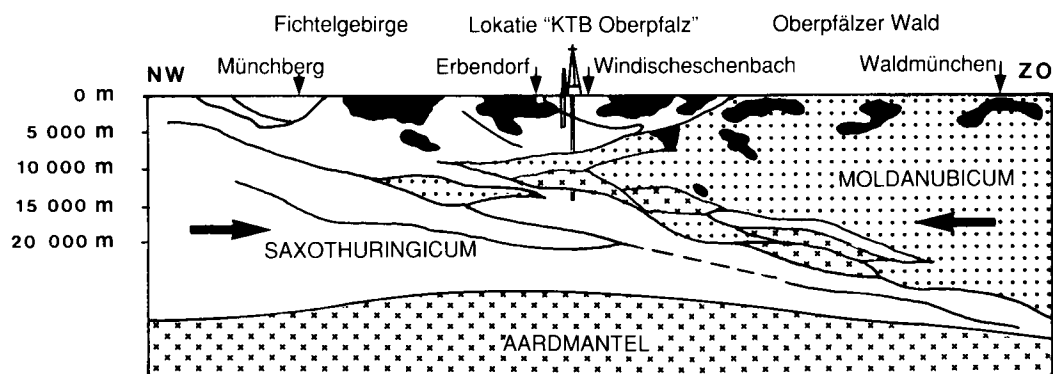
De uitvoering van de hoofdboring geschiedt m.b.v. een speciaal voor dit doel ontwikkelde boortoren van 83 m hoog. De diameter van het boorgat verloopt van 71 cm aan het begin tot 22 cm op een diepte van 10.000 m. Voor het totale project heeft het Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) rond de 500 miljoen DM uitgetrokken.

Hoe gaat het boren in zijn werk ?

Bij de zgn. proefboring werd gebruik gemaakt van een conventionele boortoren met een hoogte van 49 m, zoals deze ook bij aardolie- of aardgasexploratie gebruikt wordt.

Voor de hoofdboring werd, zoals gezegd, een compleet nieuwe installatie met een hoogte van 83 m ontwikkeld (afb. 4 en 5). Dit was nodig om bij het verwisselen van versleten boorkoppen de booras in grotere lengten (40 m) los te kunnen koppelen. Omdat de boorkop na maximaal 50 m boren versleten is en er dus heel wat wisselingen plaats moeten vinden alvorens men een diepte van 10.000 m bereikt heeft, is de tijdswinst door het in grotere lengten kunnen ontkoppelen van de booras aanzienlijk. Ondanks dat kost het wisselen van zo'n versleten boorkop op 10 km diepte toch nog ongeveer 20 uur. En voor het bereiken van deze diepte moet de booras naar schatting zo'n 700 maal gedemonteerd en gemonteerd worden.

Bij het boren wordt de boorkop aanvankelijk vanaf het aardoppervlak via de booras aangedreven, net zoals bij het boren naar aardolie of aardgas. De boorkop draait met een toerental van 60 tot 120 omwentelingen per minuut en wordt, afhankelijk van de grootte, met 50 tot 200 kN (kiloNewton, = 5-20 ton) in het gesteente gedrukt. Zo gaat het met maximaal 3 m per uur de diepte in. Op grote diepten wordt de boorkop niet meer via de booras aangedreven, maar direct door een hydraulische motor in de holle booras. Deze hydraulische motor bestaat uit een kurktrekkervormige as, waaraan de boorkop bevestigd is. De boorkop wordt in draaiing gebracht door boorvloeistof onder hoge druk langs de hydraulische motor te pompen. Zodoende kunnen, afhankelijk van het type hydraulische motor, toerentallen van 70 tot 480 omwentelingen per minuut bereikt worden.



Afb. 3. De boorlokatie Oberpfalz bij Windischeschenbach en de mogelijke structuren van de aardkorst in dit gebied.

Tijdens het boren wordt boorvloeistof, bestaande uit water en een anorganisch verdikkingsmiddel, door de holle booras omlaag gepompt. Naast het aandrijven van de hydraulische motor op grote diepten, dient dit om de boorkop te koelen en te smeren en om het afvalmateriaal van het boren af te voeren. Dit omlaag pompen van de boorvloeistof gebeurt door een pomp met een vermogen van 3.000 kW en een opbrengst van 1.000 tot 4.000 liter per minuut. De vloeistof wordt door gaten in de boorkop naar buiten geperst en tussen de booras en de wand van het gat naar boven afgevoerd. De omhoog geperste vloeistof bevat grote hoeveelheden steengruis en -slijpsel en opgeloste gassen, die bovengronds door middel van zeven en centrifuges uit de vloeistof worden verwijderd. De vloeistof wordt opnieuw gebruikt, het gruis en slijpsel worden gecatalogiseerd en in monsterflesjes opgeborgen voor later onderzoek, het gas wordt eveneens opgevangen en voor onderzoek bewaard.

Wat wordt er onderzocht ?

Het eerste onderzoek aan de boorkernen, aan het gewonnen steengruis en -slijpsel en aan de in de boorvloeistof opgeloste gassen gebeurt in het veldlaboratorium ter plaatse, waar wetenschappers van verschillende universiteiten en uit verschillende disciplines samenwerken. Naast deze onderzoeken ter plaatse, worden op 36 verschillende instituten, zowel in de Bondsrepubliek als daarbuiten, metingen verricht en nadere gegevens uitgewerkt. In het veldlaboratorium worden allereerst de boorkernen en alle verzamelde monsters geïnventariseerd en voorzien van een vermelding van de diepte waarvan ze afkomstig zijn. Bovendien worden de boorkernen ook nog gefotografeerd. Na deze inventarisatie en identificatie begint pas het wetenschappelijke onderzoek. Om te beginnen wordt hierbij eerst een macroscopische beschrijving van het gesteente opgesteld. Vervolgens worden de gesteentemonsters in flinterdunne schijfjes gezaagd, waarvan men, t.b.v. het microscopisch onderzoek, slijpplaatjes met een dikte van 0,03 mm maakt. Dit microscopisch onderzoek geeft uitsluitsel over de exacte **mineraalinhoud** en de **samenstelling** van het gesteente.

De boorkernen worden ondergebracht in een geklimatiseerde ruimte, waar de **ontspanning** van het gesteente gemeten wordt. Het gesteente heeft in de diepte onder hoge druk gestaan en het duurt ongeveer 10 dagen voordat alle spanningen uit het materiaal verdwenen zijn. Gedurende dit ontspannen zet het gesteente uit. Aan de hand van de mate en de richting van de uitzetting wordt de spanning in de aardkorst berekend.

Onmiddellijk na het verkrijgen van de gesteentemonsters worden een aantal fysische en chemische eigenschappen van het gesteente bepaald.

De **dichtheid** moet zo spoedig mogelijk nadat de boorkern verkregen is, bepaald worden, omdat deze door uitdroging en barstvorming in de loop van de tijd verandert. De dichtheid is van belang bij de interpretatie van zwaartekrachtmetingen. Ook bij de seismologische onderzoeken speelt de dichtheid een belangrijke rol, omdat deze grootte bepaalt, hoe snel de verstoringen (geluids-

golven) zich door het gesteente van de aardkorst voortplanten. De dichtheid van een gesteente hangt samen met de mineraalinhoud en de porositeit van het materiaal.

De **natuurlijke gammastraling** levert gegevens op over de verdeling van de radioactieve elementen kalium, uranium en thorium als functie van de diepte. Met behulp van deze gegevens kan de warmteproductie van de aarde berekend worden.

De **snelheid van ultrasone trillingen** in de boorkern wordt bepaald om de seismische metingen, waarmee de omgeving van het boorgat vanaf het aardoppervlak tot op een diepte van ongeveer 30 km wordt onderzocht, te interpreteren. Het doel op lange termijn is een methode te ontwikkelen, waarbij zonder boring, maar met uitsluitend kunstmatig opgewekte seismische trillingen vanaf het aardoppervlak, uitspraken gedaan kunnen worden over de opbouw van de kristallijne ondergrond. De snelheid van ultrasone trillingen hangt weer samen met de dichtheid, de mineraalinhoud, de porositeit, de druk en de temperatuur van het gesteente.

De **elektrische weerstand** hangt af van het erts- en grafietgehalte van het gesteente, alsmede van het zoutgehalte van het eventueel aanwezige grondwater.

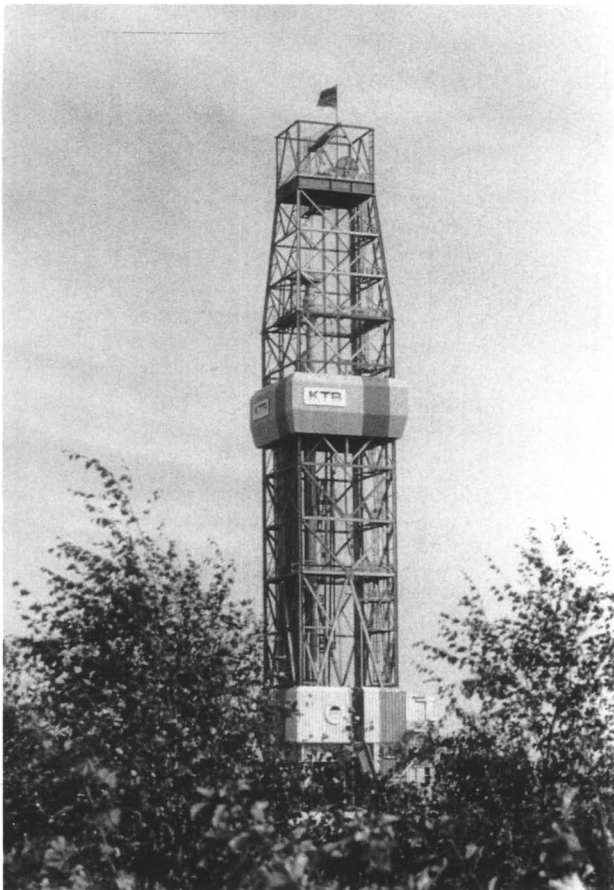
De **intensiteit van het magnetisme** van het gesteente wordt in wezen veroorzaakt door de mate van aanwezigheid van een kleine groep ferrimagnetische mineralen, zoals magnetiet en hematiet. Omdat ertslichamen relatief veel van dit soort mineralen bevatten, kan magnetisme een aanwijzing zijn voor de aanwezigheid ervan. Ook levert het bepalen van de magnetische eigenschappen gegevens op over verstoringen van het aardmagnetisch veld. Bovendien geeft de richting van het magnetisch veld van de boorkernen inzicht in de richting van het aardmagnetisch veld in de verschillende geologische periodes.

De **mineraalinhoud** van het gesteente wordt, naast de hiervoor reeds vermelde microscopische methode met slijpplaatjes, ook bepaald met een nieuw ontwikkelde methode van röntgenanalyse. Hierbij worden gemalen en tot tabletten geperste gesteentemonsters onderzocht. Deze kwantitatieve analyse geeft de mogelijkheid om snel en betrouwbaar uitspraken te doen over de samenstelling van het gesteente, ook als er geen boorkernen, maar alleen gruis en slijpsel aanwezig zijn.

Eveneens m.b.v. deze tabletten worden 10 gesteentevormende hoofdbestanddelen en tot 20 sporenelementen van het gesteente geanalyseerd. Hierdoor is het mogelijk lithologische afwisseling, ertslichamen en storingszones te herkennen.

Het met de boorvloeistof omhoog komend materiaal wordt continu op veranderingen in de verhouding anionen en kationen onderzocht. Zo kan het toevloeien van grondwater in de diepte vastgesteld worden. Ook de temperatuur en de pH-waarde van de boorvloeistof worden ononderbroken gecontroleerd. Bovendien wordt de boorvloeistof onderzocht op de aanwezigheid van opgeloste gassen, die vanuit het gesteente het boorgat binnendringen.

Niet alleen aan het naar boven gehaalde materiaal wordt onderzoek uitgevoerd, maar ook worden metingen verricht onder het aardoppervlak in het boorgat. Aan een staalkabel wordt een meetsonde in het boorgat omlaag gelaten. De gegevens die ter plekke gemeten worden, worden via elektrische leidingen naar boven



Afb. 4. (Links) De 83 m hoge boortoren bij Windischeschenbach.

Afb. 5. (Boven) Een boorkop.

gevoerd en daar in de computer verwerkt en opgeslagen. Op deze manier worden diverse grootheden bepaald, zoals:

- de afmetingen, de hoek en de richting van het boorgat;
- de sterkte van de natuurlijke gammastraling;
- de dichtheid van het gesteente;
- welke chemische elementen aanwezig zijn;
- de sterkte en de richting van het magnetische veld;
- de grootte van de geluidssnelheid;
- de sterkte en de richting van het zwaartekrachtsveld;
- de grootte van de elektrische weerstand;
- de aanwezigheid van spleten en storingszones.

De waarden van de op de betreffende diepte gemeten grootheden worden vergeleken met de bovengronds gemeten waarden aan de gesteentemonsters.

Aan de staalkabel worden ook sondes voor het nemen van monsters omlaag gelaten, zodat vloeistoffen en gassen direct op de plaats waar ze uit het gesteente treden kunnen worden opgevangen. Zo kan een zo zuiver mogelijk monster voor nader onderzoek naar het aardoppervlak worden gehaald.

Wat is er tot nu toe gebeurd ?

Zoals reeds hiervoor gezegd, werd bij de proefboring een diepte van 4.000 m bereikt. Tijdens deze boring werden om de ca 100 m met behulp van een sonde metingen in het boorgat verricht, bovendien vonden nog zes uitgebreide metingen plaats, die elk tot wel twaalf dagen in beslag namen. De gegevens die deze metingen opleverden werden vergeleken met de metingen aan de monsters in het laboratorium. Tot slot werd aan het eind van de proefboring een meet- en proevenprogramma uitgevoerd, dat ongeveer een jaar duurde.

Naast de broodnodige ervaring die de proefboring opleverde, werden ook een aantal wetenschappelijk interessante gegevens gevonden, zoals:

- een hogere temperatuursgradiënt dan n.a.v. oppervlakte-metingen verwacht werd;

- de vaststelling van recente ontgassing van methaan, helium en waterstof uit het gesteente;
- beneden 3.400 m een toename van de toevloeiing uit spleten van water met een hoog zoutgehalte;
- een sterke toename van het grafietgehalte, en daarmee toename van afwijkingen van de elektrische geleiding en van de elektrische potentiaal van het gesteente;
- een onverwacht sterke deformatie door breuken en spleten als gevolg van paleo-seismische activiteiten;
- een hogere inwendige spanning van het gesteente dan verwacht werd vanaf een diepte van 3.400 m.

Toen wij er begin september 1991 waren, had men bij de hoofdboring inmiddels een diepte bereikt van ruim 4.150 m, dus al wat dieper dan waar met de proefboring gestopt werd. Veel verrassende dingen t.o.v. de proefboring zijn er nog niet gevonden, maar ongetwijfeld zullen die, als men op grotere diepten komt, nog wel volgen. Zo mogelijk zal Gea hier dan aandacht aan besteden.

Als nu in de tweede helft van de jaren '90 een diepte van 12 km wordt bereikt, lijkt dat heel wat, mede gezien de tijd die men erover doet. Om deze poging tot wat begrijpelijker proporties terug te brengen, is het wel aardig om de maximaal te bereiken diepte om te schalen naar de afmeting, waarbij de aarde de grootte heeft van een forse goudreinet. In dat geval komt deze diepte overeen met 0,1 mm, met recht een speldeprikkertje, zoals in de titel van dit verhaal gesuggereerd werd. Of met andere woorden, indien met dezelfde gemiddelde snelheid doorgeboord zou worden als nu bereikt wordt, is nog minstens 2.000 jaar nodig om de pitten in het klokhuis van de appel, oftewel het middelpunt van de aarde, te bereiken.

De realisering van het fantasiebeeld van Jules Verne uit "De reis naar het middelpunt van de aarde" lijkt met dit beeld voor ogen plotseling veel verder weg dan toen ik aan dit stukje begon.

Slotopmerkingen

Ondanks de weinig imposante vergelijking hierboven, moet u, indien u in de nabijheid van deze boring bent, er toch maar even langs gaan. Moeilijk te vinden is het niet, dank zij de vanuit de verte al zichtbare hoge boortoren.

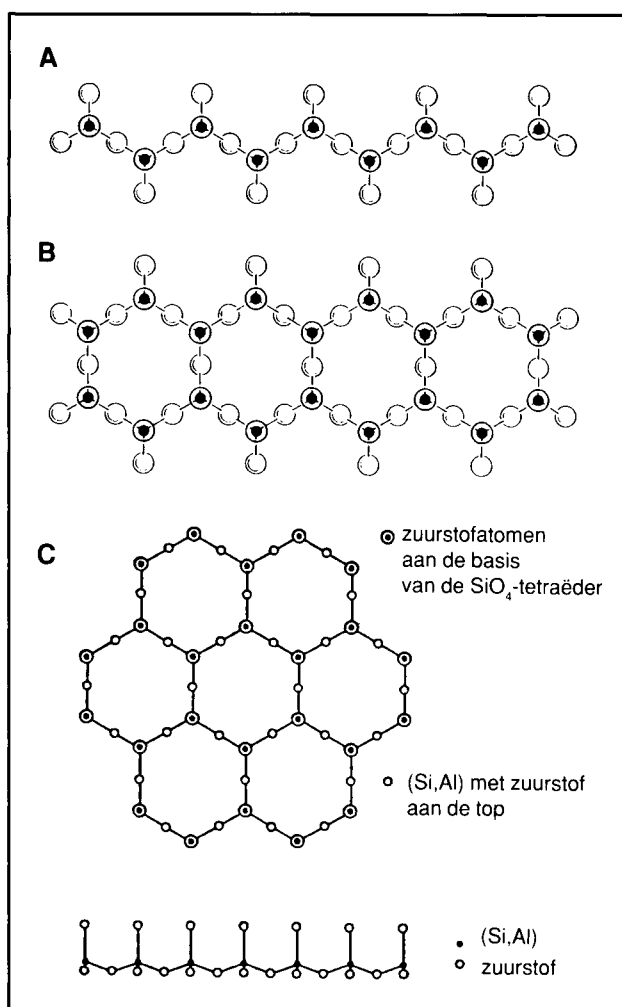
U neemt de weg van Windischeschenbach naar Erbdorf. Ongeveer 3 km vanaf Windischeschenbach neemt u de afslag naar rechts, naar Naabdemereuth. Dan kan het al niet meer mis gaan, want u heeft de hoge boortoren reeds in het vizier. In de herfst van 1991 was men begonnen met de bouw van een permanent bezoekerscentrum. Tot het ogenblik dat dit klaar is,

kunt u terecht in een op palen staande grote barak, waar een expositie is over de diepteboring en waar op een schoolbord bij de ingang de op dat moment bereikte diepte wordt bijgehouden. Tevens staan er een aantal monitors, die u een blik gunnen op de eigenlijke plaats van de boring.

De systematiek van mineralen: VIII SILICATEN, deel 2

door W.R. Moorer

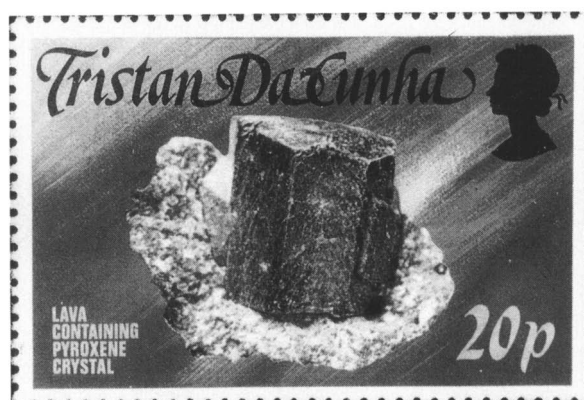
We hebben gezien dat de SiO_4 -groepjes waaruit de silicaten zijn opgebouwd onderling een O kunnen delen. Tot nu toe gebeurde dat op bescheiden schaal (in de al behandelde groep- en ring-silicaten), maar het kan ook op uitgebreide schaal, waarbij zeer veel SiO_4 -tjes zijn betrokken.



Afb. 1. Schematische voorstelling van ketting- en bladsilicaten. A. kettingsilicaat met enkele ketens: pyroxenen; B. idem, met dubbele ketens: amfibolen; C. bladsilicaat.

Ketting- of Ino-silicaten

In afb. 1 zien we, dat twee of drie van de O's worden gedeeld en er een (zeer lange) ketting of band is gevormd. Bij de **pyroxeen-mineralen** is die ketting van het type Si_2O_6 (afb. 1 A) en de algemene formule kan men schrijven als ABSi_2O_6 , zoals in Diopsied, $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$, of Jadeiet, $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$. De metalen A en B houden in het kristal de Si_2O_6 -kettingen bijeen. A is dan meestal Ca of Na, terwijl B kan staan voor Mg, Fe, Li, Mn, Al, Cr, Ti. Op deze wijze zijn de meer dan 20 pyroxenen opgebouwd. Enstatiet, Hyperstheen, Augiet, Hedenbergiet, Diopsied, Aegirien en Spodumeen zijn belangrijke gesteentevormende mineralen. Afb. 2. Eveneens met een Si : O-verhouding van 1 : 3, maar met kettingen die een grotere periodiciteit vertonen, komen we de Si_4O_{11} -mineralen tegen (Wollastoniet, Pectoliet, Bustamiet); ook is deze verhouding te vinden in Si_2O_7 -mineralen als Raiet en Balangeroiet, en in de Si_3O_{10} -mineralen Rhodoniet, Babingtoniet en Inesiet. Tot de **amfibolen** behoort een 60-tal mineralen, opgebouwd uit een dubbelband met Si : O = 4 : 11 (afb. 1 B). De algemene formule kan worden geschreven als $\text{A}_2\text{B}_2\text{Z}(\text{OH},\text{F},\text{Cl})$, waarbij Z niet alleen Si maar ook gedeeltelijk Al, Ti en/of Be kan zijn. A en B staan voor de verschillende metalen, zoals bij de pyroxenen. De chemie van de amfibolen ziet er daarom bijzonder ingewikkeld uit. Dit is goed te zien aan de formule van het bekendste amfibool-mineraal: Hoornblende. Sommige van de pyroxenen en amfibolen vormen vezelige mineralen: asbest en asbestachtige aggregaten, die meestal speciale namen hebben. Hier volgt een opsomming van bekende amfibolen: Anthophylliet, Cummingtoniet, Glaucophaan, Arfvedsoniet, Tremoliet, Actinoliet, Hoornblende, Hastingsiet, Kaersutiet, Gedriet, Riebeckiet,



Afb. 2. Postzegel van Tristan da Cunha met pyroxeen-kristal, waarschijnlijk Augiet.