

Goudexploratie in Portugal

door Leo Stephan

Inleiding

Ekele maanden geleden vroeg de redeactie van Gea of ik een artikel over exploratie wilde schrijven. Ik heb ja gezegd maar men moet bedenken dat dit onderwerp zeer uitgebreid is en vele facetten omvat. Daarom heb ik besloten om het artikel grotendeels beperkt te houden tot geochemische exploratie voor het edele gele metaal, een onderwerp dat op zichzelf al groot genoeg is.

Wat is nu exploratie? Van Dale schrijft hierover: "het onderzoeken van een onbekend gebied inzake bodemschatten". Dat is simpel genoeg, maar is het wel zo eenvoudig?

Exploratie in het algemeen

Exploratie is multidisciplinair. Het omvat behalve geologie, geochemie, geofysica, scheikunde en natuurkunde ook politieke en economische disciplines. Op het ogenblik begint het grote publiek zich langzamerhand bewust te worden dat de afname van natuurlijke hulpbronnen een duidelijke bedreiging vormt voor onze gemakkelijke leefwijze. We kunnen ons afvragen wat er zou gebeuren als bijvoorbeeld de oliekraan ineens stopgezet zou worden. Of hoe de wereld eruit zou zien zonder koper of ijzer. In feite kunnen onze Westerse aspiraties van economische groei niet langer waargemaakt worden zonder een voortdurende groei en voorziening van de *natuurlijke hulpbronnen, de producten van succesvolle exploratie*. Aan de andere kant vinden we de mijnbouw maar een vies en arbeidsintensief gedoe dat we het liefst ver van ons bed verwijderd zouden zien. Dit is dan ook de voornaamste reden dat mijnbouw, dus tevens exploratie, zich langzamerhand naar derdewereld-landen verplaatst.

Ik zou hieraan willen toevoegen dat exploratie op zichzelf weer niet kan overleven zonder dat er prospectieve stukken land aanwezig zijn om te onderzoeken. Dit is de reden dat exploratie toch de actieve ondersteuning verdient van regeringen in verschillende landen, indien deze landen hun sociale doelstellingen willen halen.

Exploratie bestaat zolang de mens op aarde is. Het is een menselijke activiteit omdat zij zich voornamelijk bezighoudt met het behalen van successen, interessen en ambities, meer dan met de abstracte problematiek van de wetenschap. Exploratie gebruikt natuurlijk de wetenschap, maar is zelf geen wetenschap omdat haar doelstelling fundamenteel verschillend is.

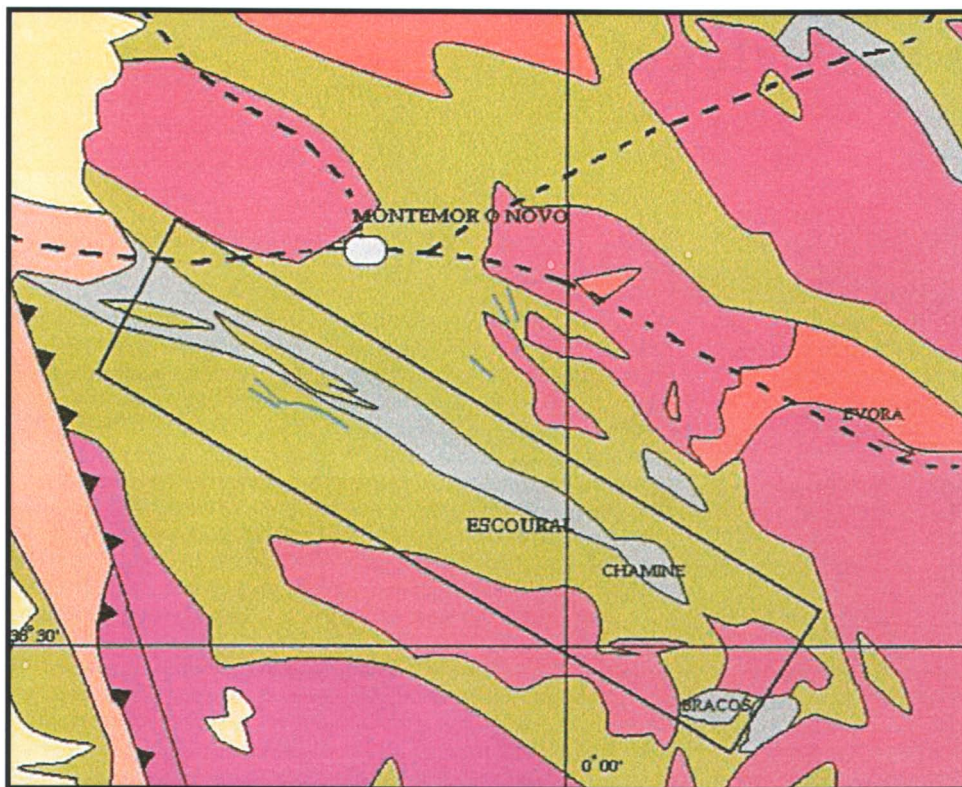
Wetenschap streeft naar begrip en exploratie streeft naar ontdekking. Voor een goeie junior exploratiegeoloog moet ontdekking het hoofddoel vormen. Dit kan gebeuren met of zonder wetenschappelijk begrip en op welke wijze dan ook. Een exploratiegeoloog moet behalve gevoel voor detail ook een goed ontwikkelde economische kennis hebben. Hij moet weten welke doelstelling zijn maatschappij nastreeft inzake grootte van de afzetting en het metaalgehalte van het erts. Hij zal het een en ander over de infrastructuur moeten weten en welke mijnbouw- en milieuwetgeving een land nastreeft. De maatschappij zelf zal ook moeten weten hoe ze te werk zal gaan. Sommige exploratiegroepen concentreren zich op een klein aantal goed uitgekozen grondstoffen. Gewoonlijk die grondstoffen, die al gemijnd worden en qua grootte, technische mogelijkheden en marketing in de filosofie van de maatschappij passen. Sommige groepen hebben een andere zienswijze en *zoeken naar alles wat geld opbrengt* met als voornaamste resultaat een verwatering van de krachtsinspanning. Ik wil dit punt toch even illustreren: het heeft weinig zin voor een maatschappij, die zich niet helemaal gelukkig voelt op het gebied van marketing, te zoeken naar grondstof-

fen die marketing-intensief zijn, zoals bijvoorbeeld industriële mineralen.

Indien een maatschappij besluit om in een vreemd land te exploreren dan vormt politiek risico het grootste gevaar en dit risico moet natuurlijk realistisch ingeschat worden. Het heeft ook weinig zin om in een land te exploreren waar, in het geval van ontdekking, de kans op nationalisatie groot is. Maar ook zullen maatschappijen zich wel twee maal bedenken of men landen met veel terroristenactiviteiten in de portefeuille zal nemen. Men moet zich goed realiseren dat een maatschappij of individu in de beginfase van exploratie in een land altijd welkom is, omdat er dan investeringen gemaakt worden en lokale bewoners te werk gesteld. De eigenlijke problematiek begint pas dan wanneer er een exploratiesucces geboekt is. Dan blijken de meeste landen ineens niet meer zo behulpzaam en zullen exploratiecontracten tot op het kleinste detail nageleefd moeten worden. Toch moet het politieke exploratierisico ook weer niet te veel overdreven worden, want men moet wel beseffen dat exploratie planning op lange termijn omvat. Tenslotte zijn maatschappijen sociale instituten, die, normaliter, regeringen overleven.

De keuze: exploratiefase 2

We gaan ervan uit dat de maatschappij het land of de landen van haar interesse heeft uitgekozen. Bovendien is er door de regering van het land toestemming verleend voor de exploratie. De politiek van het land is o.k. en men weet naar welk metaal of welke metalen geëxploreerd gaat worden. Het land van interesse is Portugal en ik zal hier als voorbeeld het metaal goud nemen. De geologen van de maatschappij hebben een model ontwikkeld welk type goudafzetting onder de loep genomen gaat worden. In ons geval nemen we als model *goud in vulkanische gesteenten*. Dit sluit andere typen goudafzettingen uit, zoals goud in kwartsaders, goud in metamorfe conglomeraten of alluviaal goud. We gaan nu naar de Portugese geologische dienst of naar het mijnbouwbureau en zoeken naar verdere informatie, met name over oude beschreven goudmijnen, goud in beken en rivieren, goudvoorkomens die al bekend waren in de oudheid. Let wel, 80 % van de nu bekende goudvoorkomens in Iberia waren al bij de Romeinen bekend. Kortom, de Romeinen waren uitstekende prospectors. We kijken behalve naar goud ook naar z.g. padvinderelementen. Dit zijn elementen die vaak geassocieerd met goud voorkomen, bijvoorbeeld arsenicum, antimoon, zilver, koper en kwik. We doen dus ook literatuuronderzoek naar mineralen zoals arsenopyriet, scorodiet, antimooniet, proustiet, pyrrgryiet, chalcopyriet, borniet, malachiet, cinnaber. Het veel voorkomende mineraal pyriet wordt niet overgeslagen, want ook dit mineraal kan kleine hoeveelheden goud in zijn rooster opnemen. Ook kijken we of er in de literatuur bepaalde omzettingen van het nevangesteente vermeld worden zoals alunitisatie of silicificatie. We bestuderen geologische kaarten en maken interpretaties van satellietbeelden. Er is vreselijk veel werk te doen. De keuze valt op een gebied met metavulkanieten (gemetamorfoseerde vulkanische gesteenten) waarvan arsenopyrietvoorkomens vermeld worden. Voor de rest is er weinig bekend. Tenslotte worden er nog enige veldchecks gemaakt, er worden bijvoorbeeld enkele arsenopyriethoudende gesteentemonsters genomen en aan goudanalyse onderworpen. Ze blijken verscheidene ppm Au (ppm = parts per million) te bevatten. Nu moeten we erbij stilstaan dat ontdekking van een metaalafzetting zonder de controle ter plaatse voor een mijnbouwfirmam alleen maar van academische waarde is. Dit brengt ons tot het punt om een exploratievergunning (concessie) voor het gebied



LEGENDA

Tertiaire en Kwartaire afzettingen	Post-Westfalische kalkalkalische graniet
Devoon	Pre-Westfalische alkalische graniet
Cambro-Silurische schisten	Kwartsporfieren en andere porfirische gesteenten van het Beja Massief
Cambro-Silurische metavulkanieten	kwartsaders
	overschuiving

Afb. 1. Ligging van de exploratieconcessie op een geologische kaart.

aan te vragen bij de Portugese regering. De aanvraag van zo'n concessie is een serieuze business en er gaan vaak maanden overheen voordat het eindcontract getekend kan worden. Een exploratieconcessie is bijvoorbeeld geldig voor een klein aantal jaren, en omdat niemand alleen maar geld aan exploratie wil uitgeven, moet er dus een mechanisme zijn dat voorziet in de overgang van een exploratieconcessie naar een mijnbouwconcessie,

want daar gaat het de mijnbouwfirma natuurlijk om. Een mijnbouwconcessie is veel kleiner (vaak enkele tientallen hectares) maar heeft een veel langere looptijd (vaak 20 jaar of meer). Ook voorziet het contract in royalties, dit zijn gelden die verband houden met de prijs van het gewonnen metaal of met de winst van de firma. Deze royalties bedragen vaak een aantal procenten en moeten aan de regering betaald worden zo gauw er winst gemaakt wordt of de mijn in werking is. Arbeidsvoorwaarden en het uit te voeren werk worden natuurlijk ook besproken. Ons oog is gevallen op een gebied van zo'n 200 km² in centraal Portugal, vlakbij de stadjes Montemor en Evora. Het contract voor dit gebied wordt tenslotte getekend. In afb. 1 ziet men de ligging van het te exploreren gebied, geplot op een geologische kaart.

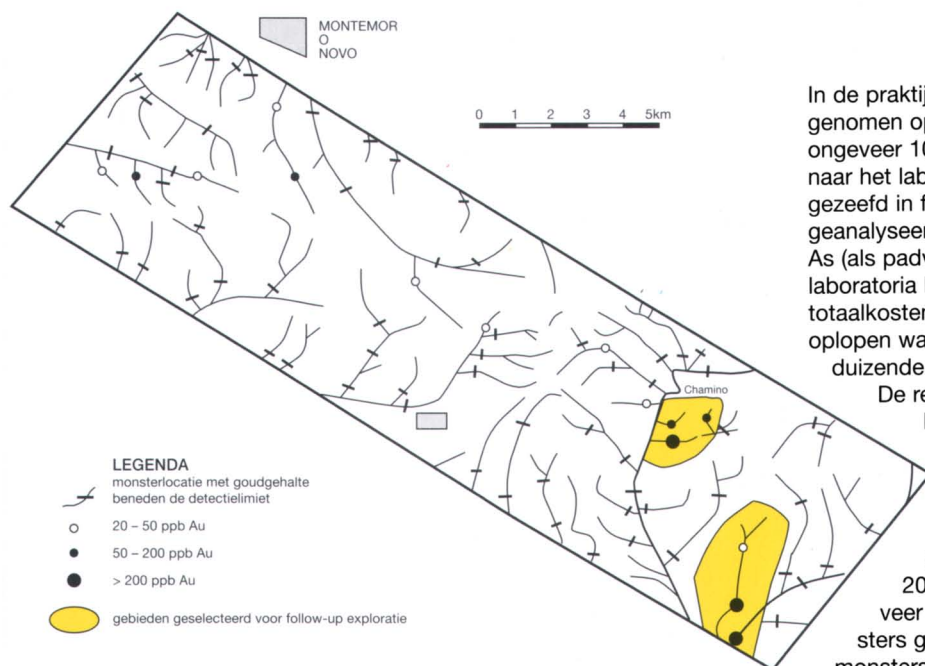
Systematisch beeksediment-onderzoek

We zijn nu aangekomen in de periode waarbij het eigenlijke veldwerk kan beginnen. Er wordt gestart met een systematische beeksediment-bemonstering. Meestal wordt er dan een monster per 1-2 km² genomen. We nemen geen monsters uit brede beken of rivieren maar alleen uit de kleine beekjes, dit vanwege het feit dat anders de vanggebieden te groot worden. De monsters worden daar genomen waar de sedimenten het meest ongesorteerd zijn, dus uit de actieve stroom. Omdat we naar goud exploreren worden er twee soorten monsters genomen, namelijk eentje gezeefd tot vaak minder dan een millimeter en de andere met de goud-

waspan om direct het goud aan te tonen. Dit is het goudwassen; het vereist een speciale techniek maar is niet moeilijk om aan te leren. Men gaat hierbij uit van een 3-4 kg zwaar monster van kiezels en fijnere sedimenten. Dit monster wordt door middel van een elliptische beweging gereduceerd tot er alleen nog een concentraat van zware mineralen overblijft, de aanwezige goudkorreltjes worden dan geteld (afb. 2).



Afb. 2. Verschillende stadia bij het wassen van goud.

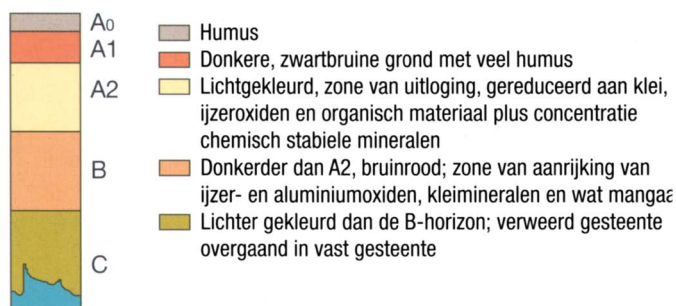


Afb. 3. Analyseresultaten (in ppb) voor goud in beeksedimenten in centraal Portugal, inclusief geselecteerde vanggebieden voor verder bodemonderzoek

Als er geen goudkorreltjes zijn dan wil dat toch niet zeggen dat er geen goud in het systeem zit, want het goud kan te fijnkorrelig zijn zodat je het niet ziet. Het kan ook in andere mineralen aanwezig zijn of je hebt gewoon pech bij het nemen van het monster. Er wordt daarom nog een z.g. conventioneel beeksedimentmonster genomen, dat gezeefd wordt. Dit gezeefde monster (50 gram) wordt naar het laboratorium gestuurd om geanalyseerd te worden voor het edele metaal en de padvinderelementen. De getelde goudkorrels van het eerste monster en de analytische resultaten van het tweede worden vervolgens op een kaart gezet (afb. 3).

Bodembemonstering: een volgende fase

Op basis van de resultaten van het systematische beeksedimentonderzoek plus alle gegevens die ons verder bekend zijn, bijvoorbeeld de regionale geologie of de aanwezigheid van gesteentedagzoom, wordt er besloten om de vanggebieden van enkele beken aan een gedetailleerd bodemonderzoek te onderwerpen. Het idee hierbij is dat de verhoogde goudgehalten ergens stroomopwaarts uit het vanggebied vandaan moeten komen. Logischerwijze wordt bodembemonstering in de eerste plaats toegepast in gebieden waar weinig outcrop (dagzoom) is. Anders waren de Romeinen ons zeker voor geweest! In de tweede plaats moeten we onderscheiden wat voor soort bodem het is, bijvoorbeeld of hij getransporteerd is dan wel residuair, of hij gerijpt is dan wel juveniel. Dus het bodemprofiel is van belang. Normaliter wordt bij een geochemisch bodemonderzoek de z.g. B-horizon bemonsterd, zo ook in de Montemor-concessie in Portugal.



Afb. 4. Hypothetisch bodemprofiel in een gematigd klimaat.

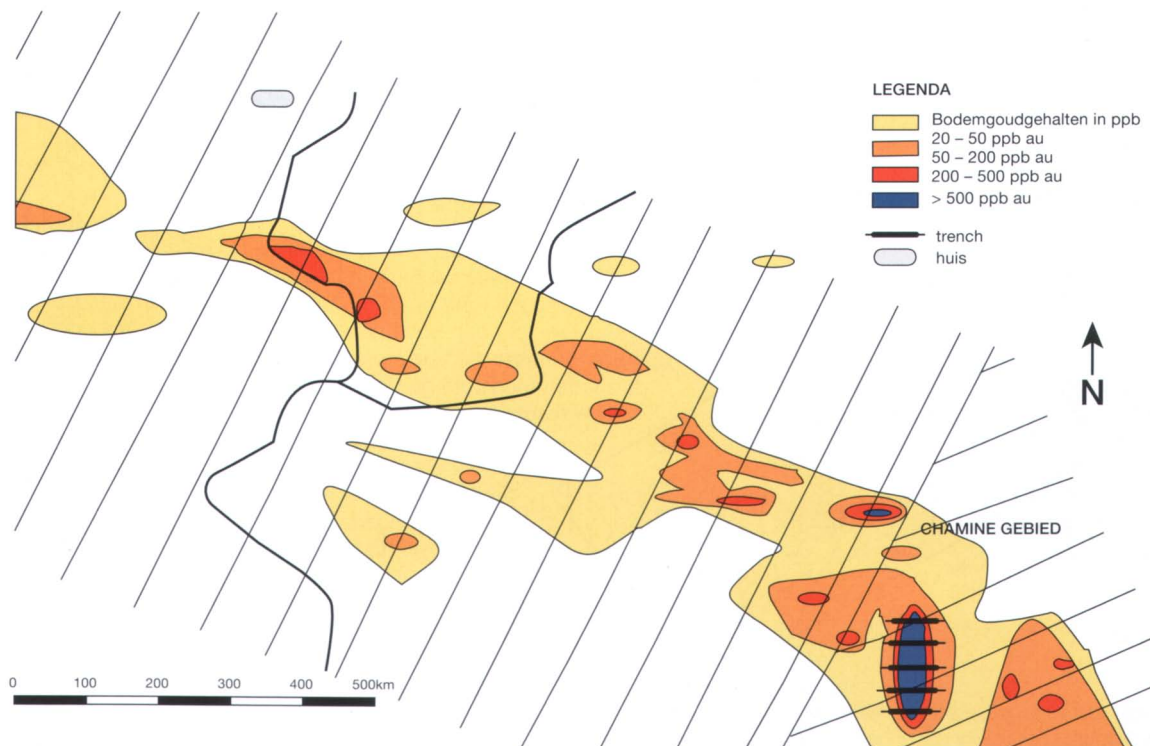
In de praktijk worden de bodemonsters met een handboor genomen op een diepte van ongeveer 40 cm. Daarna wordt ongeveer 100 gr. in een zakje gedaan; dit wordt genummerd en naar het laboratorium gestuurd. Hier worden de monsters gezeefd in fractie van < 80 mesh (inch²). Deze fractie wordt dan geanalyseerd op goud: Au (het hoofdmetaal) en arsenicum: As (als padvinderelement). De analysekosten bij commerciële laboratoria liggen rond de 5 tot 10 US dollar per monster. De totaalkosten voor een bodemonderzoek kunnen dus behoorlijk oplopen wanneer men bedenkt, dat bij zo'n onderzoek vaak duizenden monsters genomen worden.

De resultaten worden vervolgens teruggestuurd naar het lokale kantoor. U zult zich afvragen wat voor soort bemonsteringsrooster er gebruikt wordt. Dat is verschillend voor het type afzetting dat men verwacht te vinden. Wij besloten op traversen met 100 m tussenruimte loodrecht op de regionale strekking. Bemonstering van de traverse vond iedere 20 meter plaats. De bemonsteringslijnen waren ongeveer 1 km lang, dus er worden per lijn ongeveer 50 monsters genomen. Een team van twee man kan ongeveer 100 monsters per dag nemen in een redelijk open en vlak terrein. De analytische resultaten voor goud en arsenicum worden dan geplotted op een kaart en gecontourd (lijnen met dezelfde analysewaarden). De goudanalyses worden uitgedrukt in ppb (parts per billion). Dit betekent dat een deeltje op een miljard deeltjes uit goud bestaat. De resultaten voor arsenicum worden meestal uitgedrukt in ppm (parts per million) omdat dit element meer in onze aardkorst voorkomt. We kunnen nu gebieden met verhoogde goud- en arseengehalten, zogenaamde anomalieën, onderscheiden. In afb. 5 zijn de goudgehalten in de grond weergegeven. Het beste is natuurlijk wanneer goudanomalieën samenvallen met die van arseen.

Ontsluiten

In dit stadium hebben we nog geen gegevens over enig goudhoudend vast gesteente. Die willen we natuurlijk wel weten. De precieze locatie van de goudanomalieën is echter bekend en wordt nog eens bevestigd door verhoogde gehalten aan het padvinderelement arsenicum. Reliëf is zo goed als niet aanwezig, dus er is goede hoop dat de oorsprong van de anomalie in het moedergesteente eronder ligt. Dit in tegenstelling tot gebieden met een matig tot steil reliëf, waar vaak zogenaamde valse (verplaatste) anomalieën voorkomen. Een pluspunt is tevens dat de bovengrond maar 1-2 meter dik is. Daarom is de goedkoopste en eenvoudigste oplossing het inhuren van een graafmachine om het vaste gesteente te ontsluiten. Dit gebeurt door het graven van enige lange trenches. Dit zijn sleuven in de grond loodrecht georiënteerd op de strekking van de bodemanomalie (afb. 5). Op de bodem van de sleuf wordt nu een "onafgebroken chipsample" uitgebeiteld. Dit gebeurt over een lengte van 5 meter per monster (afb. 6).

De sleuf is langer dan 100 meter, dus er worden meer dan 20 chipsamples per sleuf genomen. Ieder chipsample heeft een gewicht van ongeveer 5 kilo en wordt naar het laboratorium gestuurd voor goud- en arseenanalyses. Hoewel het gesteente helemaal verweerd is wordt het ook zo goed mogelijk petrografisch beschreven. In het Chamino-gebied worden de vijf trenches volledig bemonsterd. De analyse-resultaten laten economisch winbare goudgehalten zien. Het groenige secundaire arseenhoudende mineraal scorodiet $\text{Fe}(\text{AsO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ komt veelvuldig in de trenches voor en we vermoeden dat de vorming van dit mineraal een gevolg is van de oxidatie van arsenopyriet (FeAsS). Arsenopyriet is een sulfide en de meeste sulfiden zijn gevoelig voor geofysische exploratie met elektrische methoden, bijvoorbeeld I.P. (induced polarisation). Dit is redelijk goedkoop en natuurlijk passen we het toe om verdere gegevens over de diepere ondergrond te krijgen. Helaas waren de resultaten moeilijk te interpreteren. Dit kan allerlei oorzaken hebben die ik niet zal behandelen omdat dit weer een vak apart is.



Afb. 5. Bodemgeochemie voor goud in het Chamine-gebied van de Montemor-concessie



Afb. 6. Trenches te Montemor

Boren

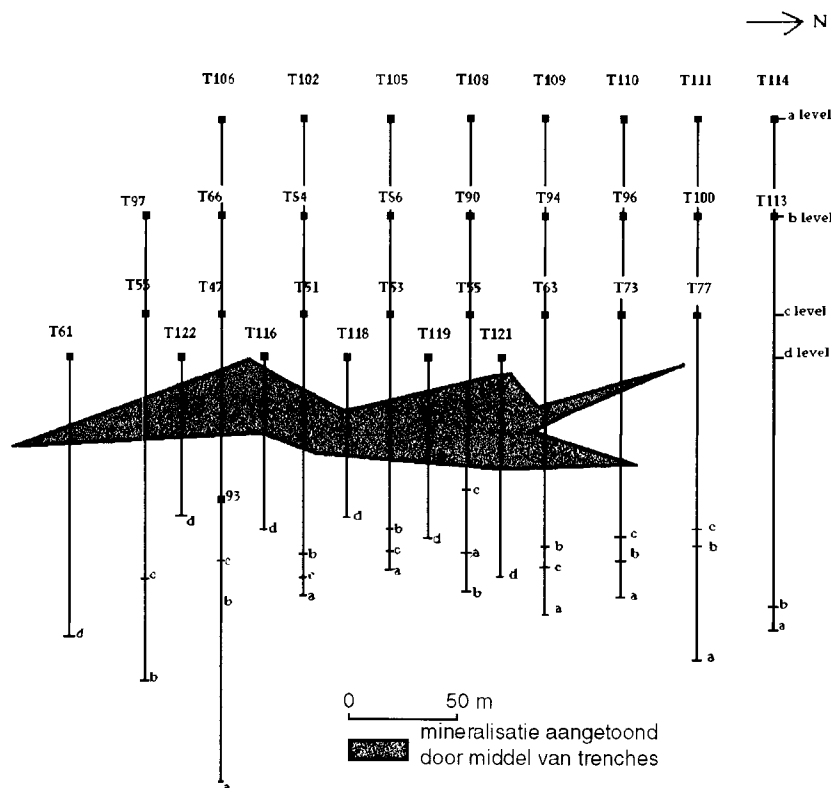
Dit is ongetwijfeld de meest spannende fase in een exploratie-programma. Het maakt het verschil uit tussen falen en succes. We hebben nu goudhoudend vast gesteente aan het oppervlak aangetoond over een breedte van zo'n 25-40 meter en een lengte van 250 m (afb. 7). We willen bewijzen dat het ook op diepte voorkomt, want alleen dan krijg je een driedimensionale indruk en kan je bepalen wat de reserves zijn. Dit doen we met kernboringen (afb. 8).

Door middel van offertes wordt een geschikte boormaatschappij uitgezocht. Hij moet voldoen aan de eisen die er gesteld worden, bijvoorbeeld het onder hoeken kunnen boren, boren tot op grotere diepte, snelheid van het boren, diameter van de boorgaten, precisie en natuurlijk ook een goede prijs per meter. De boormaatschappij kan eisen dat de toegang tot het terrein in orde is, dat er een goede overeenkomst met de landeigenaren gemaakt is, etc., want men is natuurlijk alleen maar geïnteresseerd in het boren zelf. Dan wordt er een contract gesloten voor een totaal van enkele duizenden meters met een optie tot meer.

De diameter van de boorgaten zal variëren van ongeveer 5 - 10 cm. Het contract omvat verder dat er voornamelijk geboord zal gaan worden onder een hoek van 45° met de verticaal, want er wordt aangenomen dat het ertslichaam zich verticaal naar de diepte zal uitstrekken. De trenches noch de geofysica hebben namelijk uitkomst gebracht over de *dip* (helling) van het ertslichaam. Dat is jammer, maar niet abnormaal. De gemiddelde kosten per meter boorkern worden bepaald op zo'n 150 euro. Het boorcontract wordt vervolgens getekend. Dan wordt er begonnen met het boren (afb. 8) van de eerste rij boorgaten op de c-level T 50, 47, 51, 53, 55, 63, 73 en 77. Deze boorgaten liggen vlakbij de goudhoudende ontsluiting, want vooral met de eerste boorgaten mag je niet missen. Dit is slecht voor het moreel. Er wordt dan ook niet gemist. Het azimuth en de richting worden opgemeten zodat we precies het driedimensionale verloop van het boorgat kennen.

Omhoog gebrachte boorkernen worden centimeter voor centimeter door de geoloog beschreven op petrologische en mineralogische kenmerken, met natuurlijk speciale aandacht voor zichtbaar goud, arsenopyriet en andere primaire sulfiden, soort van gesteente en omzettingen. Op kantoor worden dan de gegevens grafisch weergegeven. Vervolgens worden de kernen doormidden gezaagd en in speciale boxen (afb. 9) gelegd. De ene helft van de boorkernen blijft in de boxen en de andere wordt naar het laboratorium gestuurd voor analyse.

Nu vindt er een soort gedaanteverandering bij de geologen plaats: de goudgehalten worden niet meer weergegeven in het academische p.p.m. au maar in grammen au per ton (gr au/t). Het komt in feite op hetzelfde neer maar in grammen per ton krijgen economische gedachten meer de overhand; we weten immers dat een ounce ongeveer 31 gr goud bevat en een waarde heeft van laat ik zeggen US \$ 400 (begin 2004). Dus 1 gram goud kost 12 of 13 US \$. Met andere woorden: als één ton gesteente 1 gr au bevat heeft deze ton een potentiële waarde van US \$ 13.



Afb. 7. Boorgatenschema te Chamine (Montemor-gebied)

geboord kan worden door schuld van de opdrachtgever kost het hem geld, vaak bijna evenveel als het boren zelf. Alle informatie helpt nu. We krijgen enkele heel goede intersecties (doorsnijdingen) terug, bijvoorbeeld in boorgat T55 12gr au/21.0m (dit betekent een gemiddelde van 12 gr goud per ton over een boorkernlengte van 21.0 m) en vervolgens nog een intersectie van 21.8 gr au/7.0 m (afb. 10).

Iedereen is geweldig enthousiast over deze prachtige resultaten. Wanneer het boren vordert worden er ook longitudinale secties gemaakt.

Aan de hand van dunne doorsneden en polijstvlakken wordt er bepaald hoe het goud voorkomt en wat de karakteristieke eigenschappen van het erts zijn. Het blijkt dat het goud vrij voorkomt in het gesteente (voornamelijk kwarts), maar ook als insluitels in de arsenopyriet. Later wordt nog een gedeelte van de boorkernen onderworpen aan testwerk ten behoeve van mineraal-scheiding. Het blijkt dat het erts ook goed loogbaar is met cyaan (een uiterst giftige stof). Dus allemaal positief nieuws.

Groot was dan ook de teleurstelling toen de boorresultaten van de b-level slechts dunne en laaggradige intersecties weergaven, terwijl de boorgaten van het a-niveau het ertslichaam volledig misten (afb. 11).

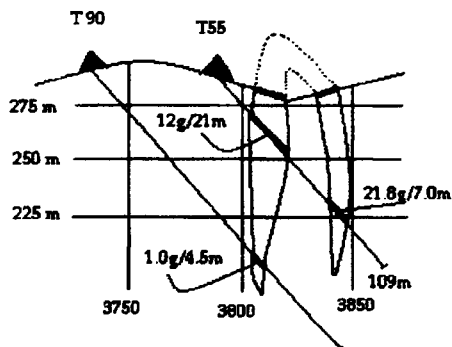


Afb. 8. Kernboren onder een hoek van 45°

Het laboratorium zendt de goudanalyses van de boorkernen zo snel mogelijk terug, want er moeten beslissingen genomen worden betreffende de volgende boorgaten. De rigs (boorinstallaties) moeten namelijk altijd bezig zijn, want in het geval er niet



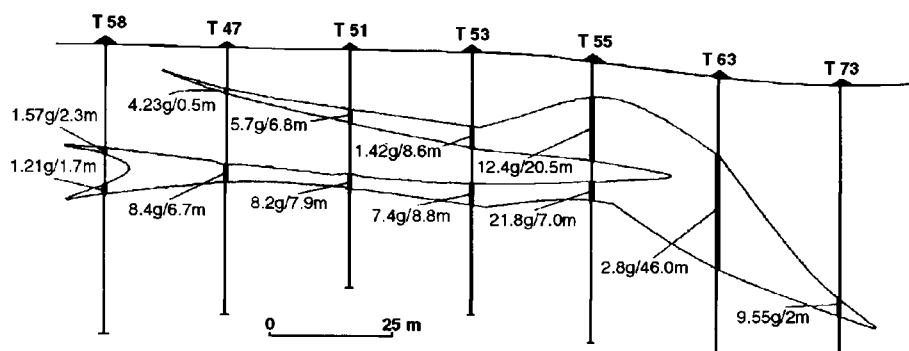
Afb. 9. Gesilicificeerde en gebroken goudhoudende boorkern in boorkernkist



Afb. 10. Dwarsdoorsnede door de boorgaten T55 en T90, Chamine prospect, Montemor o Novo

Het bleek dus dat het erts zich niet naar de diepte uitstrekte en we kwamen er snel achter dat de geometrie van het ertslichaam (helaas) een soort langgerekte sigaar vormde die zo'n 25° naar het noorden helde. Later kwamen we erachter dat dit soort afzettingen veel gelijkenis vertoonde met die van Archaische Greenstone Belts in de shear-zones (schuifzones) van de schil-den van Afrika, Australië en Canada. In het hele Montemor-gebied werden nog een tiental verdere goudvoorkomens aangetoond. Alle vormden grotere of kleinere lenzen. De belangrijkste was die van Chamine met reserves van ongeveer een half miljoen ton met een gemiddeld gehalte van ongeveer 5gr au / t. Dit was voor onze maatschappij te klein, maar het was en bleef een technisch succes. Daar konden we ons mee troosten.

L.A. Stephan, Wangs Zwitserland



Afb. 11. Longitudinale doorsnede door de eerste lijn boorgaten te Chamine. De boorgaten zijn geprojecteerd op een verticaal vlak, gekeerd naar het westen.

GEOCOMpositie 1

Mineralen in pijpleidingen voor geothermische energie

Het winnen van aardwarmte brengt technisch grote problemen met zich mee. Een van de belangrijkste redenen is dat het warme water tal van opgeloste stoffen bevat die corroderend werken, terwijl bij afkoeling vaak mineralen ontstaan die neerslaan op plaatsen waar dat ongewenst is. Bij het gebruik van heet water uit de diepe ondergrond in tektonisch rustige gebieden (zoals Nederland) valt dat overigens nog wel mee; waar echter gebruik wordt gemaakt van hete bronnen (zoals op IJsland en in Nieuw-Zeeland) is sprake van vulkanische activiteit en een groot aantal opgeloste stoffen (vaak sterk zwavelhoudend) die gemakkelijk problemen veroorzaken. Voor mineralogen heeft dit echter weer een positief bij-effect: in de pijpleidingen die in vulkanische gebieden worden gebruikt voor het transport van stoom en heet water t.b.v. stadsverwarmingsprojecten, kunnen uiteenlopende mineralen worden gevonden die elders zelden voorkomen. In Nieuw-Zeeland zijn dergelijke mineralen onderzocht, zoals ze worden gevormd in de installaties waar heet water uit twee diepe productiebronnen (tussen 900 en ruim 2000 m) wordt verwerkt in een installatie voor elektriciteitsopwekking (24 megawatt elektrisch) en warmteproductie. Op de plaats waar het water uit-treedt uit productieput RK-9, heeft het een temperatuur van 224 °C en een druk van 25 bar. Door de plotseling veranderende condities ontstaan silicaschilfers die sterk aangerijkt zijn met koper (5,6%), zilver (4,0%), tellurium (3,0%), zink (1,5%), lood (0,6%) en goud (0,2%). Zilver, goud, koper en lood vormen telluriden; zink, koper en lood vormen (ook) sulfiden, en goud komt groten-deels in gedegen vorm voor. Naarmate het water verder 'stroom-afwaarts' door het buizensysteem van de installaties wordt ge-

transporteerd, nemen de bovengenoemde percentages snel af. Er worden echter ook elementen deels in gasfase meegevoerd, en die worden wel verder 'stroomafwaarts' teruggevonden. Het gaat daarbij vooral om kwik, bismut, arsenicum, selenium, antimoon en zwavel in gereduceerde vorm. Door geleidelijke afname van de oplosbaarheid in het transporttraject ontstaan verschil-lende soorten opaal (opaal-A en opaal-CT), maar ook wordt daardoor weer een hogere concentratie bereikt van basis- en edelmetalen op de meegevoerde schilfers.

De aanvankelijk behoorlijk agressieve water/stoom-combinatie leidt in het buizensysteem tot aanzienlijke corrosie. Daardoor ont-staan in het water hoge(re) concentraties van in het metaal voor-komende sporenelementen zoals fosfor, chroom, nikkel, man-gaan en molybdeen. Selectieve binding of sorptie van elementen aan of door opaal leidt tot hogere concentraties van lithium, bismut, chloor en fosfor; sorptie door de corrosieproducten goethiet en pyriet leidt tot verhoogde concentraties van chroom, mangaan, nikkel, koper, zink en molybdeen, respectievelijk koper, zink, arseen, kwik, antimoon en selenium.

Door de aanwezigheid van al deze stoffen in water dat aan sterk wisselende omstandigheden wordt blootgesteld, is het niet ver-wonderlijk dat in het buizensysteem een heel scala aan minera-len is te vinden. De belangrijkste daarvan zijn haliet (NaCl), syl-vien (KCl), opaal (SiO₂), chalcedoon (SiO₂), Ca-smectiet, hessiet (Ag₂Te), stutriet (Ag₅Te₃), 'x-fase' (Ag-AuTe), altaiet (PbTe), pyriet (FeS₂), pyrrhotiet (Fe_{1-x}S_x), sfaleriet (ZnS), wurtziet (ZnS), vaal-erts ([Cu,Fe]₁₂As₄S₁₃), pentlandiet ([Fe,Ni]₉S₈), milleriet (NiS), galeniet (PbS), chalcopriet (CuFeS₂), borniet (Cu₅FeS₄), magne-tiet (Fe₃O₄), maghemiet (γ-Fe₂O₃), hematiet (Fe₂O₃), goethiet (FeOOH), scheeliet (CaWO₄) en gedegen goud (Au) en zwavel (S). Een waar lustoord dus voor mineralogen!

Reyes, A.G., Trompeter, W.J., Britten, K. & Searle, J., 2002. Mineral deposits in the Rotokawa geothermal pipelines, New Zealand. Journal of Volcanology and Geothermal Research 119, p. 215-239.

A.J. van Loon