

GOUD

en goudmineralen

door Eric Vercammen
met medewerking van Herman van Dennebroek

Goud is een heel bekende stof, vooral in de vorm van munten, juwelen of goudstaven. Wegens zijn kostbaarheid wordt er al heel lang naar gezocht, soms op zo'n verwoede wijze dat het begrip "goudkoorts" een begrip geworden is. Op school leerden we dat het zoeken naar goud de stoot gaf tot de ontdekkingsreizen: de Argonauten die vanuit het oude Griekenland op zoek gingen naar het "gouden vlies", de conquistadores die Eldorado najoegen, de *goldrush* naar Californië in 1849 die in heel wat films behandeld werd; ook het liedje *My darling Clementine* is erop gebaseerd. In die films is het vinden van een klomp(je) blinkend goud meestal één van de hoogtepunten, als het tenminste niet gaat om stofgoud dat opglanst nadat een deken (heel "toevallig") in een riviervloei hing. Goud komt inderdaad hoofdzakelijk voor als zuiver metaal, als wat mineralogen "gedegen goud" noemen: dat is dus een scheikundig element dat zelfstandig (dus niet in verbinding met een ander element) in de natuur voorkomt; andere voorbeelden hiervan zijn ijzer in meteorieten, zwavel en arseen.

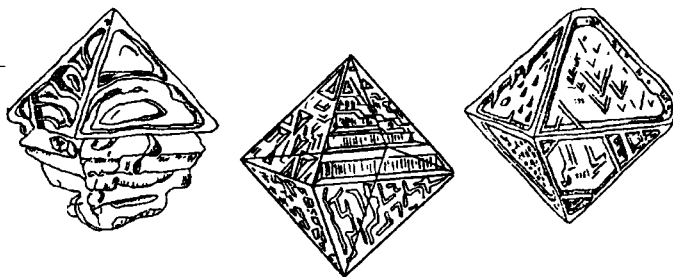
Goud als mineraal

Goud is dus een mineraal, en het behoort tot groep I, de Elementen. De formule ervan is heel eenvoudig: Au, dus het scheikundige symbool voor goud, dat gevormd is uit de beginletters van het Latijnse woord voor goud: *aurum*. Goud komt in de natuur voor in rivierzanden als stofgoud maar ook als klompjes, die de naam *nuggets* krijgen. Afb. 1. Dat goud is in die rivieren terechtgekomen als afbraakmateriaal van gesteentes die goudhoudende aders bevatten. In die aders komt goud voor als korreltjes, soms zelfs te fijn

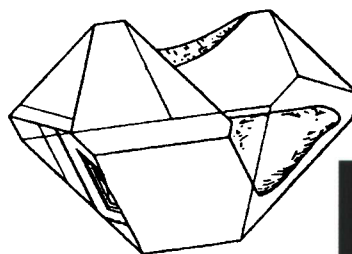
om met het blote oog te kunnen waarnemen, maar af en toe zijn er ook erg fraaie stukken te vinden: platen, draden, en uitzonderlijk ook goed gevormde kristallen. Die maken duidelijk dat goud tot het kubische kristalstelsel behoort, want ze hebben de vorm van o.a. kubussen, octaëders en rhomben-dodekaëders. Afb. 2 en 3.

Soms kost het wel wat moeite om die vormen te herkennen omdat veel goudkristallen vervormd en/of in één richting uitgerekt optreden, terwijl er ook heel fraaie boomvormige groepjes goud te vinden zijn. Afb. 4, 5 en 6.

Andere eigenschappen van goud zijn het hoge soortgelijke gewicht van 19,3 gram per cm³ en de hardheid van 2,5 tot 3 op de schaal van Mohs: dat is zowat even hard als calciet, wat voor een metaal wel erg zacht is. Tegelijk is goud goed



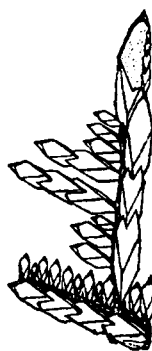
Afb. 2. Goudkristallen afkomstig uit Syserts, Oeral (naar V. Goldschmidt).



Afb. 3. Vergroeide goudkristallen met octaëdervlakken.



Afb. 1. "The Boot of Cortez". Een goudnugget van meer dan 14,5 kg. Gevonden in 1899 met behulp van een metaaldetector in de Sonora Woestijn te Arizona, USA. Gefotografeerd tijdens de beurs in Tucson 2004.



Afb. 5. Parallel gegroeide goudkristallen uit Oregon, USA (naar V. Goldschmidt).

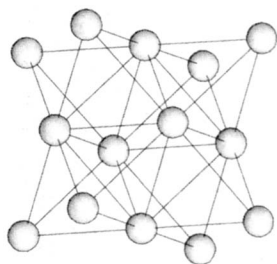


Aaneengegroeide goudkristallen, Mockingbirdmijn, Mariposa county, California, USA. Beeldveld 3,6 x 1,4 cm. Collectie W.R. Moorer.

smeedbaar: bij hameren kan het vlot tot een dunne plaat uitgeklopt worden, terwijl de meeste andere mineralen zullen breken of versplinteren, en andere metalen veel moeilijker te bewerken zijn. Nog een gevolg daarvan wordt in films getoond, waar men in een gekregen munt bijt om te zien of het wel uit echt (en dus zacht en bijtbaar) goud bestaat. Aan de andere kant is het wel zo dat nauwelijks een ander metaal met goud verward kan worden, vooral omwille van de spreekwoordelijke gele kleur; de naam "goud" zou trouwens dezelfde stam hebben als het woord "geel". Voor de volledigheid wordt nog herinnerd aan de sterke (metaal)glans van goud.



Afb. 6. Aaneengegroeide goudkristallen, Murphys mijn, California, USA. Beeldveld 2,1 x 1,5 cm. Collectie W.R. Moorer.



Afb. 7. Structuur van goud, zilver en koper.

De metalen zilver (Ag) en koper (Cu) komen ook in gedegen vorm voor (en zijn dus ook mineralen) en zij hebben dezelfde kristalstructuur als goud. Afb. 7. Met de atomen van koper is er veel verschil in grootte zodat er weinig koperatomen de plaats van goudatomen kunnen innemen. Met zilver is het verschil veel kleiner, zodat deze beide metalen in alle verhoudingen kunnen mengen. Dat heeft zijn invloed op de kleur, zodat goud door bijmenging van zilver bleker zal worden. De Grieken gaven aan deze natuurlijke legering de naam *elektrum*. Wegens de gelijkenis in kleur werd deze naam later overgedragen aan barnsteen (geel amber). Dat heeft de eigenschap tot het aantrekken van vezels en haren na opwrijven met wol of katoen: zo werd de naam elektriciteit aan die kracht gegeven.

Goudmineralen

Tot nu toe was er alleen sprake van gedegen goud als mineraal, omdat dit de meest voorkomende vorm is. Goud is

inderdaad wat een "edel metaal" genoemd wordt, dat niet of moeilijk reageert met andere stoffen, en dat dus ook niet dof wordt of roest.

Veel minder bekend is evenwel dat goud onder de juiste omstandigheden toch met een aantal andere elementen kan reageren, en blijkbaar zijn die omstandigheden in de aardkorst op heel wat plaatsen vervuld, waardoor er heel wat goudmineralen bekend zijn. Zij zijn weliswaar erg zeldzaam en klein, maar omdat ze het kostbare goud bevatten worden ze intensief gezocht door de mijnbouwers maar ook door (gespecialiseerde) mineralenverzamelaars. Een goede kennis van de vormen waarin goud in een mijn optreedt zal trouwens de winning ervan (en dus ook het rendement) zeer ten goede komen.

De eerste groep goudmineralen zijn geen echte verbindingen maar hebben meer het karakter van een legering tussen metalen. Het gaat dan wel om legeringen met vaste verhoudingen tussen de samenstellende elementen en met een geordende eigen structuur, zodat ze dus wel zelfstandige mineralen zijn. Deze mineralen behoren evenals goud tot groep I, de Elementen.

Een eerste groep is samengesteld uit goud en koper (Cu):

- * **auricuprid**: formule Cu_3Au en bestaat dus uit 1 atoom goud voor 3 atomen koper; het is in het kubische stelsel gekristalliseerd; komt voor als kleine, gele en zachte aggregaten en korrels; is ontdekt in de Oeral;
- * **cuproaurid**: hierin zijn goud en koper "omgewisseld", wat de formule CuAu_3 oplevert; eveneens kubisch;
- * **tetra-auricuprid**: CuAu en bestaat dus uit gelijke delen goud en koper; dit kristalliseert in het tetragonale stelsel, vanwaar ook de naam; alleen uit China bekend, waar het als microscopische gele korrels optreedt.

Er zijn ook twee gelijkaardige mineralen die samengesteld zijn uit goud en lood (Pb):

- * **anyuiiet**: met als formule AuPb_2 ; tetragonaal; zilver- tot dof grijze korrels in de Bolshoi Anyui rivier in Kolyma (het noordoosten van Siberië);
- * **hunchuniet**: met als samenstelling Au_2Pb ; kubisch.

Tenslotte vormt goud ook mineralen met kwik (Hg):

- * **weishaniet**: formule $(\text{Au},\text{Ag})_{1,2}\text{Hg}_{0,8}$; kristalliseert hexagonaal, maar komt alleen voor als bleekgele microscopische aggregaten; gevonden in de Poshanmijn bij Tongbai in China;
- * **goudamalgaam**: samenstelling $(\text{Au},\text{Ag})_2\text{Hg}_3$; kubisch; beschreven uit Hongshila, Hebei, China.

Voor de volledigheid kan nog vermeld worden dat goud nog andere elementen dan zilver kan opnemen als bijmenging, toevallig en zonder vaste verhoudingen tussen de delen. Het gaat dus niet om zelfstandige mineralen maar om het mineraal goud in onzuivere vorm. Vanwege het economische belang krijgen deze variëteiten wel een naam toebedeeld. Voorbeeld hiervan is goud met bijgemengd palladium (een edel metaal van de platinagroep), dat porpeziet genoemd is naar de havenstad Porpez in Brazilië. Daar komt het evenwel niet vandaan, wel van Goyaz (dat zijn naam gegeven heeft aan het mineraal goyaziet). In de natuur komen verder de variëteiten rhodiet en irauriet voor, die bijmengingen van rhodium respectievelijk iridium bevatten.

Goudverbindingen

In de natuur komen evenwel ook heel wat echte verbindingen met goud voor, die dus ook eigen mineralen zijn. Op één uitzondering na zijn ze alle te vinden in groep II, de sulfides: dit zijn verbindingen van metalen met zwavel (symbool S, naar *sulfur* in het Latijn), maar ook met arseen (As), antimoon (Sb), bismut (Bi), selenium (Se) en tellurium (Te).

maldoniet: kreeg zijn naam naar Maldon in Australië, waar het als metaligrijze zachte korrels en octaëders in kwarts zit; kubisch; de formule is Au_2Bi maar dikwijls is het mineraal uiteengevallen in doorelkaar gegroeid goud en bismut;

bogdanoviet: ontdekt in Kazakstan; lijkt kubisch maar behoort mogelijk tot het rhombische stelsel; geen kristallen bekend; hardheid 4,5 en de kleur is rozig tot bronsachtig bruin; de formule is ingewikkeld: $(\text{Au}, \text{Te}, \text{Pb})_3(\text{Cu}, \text{Fe})$;

uytenbogaardiet, fischeriet en petziet: deze drie mineralen zijn tetragonaal en hebben als formule respectievelijk Ag_3AuS_2 , Ag_3AuSe_2 en Ag_3AuTe_2 wat betekent dat het verschil gemaakt wordt doordat in de formule zwavel is vervangen door selenium of tellurium; ontdekt in Indonesië respectievelijk Tsjechië en Roemenië; grijs van kleur en zacht; geen kristallen bekend; petziet is het meest verbreid, in afzettingen met zilver, goud en tellurium in o.a. Colorado en Californië, Canada, Kazakstan en Australië. (Willem Uytendogaardt, Nederlandse mineraloog, geboren 1918, mineraal naar hem genoemd in 1978; typelokaliteit: Tambang Sawah, Benkoelen district, Indonesië);

kuriliet: ook genoemd naar de vindplaats, te weten de vulkanische gordel die loopt van de Kurilen naar Kamtsjatka; kubisch, en als formule $(\text{Ag}, \text{Au})_2(\text{Te}, \text{Se}, \text{S})$;

bilibinskiet: afkomstig uit Kazakstan; formule is $(\text{Ag}, \text{Cu})_4\text{Au}(\text{S}, \text{Se})_4$; kristalliseert pseudokubisch en is roze-bruin;

bezsmeretnoviet: ook uit Kazakstan; rhombisch kristalstelsel; samenstelling $\text{Au}_4\text{Cu}(\text{Te}, \text{Pb})$; treedt op als goudgele, microscopische korrels;

muthmanniet: met als formule AgAuTe_2 is ontdekt in Roemenië, waar het als rhombische kristallen in tafelvorm en met een perfecte splijting optreedt; zacht; zilvergrijs op verse breuk maar wordt messinggeel aan de lucht;

petrovskaiet: weer uit Kazakstan, waar het voorkomt als microscopische, donkergrijze randjes rond goudkorrels; formule AgAuS ; is zacht en behoort tot het rhombische stelsel;

yuanjiangiet: als zilverwitte, microscopische korrels uit het grint van de Yuanjiang-rivier in China; bevat tin met als symbool Sn, zodat de formule AuSn luidt; kristalliseert hexagonaal;

montbrayiet: werd ontdekt in Montbray in Canada, waar het als zachte geelwitte korrels en massa's optreedt; het is triklien en de samenstelling is Au_2Te_3 ;

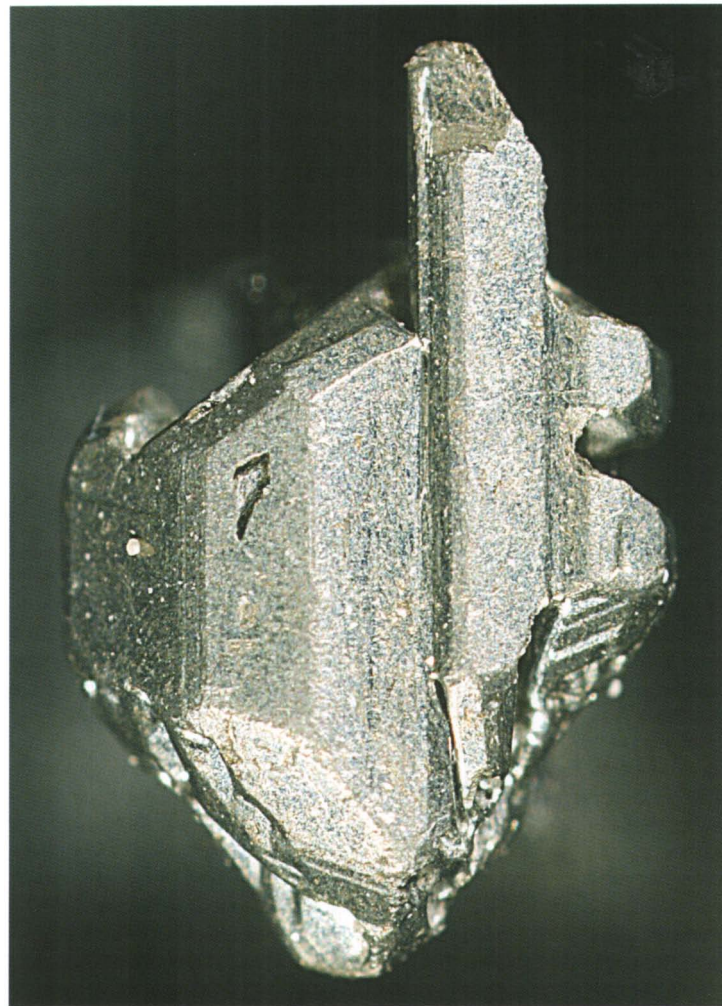
penzhiniet: dit hexagonale mineraal is genoemd naar zijn vindplaats, de Penzhinarivier in Kamtsjatka, waar het voorkomt als microscopische korrels met groengrijze tot crèmegele kleur; de formule ervan luidt $(\text{Ag}, \text{Cu})_4\text{Au}(\text{S}, \text{Se})_4$;

nagyagiet: is genoemd naar de plaats die bij de ontdekking in 1845 Nagyag heette en toen deel uitmaakte van het Oostenrijks-Hongaarse keizerrijk, maar bij de onafhankelijkheid van Roemenië na WO I werd de naam veranderd in Sacarimb (zoals veel namen toen veranderden in heel Centraal-Europa); de erg ingewikkelde formule luidt $\text{Pb}_{13}\text{Au}_2\text{Sb}_3\text{Te}_6\text{S}_{16}$. Het mineraal is pseudotetragonaal maar behoort tot het rhombische stelsel; het is zacht en donkergrijs van kleur; de duntafelige kristallen hebben een goede splijting. Nagyagiet komt vooral voor als lamellen en bladerige aggregaten;

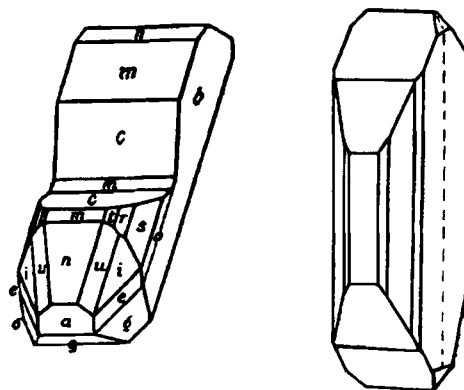
buckhorniet: de naam komt van de Buckhornmijn bij Jamestown in Colorado; zwarte, zachte kristalplaatjes die tot het rhombische stelsel behoren; samenstelling $\text{AuPb}_2\text{BiTe}_2\text{S}_3$.

De volgende vier mineralen vormen belangrijke goudertsen, die al langer bekend zijn en bij gelegenheid in grote kristallen optreden; naast de goudwaarde die ze hebben zijn ze ook esthetisch en om die redenen zijn ze gezochte mineralen. Door verwerking van deze tellurides komt goud vrij in een typische vorm, die af te leiden is uit de naam "mosterdgoud" ervoor.

* **sylvaniet:** is zacht en staalgrijs tot zilverwit; behoort tot het monokliene stelsel en vormt langgerekte kleine kristallen, die dikwijls vertweelind zijn; deze liggen dikwijls plat naast elkaar in een karakteristiek patroon dat dit mineraal



Afb. 8. Sylvaniet, El Paso mijn, Cripple Creek, Colorado, USA. Grootte 0,4 x 0,65 cm. Collectie W.R. Moorer.



Afb. 9. Links: sylvanietkristal uit Offenbanya, Roemenië (naar V. Goldschmidt). Rechts: sylvanietkristal naar Klockmann.

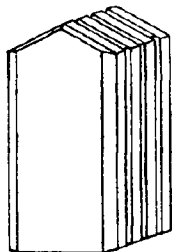
de bijnaam "schrifferts" opleverde, terwijl de naam komt van Transsylvanië, dat deels is gelegen in het huidige Roemenië; de formule luidt AuAgTe_4 . (Liefhebbers van griezelfilms kennen Transsylvanië als het thuisland van graaf Dracula). Afb. 8 en 9.

* **kostoviet:** zelfde structuur als vorige, maar hierin is zilver vervangen door koper, zodat de formule AuCuTe_4 wordt; microscopische grijswitte korrels; ontdekt in Bulgarije en genoemd naar de mineraloog Ivan Kostov;

* **calaveriet** en **krenneriet:** hebben allebei als samenstelling AuTe_2 maar het eerste is monoklien en het tweede triklien, wat betekent dat deze mineralen dimorfen zijn (een stof die in twee vormen voorkomt); calaveriet is ontdekt in Calaveras County in Californië en krenneriet is genoemd naar de Hongaarse mineraloog Joseph Krenner; ze hebben een zilver-



Afb. 10. Krenneriet op kwarts met fluoriet. Cripple Creek, Colorado, USA. Lengte van het kristal 2,5 mm. Collectie H. van Dennebroek.



Afb. 11. Krenneriet, Cripple Creek, Colorado, USA (naar V. Goldschmidt).

witte tot bleekgele kleur en zijn zacht; krenneriet heeft kleine prismatische kristallen met een perfecte splijting, terwijl calaveriet geen splijting heeft en behalve massief ook optreedt als ingewikkelde langgerekte kristallen die sterk gestreept tot gegroefd zijn. Ze zijn erg verbreid, met als bekendste vindplaatsen naast Roemenië nog Fiji en Cripple Creek in Colorado; hier had men de gewoonte goudtellurides in een oven te stoppen, waarbij tellurium verdampt (wat giftig is voor de omgeving!) en er een goudplaatje op het gesteente overblijft: "blistergoud". Afb. 10, 11 en 12.

aurostibiet: de naam verradt de samenstelling, die AuSb_2 luidt; het is ontdekt in Canada, maar bij verzamelaars is het vooral uit Tsjechië bekend; grijze, zachte, microscopische korrels; het kristalliseert in het kubische stelsel, meer bepaald in dezelfde structuur als pyriet (met als formule FeS_2); het behoort dus met een hele reeks andere mineralen tot de pyrietgroep.

criddleiet: dit heeft de ingewikkelde formule $\text{TI Ag}_2\text{Au}_3\text{Sb}_{10}\text{S}_{10}$, wat betekent dat er naast de reeds eerder vermelde elementen ook nog thallium in zit, dat als symbool Tl heeft; ontdekt in Canada en genoemd naar de Engelse mineraloog Criddle; zwarte, microscopische korrels en latjes,

die tot het monokliene kristalstelsel behoren; voor de kenners zij nog vermeld dat dit mineraal behoort tot de sulfozouten, dat zijn sulfides waarin zwavel een groep vormt met bismut, arseen of antimoon, zoals bij criddleiet het geval is. **auroantimonaat:** in de literatuur vindt men ook verwijzingen naar dit oxide van goud, maar het is blijkbaar nog niet definitief beschreven en erkend; de gegevens zijn dat de formule AuSbO_3 luidt, wat betekent dat er goud, antimoon en zuurstof (O) in zitten; de kleur is grauwgroen tot grauwbruin; komt voor als microscopische korrels, waarvan het kristalstelsel niet bekend is.

Voorkomen van goud

Al deze mineralen, hoe interessant en veelvormig ook, zijn zeldzaam tot verschrikkelijk zeldzaam en ze zijn soms maar van één vindplaats bekend. Verreweg het meeste goud, minstens 95 percent, komt voor als gedegen goud, al dan niet met bijmenging van zilver en/of andere metalen. Toch zijn die goudmineralen van belang, omdat goud zo kostbaar is dat kleine hoeveelheden al de moeite van het winnen waard zijn, om beter inzicht te krijgen in het ontstaan en voorkomen van goudafzettingen, en om de winning rendabeler te doen verlopen door kennis te hebben van de nevenstoffen en de reacties die ze kunnen veroorzaken.

Bij al dat onderzoek is ook ontdekt dat goud dikwijls fijn verdeeld voorkomt in andere mineralen. Het kan daar in optreden als (microscopische) korreltjes gedegen goud, maar het kan ook in kleine hoeveelheden ingebouwd zitten in de structuur. Vooral arsenopyriet schijnt goud aan te trekken, maar het is al in veel andere mineralen aangetroffen, zoals de vaalertsen, een reeks kopersulfides met arseen of antimoon; ook andere kopermineralen als borniet, chalkosien en chalkopyriet kunnen goud bevatten. In zowat alle handboeken staan vermeldingen over pyriet als "goud der dwazen", maar er bestaat inderdaad goudhoudende pyriet, en dikwijls zit pyriet ook in goudertsgangen. Soms zelfs wordt pyriet als aanwijzing gebruikt, als indicator voor (eventueel goudhoudende) ertsgangen. Op sommige mineraalstukken zitten goud en pyriet samen, zichtbaar met het blote oog. Het verschil in kleur wordt dan meestal duidelijk, pyriet meer lichtgeel en goud een diepgeel. Manieren om het onderscheid altijd te kunnen maken zijn het verschil in dichtheid (goud 15-19 t.o.v. 5 voor pyriet), smeedbaarheid (pyriet wordt door een slag verbrijzeld) en hardheid (pyriet is met een mes niet te krassen, goud heel gemakkelijk).



Afb. 12. Cripple Creek, Colorado, USA. De kale plekken in de groene heuvels zijn claims, waar men nog steeds goud denkt te kunnen vinden.



Afb. 13. Goudnugget, Magadan-gebied, Siberië, Rusland. Beeldveld 3,8 x 4 cm. Collectie W.R. Moorer.

Bij verwerking van ertsgangen kan goud vrijkomen. Grotere stukken vormen *nuggets* in rivieren en fijner goud (stofgoud) kan verder meegespoeld worden door stromend water. Afb. 13. Waar de stroomsnelheid van water daalt, vermindert ook het vermogen ervan om deeltjes mee te voeren en ze zullen dan gaan bezinken, de zwaarste het eerst. Meestal bevat water dat uit eroderende bergen komt ook het zware ijzermineraal magnetiet, en dat slaat dan ook daar neer en vormt zwarte zanden. Die worden door prospectors gezocht omdat het ook de plaats is waar andere zware mineralen zich zullen ophopen, op voorwaarde uiteraard dat ze aanwezig zijn in die rivierbedding. Dat kan dan goud zijn, maar bv. ook zilver, platina en verwante mineralen. Het heel fijne stofgoud daarentegen kan echt lang in het water blijven zweven, en de oude goudzoekers lieten daarom water van goudhoudende beekjes spoelen over een schaapsvacht, en daarin bleef dat goud dan steken. De legende van het gulden vlies duidt waarschijnlijk op zo'n manier van goudwinning, en natuurlijk ook op de goudzucht die tot ontdekkingsreizen leidde.

Bij de verwerking van ertsaders worden vooral de sulfidische ertsers scheikundig aangetast door de zuurstof uit de lucht in samenwerking met water. Als er ijzermineralen aanwezig zijn, en dat is bijna altijd het geval in de vorm van pyriet, vormen er zich ijzeroxides als goethiet en lepidokroket. Die kennen we in het dagelijks leven als "roest", en meestal zit er zo'n bruine korst op verweerde ertsers. Daartussen en daarop zitten dan de verweringsprodukten van andere mineralen, met als bekendste malachiet en azuriet als er ook koper aanwezig is. Het aantal dergelijke oxidatiemineralen is in totaal zeer groot, en hangt af van de samenstelling van de ertsader, van het nevengeesteente en van het klimaat ter plaatse. Zo ontstaan er soms hele reeksen van vooral oxides, sulfaten, fosfaten en arsenaten: een aantal daarvan heeft fraaie kleuren, en ze kunnen zowel als korsten en massa's als in goed gevormde kristallen optreden.

Ook hierin kan goud uit de oorspronkelijke ertsader worden opgeslagen. Als de "ijzeren hoed" (zo worden dergelijke oxidatiezones betiteld) mangaan bevat, vormen er zich een reeks mangaanoxides, gemengd met ijzeroxides. Vooral hierin schijnt goud gemakkelijk gevangen te worden, en een bekend voorbeeld hiervan is de *ouro preto* uit Brazilië. In de 19de eeuw reeds waren er verhalen over dergelijke goudafzettingen die ook het zeer zeldzame metaal palladium bevatten, maar onderzoek hiervan in het midden van de 20ste eeuw leverde niets op, waardoor het een fabelverhaal scheen. Hernieuwd onderzoek, op een bredere steekproef van ertsmonsters, bracht echter wel de bevestiging dat in dergelijke afzettingen naast goud ook palladium te vinden is.

Een ander mineraal waarin goud zich schijnt te verzamelen is jarosiet, dat trigonaal is en de formule $\text{KFe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$ heeft, dus een kaliumijzersulfaat. Verder schijnen ook de arsenaathoudende mineralen gemakkelijk goud op te nemen. Goud lijkt inderdaad door sommige natuurlijke produkten te kunnen worden opgelost, zij het slechts in heel kleine hoeveelheden. Dat opgeloste goud moet natuurlijk vroeg of laat weer ergens neerslaan: dat kan in dergelijke mineralen zijn, maar uit recent onderzoek blijkt dat nuggets in goudafzettingen kunnen aangroeien: dit mechanisme zou daaraan ten grondslag liggen.

Enige tijd geleden verscheen in de krant het bericht dat Chinese onderzoekers in de buurt van goudafzettingen telkens verhoogde concentraties vonden van de sporen van een bepaalde bodembacterie, de *Bacillus cereus*. Dat zou betekenen dat dergelijke sporenconcentraties zouden kunnen worden gebruikt als indicator voor de aanwezigheid van goud, net zoals het zinkvioletje duidt op de aanwezigheid van zink in de bodem, bv. in de Geulvallei. Het gaat dan eerder om planten die beter giftige omstandigheden kunnen verdragen, want zowel zink als opgelost goud zijn schadelijk voor levende wezens. Dit wordt bevestigd door het feit dat het gaat om sporen van de *Bacillus cereus*, want spoorvorming is juist een middel om slechte omstandigheden te kunnen overleven.

Vindplaatsen van goud

Vindplaatsen van goud zijn er over de hele wereld: nagenoeg overal waar gebergtes eroderen bevatten rivieren sporen van goud. Dergelijk afzettingsgoud ligt aan of dichtbij de opper-



Afb. 14. Boomvormig goud van Hope's Nose, Torquay, Devon, GB; beeldveld 0,6 x 0,9 cm. Collectie W.R. Moorer.



Afb. 15. Goud in filigrainvorm, Humboldt county, Nevada, USA. Het grootste plaatje meet 2,5 mm. Collectie W.R. Moor.

vlakke, en valt op door zijn kleur. In oude cultuurgebieden is dit goud dan ook al lang opgescheept, zeker in Europa. Het heeft echter zijn sporen nagelaten in de legendes, zoals het "Rijngoud" dat in ringvorm zijn drager onoverwinnelijk zou maken, en in plaatsnamen zoals Aurillac in Frankrijk. Op heel wat plaatsen in Europa is in historische tijden goud gewassen: het Massif Central in Frankrijk, de rivieren langs de zuidkant van het Monte-Rosamassief, de Tauern in Oostenrijk. Ook in België was dit het geval, waar in riviertjes langs de zuidkant van de Hoge Venen goud gevonden werd door Galliërs, Romeinen, 19de-eeuwse avonturiers en 20ste-eeuwse mineralenzoekers. Verder zou in Finland nu nog goud kunnen worden gewassen, terwijl ook de rivieren die de Oeral afwateren goudhoudend zijn.

Goud in ertsgangen is moeilijker te ontginnen, al waren de Romeinen (of beter gezegd hun slaven) daar al mee bezig: ze hebben in Iberia (zie Gea maart 1992, pag. 35 t/m 37) heel wat weggehaald, en de verhalen over het goudrijke Gallië waren voor Julius Caesar zeker een reden om onze gewesten te komen veroveren. In de middeleeuwen was goud echter heel schaars en zilver was toen de basis van geld: zie het Franse woord *argent* dat zowel "zilver" als "geld" betekent, terwijl het pond (nu nog bewaard in het Engelse *pound sterling*) oorspronkelijk inderdaad een pond zilver was. Goud werd pas laat in de middeleeuwen uit ertsen gewonnen. Vindplaatsen hiervoor in Europa zijn: het Beierse Fichtelgebirge; de reeds genoemde Tauern en Oeral; de grote sulfide-afzettingen in het Zweedse Boliden en het Spaanse Rio Tinto, die pas konden ontgonnen worden toen er genoeg metallurgische kennis voorhanden was om deze complexe

ertsen te ontginnen en te scheiden in de verschillende metalen. Ook Tsjechië heeft zijn goudmijnen, o.a. in Banská Štiavnica, dat in het Duits Schemnitz heet. Hope's Nose in het Engelse Devon levert schitterende goudgroepen op, gekristalliseerd als fijne veer- of boomvormige bouwsels. Afb. 14. Zie ook de achterplaat.

De beste vindplaats in Europa is evenwel de "goudriedriehoek" in Transsylvanië, in het huidige Roemenië, dat ook wel bekend is als Siebenburgen uit het vroegere Oostenrijks-Hongaarse rijk. Ook de vindplaatsen hebben alle dubbele namen, waarbij vooral in oudere literatuur nog dikwijls de Duitse vorm zal vermeld staan: Verespatak = Rosia Montana, Offenbanya = Baia de Aries, Nagybanya = Baia mare terwijl Nagyag = Sacaramb al eerder werd vermeld. Hier komen ertsgangen voor met als begeleidende mineralen kwarts, calciet, bariet en mangaanmineralen als rhodochrosiet en alabandien.

De erts bevatten vooral veel zilver, verder pyriet, sfaleriet en vaalertsen; goud komt er gedegen voor, maar is vooral bekend van de reeds beschreven tellurideminerale sylvaniet, krenneriet en nagyagiet.

Dergelijke vindplaatsen met goudtellurides zijn elders in de wereld vooral bekend van Cripple Creek in Colorado en van Fiji. Sumatra en de staat Washington produceren vooral goudselenides, terwijl ook Kazakstan de nodige goudmineralen oplevert. Goudgangen zijn er nog in de Black Hills van Dakota, en het was bij de verdediging van dit hen toegewezen gebied dat de Sioux-indianen generaal Custer versloegen in de slag bij Little Big Horn. Goud wordt verder ontgonnen in Nevada te Comstock Lode en te Goldfield (afb. 15), in Ghana en in Zimbabwe (dat wellicht het goudland Ofir uit de Bijbel is), in India, in Australië met als bekende naam Kalgoorlie, in Colombia en in Canada, meer bepaald Brits-Columbia en Ontario. Grote sedimentaire afzettingen gaven aanleiding tot goldrushes zoals te Californië, Alaska en het Yukongebied (hierop is de film *The Goldrush* van Chaplin gebaseerd), verder ook in Siberië en Australië. De grote mijnen van Zuid-Afrika, waar nu goud ontgonnen wordt tot 3 km diepte, waren oorspronkelijk ook sedimentaire afzettingen, gevormd door afbraakmateriaal van een Precambrisches gebergte, dat later op zijn beurt door jongere afzettingen werd bedolven en samenkitte tot harde gesteenten.

Voor mineralenverzamelaars is zelf goud vinden niet zo eenvoudig. Om te beginnen worden de mijnen zwaar bewaakt, en in oude cultuurgebieden zijn de afzettingen ook meestal al lang uitgeput. Toch is het nog altijd mogelijk om op een aantal plaatsen goud te gaan winnen uit afzettingen, al zullen het materiaal en de "uren" wellicht meer waard zijn dan het gewonnen goud. Uiteraard weegt dat niet op tegen de vol-doening om zelf gevonden goud in de verzameling te hebben en te kunnen tonen.

Het gaat dan zo goed als uitsluitend om gedegen goud, en niet om de vele goudmineralen die in dit artikel zijn genoemd. Het is al eerder gezegd: deze mineralen zijn zeldzaam en de meeste treden alleen microscopisch op, wat maakt dat ze zelfs bij gespecialiseerde handelaren moeilijk of niet te vinden zijn. Bovendien zijn goudmineralen duur. Buiten de waarde van het goud betaalt men de zeldzaamheid van de soort, in een aantal gevallen ook het onderzoekswerk dat aan het specimen gedaan werd (microsonde, microscopie), en tenslotte ook nog voor de schoonheid van een stuk: dat geldt vooral voor fraai uitgekristalliseerd goud of goudtellurides, liefst op een heldere ondergrond van kwarts of witte calciet.

Winning van goud

Het winnen van goud uit afzettingen is bekend genoeg uit de films: het goudhoudende zand en grind wordt door stromend

water (in een ronddraaiende goudpan of in een wasgoot) uitgesplitst in enerzijds de lichte en waardeloze mineralen, en anderzijds de zware mineralen waartussen zich goud bevindt, als het tenminste aanwezig is.

Winning uit primaire ertsen is minder eenvoudig, maar reeds de Romeinen kenden hiervoor een werkwijze. Eerst werd het goudhoudende gesteente fijn gemalen, en vervolgens werd er kwik bijgevoegd (dat op zijn beurt moest worden gewonnen uit het mineraal cinnaber). Het kwik lost selectief het goud op, analoog als men met water zout zou kunnen oplossen uit een mengsel van zand met zout. Nadien werd het kwik verhit met als gevolg dat het verdampte terwijl het goud achterbleef. Omwille van dit procédé was het vinden van kwikafzettingen bij goudvindplaatsen belangrijk, zoals in Californië is gebeurd in de 19de eeuw.



Afb. 16. Moderne goudmijn bij Victor, Colorado, USA.

Kwik is evenwel zwaar giftig, zeker de dampen die vrijkomen bij het distilleren, en bovendien is het rendement niet zo groot. Daarom is nu overgeschakeld op een andere werkwijze, waarbij het goud uit gemalen gesteente wordt opgelost met cyanide. Het is bij het onderzoek naar de meest renderende toepassingen hiervan dat veel nieuwe gegevens bekend zijn over het voorkomen en gebonden zijn van goud, en over de rol die verschillende nevenmineralen spelen bij de manier waarop goud reageert.

Maar het moet gezegd dat ook dit procédé ernstige nadelen heeft, om te beginnen omdat ook cyanide giftig is. Verder moet het gesteente zo fijn als bloem gemalen worden, wat enorme bergen afval oplevert. Goud is immers slechts een heel klein deel ervan, en zo goed als alles blijft dus over. Dat komt omdat goud al winbaar is vanaf enkele grammen per ton gesteente, en trouwens, het zit nergens in grote concentraties: de rijke aders zijn reeds lang uitgebaat. Meer goud zit fijn verdeeld in sommige gesteentes en het zijn deze die massaal ontgonnen en verwerkt worden. Afb. 16.

Hoe goedkoper dat kan hoe beter natuurlijk, en daarom was de goudwinning in Zuid-Afrika zo winstgevend: grote en rijke afzettingen, en ten tijde van de Apartheid was er goedkope (slaven)arbeid. Een ander voorbeeld is Brazilië, waar werkloze en landloze mensen zich telkens massaal begeven naar de gebieden waarvan er verteld wordt dat er goud zit: *garimpeiros* worden ze genoemd. Met de hand en met primitieve en gevaarlijke methodes proberen ze goud te vinden, en inderdaad, sommigen vinden er en worden rijk. De grote winst gaat echter vooral naar de handelaren die het goud opkopen, en naar de leveranciers van eten, materiaal, drank en ander vertier, zoals dat al bij elke goldrush het geval is geweest.

Welke mijnen rendabel kunnen ontgonnen worden hangt af

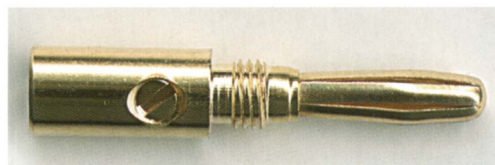
van de goudprijs. In het "oude" muntstelsel, dat na WO II in het Amerikaanse Bretton Woods uitgewerkt werd, was er een vaste wisselkoers van de munten onderling, en ook van de dollar als sleutelmunt t.o.v. goud: 35 dollar per troy ounce. In het Amerikaanse Fort Knox werden de goudvoorraden bewaard die als onderpand voor de munten dienden: het was dit goud dat in de film door James Bond gered werd uit de klauwen van de slechterik Goldfinger. In 1972 werden de vaste goudprijs en wisselkoersen echter opgegeven, met alle inflaties, speculaties en devaluaties die eruit volgden in de jaren '70 en '80. Een gevolg was toen dat de goudprijs als een raket steeg, tot meer dan 40.000 toenmalige guldens per kg; er werden dan ook heel wat mijnen (op)nieuw ontgonnen. Nadien volgde er echter een sterke daling van de prijs, zodat heel wat mijnen stilgelegd werden.

De grootste hoeveelheid goud op aarde zit evenwel niet in de grond maar in het water. Daarmee is niet bedoeld de schatten van gezonken piratenschepen en de Spaanse zilvervloot, maar wel op de naar schatting 27 miljoen ton goud die opgelost zit in het zeewater. Reeds in de 19de eeuw werden pogingen ondernomen om dit te winnen, maar tot nu toe is hiervoor geen economisch verantwoorde werkwijze gevonden.

Gebruik van goud

Het gebruik van goud in munten en juwelen is welbekend, evenals vergulden. Het wordt verder o.a. gebruikt in de geneeskunde bij hersenonderzoek en voor gebitsprotheses, in de scheikunde wegens weerstand tegen allerlei chemicaliën, bij het kleuren van glas, voor anti-verblindlagen op vizieren, in elektronische schakelingen wegens zijn grote geleiding voor warmte en elektriciteit. Afb. 17. Veel goud is afkomstig van hergebruik: smelten van oude juwelen of bewerken van goudstukken tot een ring, buit van plunderingen die omgesmolten wordt om de herkomst te verdoezelen, herwinning uit oude elektronische toestellen en apparaten.

Voor de geïnteresseerden kan nog vermeld worden dat de uitdrukking "wit goud" in twee betekenissen kan gebruikt worden: ofwel een legering van goud met nikkel ofwel platina; "rood goud" is de naam voor een legering met koper. Bekend is het dubbele gebruik van het woord "karaat": bij



Afb. 17. Vergulde bananensteekker. Door het goud ontstaat geen oxidatie, waardoor de stroomdoorgifte ook na lange tijd zo groot mogelijk blijft.

diamant is dit een gewichtseenheid van 0,2 gram maar bij goud gaat het om de aanduiding van het goudgehalte: 24 karaat is zuiver goud of 100%, en goud van 18 karaat bevat dus 18 delen goud op de 24 of 75%. Afb. 18 en 19.

Het beroemde verhaal van Archimedes die "eureka" riep is ook al verbonden met goud. Hij had namelijk van de heerser van zijn stad Syracuse de opdracht gekregen na te gaan of zijn nieuwe kroon al dan niet vervalst was: bestond die alleen uit goud, of had de goudsmid een deel van het goud verdonkeremaand en in de plaats daarvan goedkope zilver bijgemengd? Probleem was dat de scheikunde nog niet bestond en dat de kroon niet mocht worden beschadigd. In zijn bad vond Archimedes het antwoord: een bepaald gewicht in zuiver goud heeft een bepaald volume, en verplaatst dus



Afb. 18. Hanger uit 14 karaats goud.



Afb. 19. Baar goud van 100 gram; afmeting: 2,7 x 4,7 cm en 0,45 cm dik.

het overeenkomstige volume water. Bij onderdompeling van goud in een tot de rand gevulde kom zal hier dus een bepaalde hoeveelheid water uitlopen. Bij hetzelfde gewicht zilver met goud zal dat volume groter zijn, omdat zilver lichter is dan goud en een gelijk gewicht dus een groter volume inneemt: dit is te merken omdat er dan meer water uit de beker overloopt. De proef werd genomen en inderdaad, de hoeveelheid water was groter dan bij zuiver goud, wat wees op de schuld van de goudsmid. De geschiedenis vermeldt niet wat er met de schelm is gebeurd, maar vermoedelijk zal het wel niet te gezellig zijn geweest: koken in de olie of vierendelen bijvoorbeeld.

Deze aanpak om de zuiverheid van goud na te gaan bleef bekend en bleef zijn nut bewijzen, dat wil zeggen tot de late 18de eeuw. Tot dan waren alle bekende stoffen lichter dan goud, en was vervalsing vlot aan te tonen. Toen werd echter in Zuid-Amerika een nieuwe stof ontdekt die platina gedoopt werd. Het gewicht van zuiver platina is 21,5 gram per cm^3 en door toevoegen van juist afgewogen hoeveelheden platina en zilver werd het dus mogelijk goud te vervalsen op een moeilijk naspeurbare wijze. Daarom probeerden de Spanjaarden toen de winning en uitvoer van platina te verbieden, wat evenwel niet lukte. Wel werd platina wegens zijn bestendigheid tegen hitte en chemicaliën en wegens zijn schoonheid al gauw duurder dan goud, zodat vervalsing niet meer loonde.

Tot slot nog enkele speciale vindplaatsen van goud in de natuur. Om te beginnen is er het goudklompje aan de punt van de wortel van een Paardestaart dat mee omhoogkomt als men erin slaagt de wortel helemaal uit te trekken. De pot met goud die kan worden gevonden waar de regenboog de grond raakt is welbekend, evenals het feit dat de morgenstond goud in de mond heeft. Er bestaan verhalen over termieten die uit de diepten van hun nest met de aarde ook goudkorreltjes omhoog brengen en aan de oppervlakte te blinken leggen. Maar vergeet daarbij ook de wijsheden van onze spreekwoorden niet uit het oog: "goud is het slijk der aarde" en "het is niet al goud wat blinkt".

Literatuur

- Atlas der Krystallformen, 1918, V. Goldschmidt.
- Dana's new Mineralogy, 8th edition, 1997, door R. Gaines, H. Skinner, E. Foord, B. Mason en A. Rosenzweig;
- Strunz Mineralogical Tables, 9th edition, 2001, door H. Strunz en E. Nickel;
- Klockmanns Lehrbuch der Mineralogie, 16. Aufl., 1978, überarbeitet und erweitert von P. Ramdohr en H. Strunz;
- Edele metalen (uit de Time-Life reeks over de Planeet Aarde), 1984, door Jeffrey St. John;
- The Mineralogical Record, vol. 13, nr. 6 (nov./dec. 1982);
- The Mineralogical Record, vol. 18, nr. 1 (jan./feb. 1987).

Foto's 1, 12, 16, 17, 18, 19: Herman van Dennebroek, foto's 4, 6, 8, 10, 13, 14, 15: Piet Stemvers.