



AFBEELDING 1. | Een dagje goudpannen met Georeizen aan de Rijn bij Rees. Georeizen organiseert regelmatig dagexcursies goudpannen aan de Beneden-Rijn ([www.georeizen.nl](http://www.georeizen.nl))

# “Das Rheingold”: het voorkomen van goud in de Beneden-Rijn

REIN VAN ENK  
PIET HEINLAAN 5  
3941 VE DOORN  
[REIN.VANENK@PLANET.NL](mailto:REIN.VANENK@PLANET.NL)

Wagners opera “*Das Rheingold*” is gebaseerd op een oude Germaanse sage, waarin de drie Rijndochters, Wellgunde, Woglinde en Floßhilde het goud op de bodem van de Rijn bewaken. De dwerg Alberich probeert hun liefde te winnen, maar daar zijn ze niet van gediend. Als afleidingsmanoeuvre vertellen ze hem dat diegene die de liefde vaarwel zegt, uit het goud een ring kan smeden, waarmee hij de heerschappij over de wereld verkrijgt. Alberich kiest voor het goud en gaat zijn eigen weg.

Ondanks het feit dat er dus al sinds duizenden jaren gewag wordt gemaakt van het edele metaal in de Rijn, stuit het noemen van “goudpannen” toch nog vaak op ongelovige reacties. De onversaagde goudzoeker (Afb. 1) laat zich hierdoor natuurlijk niet uit de rivier slaan, maar toch blijft bij velen de vraag hangen: hoe zit dat nou eigenlijk met dat goud!?



## Zit er goud in de Rijn?

Ja, er zit goud in de Rijn! Om alle twijfels weg te nemen, hoeft u slechts op internet te kijken. Hier staan de vondsten van vele fanatieke goudzoekers beschreven. Mocht u het internet niet geheel vertrouwen, dan toont de bovenste helft van afbeelding 2 de resultaten van een dagje panwerk door enkele kundige mensen in de Rijn-sedimenten bij Rees. De eerlijkheid gebiedt wel om te vermelden dat dit goud is verkregen uit het pre-concentraat van een zandwinningsinstallatie. Om u meteen weer met beide benen op de grond te zetten toont de onderste helft van afbeelding 2 het “resultaat” van pannen met normaal sediment. Inderdaad, hierbij is een loep nodig om het goud te zien!

## Waar komt het vandaan: metallogenie van epithermaal goud

Alle gesteenten in de aardkorst bevatten een zeer geringe hoeveelheid goud. Deze zogenaamde natuurlijke achtergrondgehalten bedragen in de orde van 0,1 tot 2 ppb. 1 ppb is een miljardste deel, dus 1 mg per ton. In tegenstelling tot vele andere metalen is het achtergrondgehalte van goud nauwelijks afhankelijk van het soort gesteente. Hetzelfde geldt *grosso modo* voor de achtergrondgehalten in de verschillende gesteentevormende mineralen. Wel is er een duidelijk positief verband tussen de goud- en sulfidegehalten van gesteenten, en dan met name het pyrietgehalte.

Al dit “oergoud” komt voor als (sub)microscopische deeltjes of als een atomaire dispersie in het gastgesteente. De goudkorreltjes in de Rijn meten in de orde van 0,1 mm. Het is dus onwaarschijnlijk dat zij hun directe oorsprong vinden in het (atomair verspreide) “achtergrondgoud”. Ergens in het achterland moet dus een remobilisatie en concentratie van het “achtergrondgoud” hebben plaatsgevonden. Om dit te begrijpen moeten we eerst naar de *metallogenie* (= het ontstaan van metaalmineralen) in zogenaamde “primaire goudvoorkomens” kijken; d.w.z. goudvoorkomens in vaste gesteenten.

Gedurende de lange geologische geschiedenis van de aarde stapelen zich voortdurend pakketten van sedimentaire en vulkanische gesteenten op.

Terwijl deze pakketten dikker worden, stijgen temperatuur en druk in de diepere gedeelten als gevolg van de aardwarmte en het gewicht van de bovenliggende lagen. Wanneer het gesteente vervolgens door tektonische krachten wordt blootgesteld aan plooiing, en er zich stollingsgesteenten indringen, lopen druk en temperatuur op tot waarden van vele honderden graden en duizenden bars. De mineralen in het gesteente verliezen hun kristalwater en er ontstaan zogenaamde *hydrothermale vloeistoffen*, die, afhankelijk van de samenstelling van het moedergesteente, rijk zijn aan zwavel, chloor, silica ( $\text{SiO}_2$ ) en kooldioxide ( $\text{CO}_2$ ).

Hierbij kunnen zich nog restvloeistoffen uit de langzaam afkoelende intrusieve gesteenten voegen. Tegelijkertijd wordt het gesteentepakket, onder invloed van de zeer hoge druk, als een vochtige spons “uitgeknepen” en banen de deze vloeistoffen zich een weg naar boven. Onderweg onttrekken ze nog eens allerlei metalen aan het gesteente door zogenaamde “*scavenging*” (letterlijk: “aaseten”). Ook goud, al is het nog zo edel, ontkomt niet aan dit proces. Zeker bij hogere temperatuur en druk is het oplosbaar als bv. chloride- of thiosulfaatcomplex  $\{\text{AuCl}^{2-}, [\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}\}$ .

Al stijgend bereiken de hydrothermale oplossingen tenslotte een niveau waar temperatuur en druk zover dalen dat de oplosbaarheidsgrens van de verschillende componenten wordt overschreden, zodat deze gelijktijdig of in volgorde van oplosbaarheid neerslaan. Dit kan zich ook voordoen als de vloeistof een gesteente van andere samenstelling bereikt en daarmee reageert.

Waar onder invloed van de hoge druk het gesteente is gebroken, ontstaan nu kwartsaders. Waar dat niet het geval is wordt het gesteente met kwarts doordrenkt, ofwel “*gesilicifiëerd*”. De goudcomplexen worden instabiel en het goud scheidt zich af, terwijl de zwavel uit het thiocomplex met ijzer uit de vloeistof of uit het nevengeesteente wordt omgezet naar  $\text{FeS}_2$  (pyriet, ook wel *fools gold* genaamd). Ook kan ijzer samen met  $\text{CO}_2$  neerslaan onder de vorming van ankeriet ( $\text{FeCO}_3$ ). De goudvoorkomens die zich zo vormen noemen we *epithermale afzettingen*. Uiteraard zijn er legio varianten te bedenken waarbij andere metalen, zoals zilver, koper, zink, lood en nikkel, tegelijk met het goud neerslaan. We krijgen dan zg. *polymetallische ertsen*. Afhankelijk van de herkomst van de hydrothermale vloeistoffen ontstaan nu bepaalde *parageneses* (= samengegroeide mineraalvormingen) van Fe-Ni-Cu-Zn-Pb-sulfides tezamen met de edele metalen goud en zilver. De aanwezigheid van wolfram en molybdeen duidt op de invloed van intrusieve restvloeistoffen. Veelal kan ook een temperatuursequentie onderscheiden worden met koper en nikkel aan het “*warme*” (= bij hogere temperatuur kristalliserend) en lood aan het “*koude*” eind. Goud associeert zich dan in de regel met de wat “*warmere*” parageneses terwijl zilver voornamelijk met loodmineralen voorkomt.

Mooie voorbeelden van bovengenoemde primaire goudmineralisaties vindt men in het Massief van Bohemen (Lehrberger *et al.*, 1997). Hoewel hier vroeger commerciële mijnbouw werd gepleegd zijn deze afzettingen nu hooguit van sub-economisch belang.

Ook in het stroomgebied van de Rijn liggen verschillende gebieden met potentie voor de vorming van epithermale goudvoorkomens, bijvoorbeeld in de Alpen, maar ook in de resten van oude, geplooides formaties zoals het Rheinische Schiefergebirge, de Hunsrück en het Zwarte Woud. Dit zijn de zogenaamde *Grundgebirge* in afbeelding 3, welke lokaal zijn geïntroduceerd door granodiorieten. Primaire goudvoorkomens zijn hier echter dun gezaaid en zeker niet van economisch belang. Wel hebben zich in de Rijn alluviale concentraties gevormd, die tot in de 19de eeuw werden geëxploiteerd. Zo werd tussen 1800 en 1869 door de Karlsruher Munt 306 kg goud aangenomen (Elsener, 2009). Waarschijnlijk bedroeg de niet geregistreerde, illegale winning aanzienlijk meer. Tegen het eind van de 19de eeuw kwam deze exploitatie echter tot stilstand. Tegenwoordig komen vanwege de hoge goudprijs de alluviale afzettingen hogerop in de Rijn weer enigszins in de belangstelling, maar dan wel in combinatie met de zand- en grindwinning.

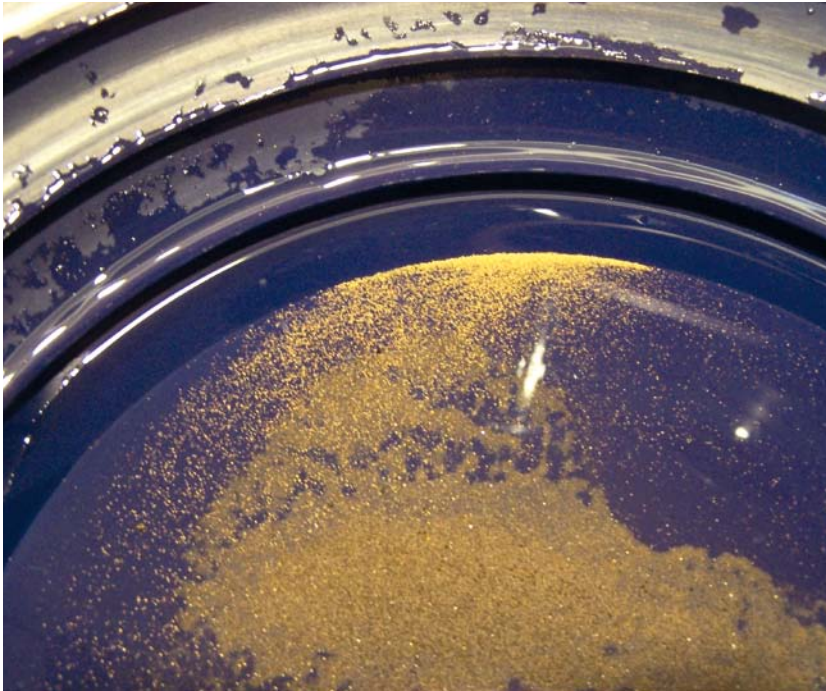




## Waar wordt het gevonden?: bezinking van goud in Rijn-afzettingen

Goud is kubisch maar komt zelden in deze kristalvorm voor. De gouddeeltjes in de primaire voorkomens zijn meest van een zeer onregelmatige morfologie, waarbij de deeltjesgrootte varieert van submicroscopisch tot pakweg 1 à 2 millimeter. Grotere deeltjes (nuggets) komen voor, maar zijn uiterst zeldzaam.

Door verwerking komen deze deeltjes vrij en worden, samen met de afbraakproducten van het gastgesteente, uitgespoeld naar de alluviale afzettingen van lager gelegen rivieren. Hier begint nu een proces van geleidelijk transport stroomafwaarts waarbij een voortdurende sortering naar korrelgrootte en dichtheid plaatsvindt. Zo is het goud dat we in de benedenloop van de Rijn vinden de fijnere fractie van de hogerop gelegen alluviale voorkomens. Dit sorteerproces is onderhevig aan de wet van Stokes. Uit deze wet valt de



AFBEELDING 2. | Goud uit de Rijnsedimenten. Boven: opbrengst uit een pre-concentraat. Onder: opbrengst uit normaal Rijnsediment.

bezinkingssnelheid ( $v_p$ ) van een deeltje in vloeistof af te leiden: wet valt de bezinkingssnelheid ( $v_p$ ) van een deeltje in vloeistof af te leiden:

$$v_p = \frac{2(\rho_p - \rho_f) g R^2}{9\mu}$$

waarin  $\rho_p$  en  $\rho_f$  resp. de dichtheid (in  $\text{g/cm}^3$ ) van het deeltje en de vloeistof zijn,  $\mu$  de dynamische viscositeit,  $g$  de versnelling van de zwaartekracht en  $R$  de diameter van het deeltje. De bezinkingssnelheid blijkt dus evenredig met het kwadraat van de diameter en, althans voor zware deeltjes, min of meer evenredig met de dichtheid van het deeltje.

Als we nu even aannemen dat deeltjes met dezelfde bezinkingssnelheid zich hetzelfde gedragen bij transport in een vloeistof, dan kunnen we voor twee deeltjes van verschillende dichtheid in water de volgende relatie afleiden:

$$\frac{R_1^2}{R_2^2} = \frac{\rho_2 - 1}{\rho_1 - 1}$$

Als we voor  $\rho_1$  en  $\rho_2$  resp. de dichtheid van kwarts (2,65) en goud (19) invullen, zie we dat een gouddeeltje ruwweg hetzelfde gedrag vertoont als een vier maal zo grote zandkorrel.

In afbeelding 3 zijn de trajecten in de stroomgebieden van Donau en Rijn, waar alluviaal goud wordt gevonden, met geel aangeduid. Langs de Beneden-Rijn ontbreekt de gele markering, maar men kan er wel degelijk goud in de rivierterrassen vinden. De ervaring leert dat het goud in de Beneden-Rijn een maximale korrelgrootte heeft van ca. 0,2 mm. Dit correspondeert dus met kwartskorrels van 0,8 mm oftewel zeer grof tot uiterst grof zand.

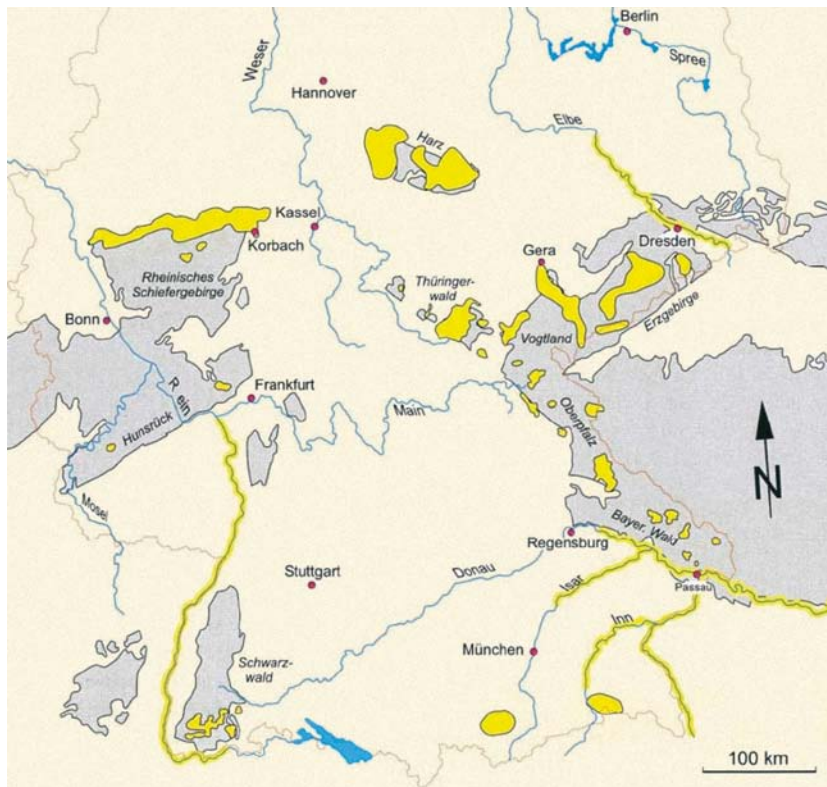
Omdat uitspoeling een belangrijke rol speelt bij concentratie in het alluviale milieu, moeten we het goud dus vooral in lagen met fijn grind zoeken. Een goede indicator is daarbij ook het



voorkomen van donkere mineralen, die zich vanwege hun relatief hoge dichtheid eveneens in deze lagen concentreren. De belangrijkste hiervan zijn magnetiet en granaat (voornamelijk almandien), maar ook rutiel, ilmeniet en zirkoon komen voor en van de silicaten, hoornblende en augiet (Tabel 1).

Pyriet en andere metaalsulfiden zijn in het concentraat niet meer te vinden. Deze zijn reeds lang geoxideerd, vaak al voordat de mechanische afbraak van het gastgesteente er vat op kreeg. Voor *fools gold* hoeft zelfs de ongeoefende panner dus niet bang te zijn: het is steeds *echt* goud wat er blinkt.

Afbeelding 5 geeft een beeld van het alluviale profiel in de Groeve Wezendonk bij Lobith. De bovenste bruine laag in het overzichtsprofiel vertegenwoordigt het Holoceen. Deze laag is ter plekke zo'n 2 m dik en gaat geleidelijk over van grof zand via zavel naar een kleihoudende toplaag aan het maaiveld. In de detailopname van afbeelding 5 is duidelijk te zien hoe deze toplaag naar beneden abrupt overgaat naar het veel grindrijkere Pleistoceen met fraaie scheve gelaagd-



AFBEELDING 3. | Oude gebergten (grijs) en goudvoorkomens (geel) in Duitsland. Ontleend aan H. Elsener, 2009.

heid. Ook is de overgang van de geoxideerde (bruin) naar de gereduceerde zone (grijs) in het detail goed te zien. Dit geeft ongeveer het niveau van het grondwater aan voordat de exploitatie van de groeve begon.



AFBEELDING 4. | Overzichtsfoto van het profiel van de terrassen in de Groeve van Wezendonk Zand en Grind BV te Lobith.





Mineraal	Samenstelling	Dichtheid (g/cm <sup>3</sup> )
Magnetiet	Ijzeroxide (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	5,2
Ilmeniet	Ijzer/titanaoxide (FeTiO <sub>3</sub> )	4,7
Rutiel	Titanaoxide (TiO <sub>2</sub> )	4,2
Zirkoon	Zirkoon (ZrSiO <sub>4</sub> )	4,7
Almandien	Fe/Al-silicaat	4,3
Augiet	Ca/Na/Mg/Fe/Al-silicaat	3,3
Hoornblende	Ca/Na/Mg/Fe/Al-silicaat	3,2

TABEL 1. | Samenstelling en dichtheid van enkele zware mineralen.



AFBEELDING 5. | Detail van de overgang van de grindhoudende onderlagen naar de zandige top laag in het profiel van afbeelding 4.

Voor panners in spe is het dus zaak om in de grindrijke lagen onder de zandige top laag hun geluk te beproeven. Rijk zal men er echter niet van worden: onderzoek heeft aangetoond dat de gehalten in de regel niet hoger liggen dan 10 ppb oftewel 10 mg per ton. Dat wil zeggen dat men zo'n 100 emmertjes grindig zand moet pannen om 30 Eurocent aan goud bij elkaar te sprokkelen.

### Dankbetuiging

De schrijver wil graag de Stichting Georeizen bedanken voor het ter beschikking stellen van de foto's in afbeeldingen 1 en 2. Wezendonk Zand en Grind BV wordt bedankt voor de medewerking en toegang tot de groeve te Lobith tijdens de goudpan-excursies.

### REFERENTIES

Georeizen; Stichting Geowetenschappelijke Activiteiten, [www.georeizen.nl](http://www.georeizen.nl)

- Elsener, H., 2009. *Goldgewinnung in Deutschland; Historie und Potenzial: Commodity Top News No.30*, Bundesanstalt für Geologie und Rohstoffe.

- Lehrberger, G. et al., 1997. *Gold in Bayern: Vorkommen am Westrand der Böhmisches Masse; Geologica Bavarica 102*; Bayerisches Geologisches Landesamt, München.

