

Kobalt, een kleurrijk metaal met streken

door drs. W.R. Moorer

Bij het horen van de naam kobalt denken veel mensen aan "kobaltblauw", als verfstof of pigment bekend om de prachtige tinten helder blauw die het tweeweg brengt in glas en aardewerk. Sommigen denken aan een atombom; weer anderen aan "edele" metaallegeringen. De mineralenverzamelaar denkt misschien nog aan cobaltien, saffloriet en erythrien. Verpleegsters leggen weer eerder een verband met het ziekenhuis en de afdeling bestralingsbehandeling en artsen misschien wel met vitamines. Maar slechts weinigen onder ons zullen bij het horen van de naam kobalt meteen aan bier denken. En dat kobalt iets met kabouters te maken heeft gelooft geen zinnig mens.

Echter, de aanwezigheid van het metaal kobalt in de aarde en in ons lichaam is zó belangrijk en er zijn zó veel toepassingen van kobalt, dat het interessant is deze zaken in kort bestek voor te stellen alvorens ons te wijden aan de ertsen en mineralen van kobalt.

Het metaal

Kobalt is een zilverwit metaal waarvan jaarlijks zo'n 40.000 ton gewonnen wordt uit kobalthoudende ertsvoor-komens. Het heeft een vrij hoog smeltpunt, namelijk 1495°C , is 8,9 x zo zwaar als water en is weinig gevoelig voor oxidatie en corrosie. Daarmee komt het aardig overeen met z'n buurman nikkel, maar verschilt het aanmerkelijk van z'n tweede buurman ijzer. Alle drie behoren ze tot een groepje metalen dat te vinden is in het periodiek systeem der elementen (zie Gea, vol. 13, nr. 2) op de plaatsen 26, 27 en 28. Er is één natuurlijke isotoop: kobalt-59. Het chemisch symbool is Co, afgeleid van "cobaltum".

Technische toepassingen

Het meeste kobalt wordt gebruikt voor het maken van hoogwaardige, corrosie- en temperatuurbestendige metaallegeringen en staalsoorten: van turbinemotoren, werktuigen, machine-onderdelen etc. Bijzonder krachtige en nauwkeurige magneten worden vervaardigd uit speciale kobaltlegeringen. Electrolitisch beschermen met kobalt levert oxidatiebestendige metaalhuidjes op. Verschillende typen batterijen (elektroden) bevatten kobalt. In de elektronische industrie worden kobalthoudende halfgeleiders toegepast. De chemische industrie gebruikt het metaal als komponent van katalysatoren (reactieversnellers, zie Gea vol. 16, nr. 4) in talloze processen.

Pigmenten

Lang vóór het metaal Co uit z'n ertsen werd vrijgemaakt, vond het — in de vorm van kobaltoxiden — al toepassing als kleurend bestanddeel van aardewerk, tegels en glas. Heden ten dage is dit nog zo: niet alleen blauwe, maar ook

gele, groene en rode tinten kunnen worden gemaakt met Co-verbindingen. Bovendien wordt Co toegepast in drukinktsoorten en als rubberkleurend pigment. Vele eenvoudige kobaltverbindingen ("zouten", zoals het chloride, nitraat, bromide) bevatten kristalwater en zijn dan rose-rood van kleur (denk aan het mineraal erythrien!). Het aardige daarbij is, dat bij verwarming — dus bij ontwijken van (een deel van) dit kristalwater — tevens de kleur van het zout verandert (meestal van rood naar blauw). Dit effect wordt gebruikt in allerlei vochtmeters en u kent waarschijnlijk ook de kitscherige van kleur verschietende weerhuisjes en weerpoppetjes, die in vochtige lucht rose en in droge lucht blauw zijn gekleurd. Omdat het vochtgehalte mede afhankelijk is van de temperatuur worden kobaltzouten ook gebruikt als thermometer, bijvoorbeeld bij de metaalbewerking.

Sommige "onzichtbare" inkten berusten op hetzelfde principe: schrijf met een zwak rose gekleurde oplossing van een kobaltzout en de tekst is vrijwel niet te zien. Bij lichte verwarming van het papier ontwijken vocht en kristalwater en een blauwzwarte kleur maakt de tekst leesbaar.

Radioactief kobalt

In een kernreactor kan men natuurlijk kobalt (kobalt-59) bestralen met de daar rondvliegende neutronen. Deze worden door de atoomkern van ^{59}Co ingevangen en verhogen daarbij de massa van de kobaltkern met één eenheid: er ontstaat ^{60}Co (kobalt-60). Deze kern is niet stabiel en zendt o.a. intensieve gammastraling uit. Militairen hadden (hebben?) daar zo hun eigen ideeën over: zij wilden een 'gewone' atombom omhullen met een laagje kobalt, zodat, bij ontploffing, het dan gevormde ^{60}Co zich zou verspreiden en door zijn intensieve radioactiviteit vernietigend zou werken, ook lange tijd na, en op grote afstand van, de eigenlijke ontploffing. Deze kobaltbom werd dan ook een dirty bomb genoemd.

Hetzelfde (maar gecontroleerd in een kernreactor geproduceerde) ^{60}Co vindt op grote schaal toepassing in ziekenhuizen. Daar wordt het zorgvuldig verpakte en afgeschermd ^{60}Co gebruikt als stralingsbron voor de behandeling van kanker. Vanwege zijn gunstige eigenschappen, de intensieve gammastraling, en de mogelijkheid de straling door afscherming goed te doseren, heeft dit ^{60}Co het vroeger veel gebruikte radium vrijwel geheel verdrongen. Duizenden patiënten hebben tenminste hun leven te danken aan de radiotherapie met ^{60}Co .

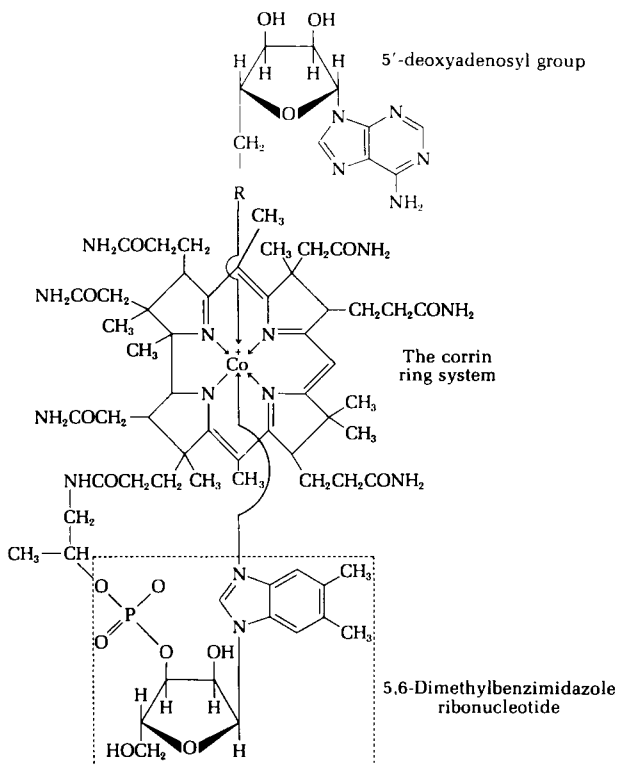
Kobalt als levenselement

Aan gewoon kobalt (^{59}Co dus) danken we eigenlijk allemáál ons leven. Ieder mens heeft er een beetje van in zijn lichaam als 'onderdeel' van het onontbeerlijke vitamine B. Via het minerale kobalt in de bodem en de oceanen komt het in planten en vervolgens als vitamine B in vlees en vis (maar minder in zuivelprodukten) in ons

lichaam terecht. Op deze wijze bevat ons lichaam zo'n 5 milligram kobalt bij een dagelijkse opname van 2 tot 3 microgram. Deze kleine hoeveelheid is ruim voldoende; maar strenge vegetariërs moeten oppassen dat ze niet te weinig binnen krijgen.

De historie van vitamine B is interessant omdat de ontdekking ervan en de manier waarop het gevormd wordt en werkt, chemisch en biologisch gezien een wetenschappelijke uitdaging zijn geweest. In 1926 werd min of meer bij toeval ontdekt dat patiënten met een bepaalde bloedarmoede (pernicieuze anemie) baat vonden bij het eten van veel lever. Ondanks vele, jarenlange, pogingen de factor die kennelijk in lever zat te identificeren, werd pas na 1945 iets uit lever geïsoleerd dat het zou kunnen zijn. De zuivere stof werd in 1948 in kristallijne vorm verkregen en kreeg de naam vitamine B12. Het bevorderde de ontwikkeling van normale rode bloedlichaampjes. Hoe het precies werkte werd pas weer 10 jaar later duidelijk toen Barker aantoonde dat een bepaalde vorm van de stof (5'-deoxyadenosyl - B12 coënzym) noodzakelijk was voor de stofwisseling van een bacterie. Vervolgens kon worden aangetoond dat dit ook bij de mens het geval is. Tenslotte werd, door een combinatie van chemische en kristallografische analyse, de volledige structuur en werkingswijze opgehelderd. Afbeelding 1 laat deze structuur zien. De verhoudingsformule is $C_{72}H_{100}CoN_{18}O_{17}P$. Het centrale Co-atoom zit midden in een bijzonder ringsysteem. Vergeleken met mineraalformules ziet vitamine B12 (ook wel cobalamine genoemd) er dus knap ingewikkeld uit, reden waarom het zo lang heeft geduurd aler een en ander was uitgezocht. Het is trouwens waarschijnlijk dat we onze aardgasbel ook al aan kobalt te danken hebben. Bij vorming van dit methaangas door bepaalde bacteriën is cobalamine vereist. Het is aannemelijk dat dit - geologisch gezien - vroeger ook het geval is geweest.

Afb. 1. De structuurformule van vitamine B12.



Afb. 2. Röntgenfoto van een tandwortelimplantaat, de "stift", waarop een kroon gemaakt gaat worden. De metalen stift is gemaakt van een kobaltlegering.

Overige toepassingen

Het is nu duidelijk dat kobalt een slechts in kleine hoeveelheden benodigd, maar noodzakelijk, element is. Daarom zal het u niet verbazen dat ingeval van zéér metaal-arme bodems een beetje kobalt aan de kunstmest wordt toegevoegd. Als alternatief is het meestal voldoende een snufje van een kobaltzout aan de bijvoeding voor het vee toe te voegen. Trouwens, herinnert u zich ook nog de gezonde, maar onaangenaam smakende levertraan? De farmaceutische industrie gebruikt nu (een beetje) kobalt om vitamine B12 als dragee te kunnen verkopen, kijk maar eens in uw medicijnkastje. Mensen met gebroken ledematen of geslonken kaakbotten bevatten soms tamelijk véél kobalt; in de vorm van speciale metaallegeringen die als geïmplanteerde versteviging in of aan het bot worden bevestigd. De frames van tandheelkundige prothesen bevatten het ook. Afb. 2. Tenslotte blijken sommige kobaltzouten mosterdgas en ander militair gifgas te kunnen absorberen. De meest onwaarschijnlijke toepassing vinden we echter bij de brouwer. Daar wordt soms een kobaltverbinding gebruikt bij de stabilisatie van het schuim van bier en mout. Proost!

Naamgeving

De ondergrondse arbeid is vol gevaren en het gesteente is vijandig. Daar beneden leven de berggeesten, waarvan zelfs de toch zo wetenschappelijk geschoolde Agricola

(16e eeuw) beweerde, dat het bestaan ervan "door ervaring was bevestigd". Het geloof in berggeesten: "bergkobolden", was algemeen. Goethe haakte daar nog schertsend op in toen hij, vlak voor een bezoek aan een mijn, zei: "Daar zal ik dus de kobolden in hun eigen huis kunnen zien".

Het woord zélf stamt uit het Grieks, waar Kobálos staat voor: schelm, schalk, schurk. Bij Aristoteles vinden we Kobálf = demonen der schelmerij. In het Duits heeft het de betekenis van aardgeest gekregen. Zoals bij ons dus de kabouters.

De **mineraal**naam Kobold (of Kobalt, Kobelt) werd sinds de 16e eeuw verbonden aan de Kobold-genoemde berggeesten. Kobalt was de (scheld)naam voor bedrieglijke, zilverige mineralen waar géén zilver in bleek te zitten, die bovendien giftige dampen produceerden en de ertsmelters voor grote problemen stelden. Hübner (1727) schrijft: "Kobold is een giftige, roofzuchtige deugniet onder de ertsen, die de goede ertsen bederft, of wild of koud maakt, en van wie velen geloven dat hij het zilver rooft".

Veel slechte eigenschappen werden ten onrechte aan kobaltertsen toegeschreven omdat deze vaak samen voorkomen met bismut en arseen en ermee verward werden: "Want na het kwik is de damp van Kobold het giftigst, waaraan vliegen, vee, vogels en mensen kunnen bezwijken. Zo vreet kobold aan de voeten en handen van de mijnwerkers en het stof en de rook van deze bedrieger laat vele metaalmakers sterven; Kobold is giftig en schadelijk, om het even of het zilver bevat of niet". Hoewel de kwade reuk waarin de kobaltmineralen kwamen te staan dus begrijpelijk is, werd toch althans één nuttig gebruik gemaakt van koboldenerts. Het werd, na enige bewerking, toegevoegd aan email- en glas-grondstoffen waarbij de prachtigste blauwe tinten ontstonden. De naam Smalte (pigment, "smeltstof", email; "smaltien" is een oude naam voor het huidige skutterudiet, de bron van het blauwe kobaltoxide) wijst daar nog op.

De befaamde chemicus Brandt, die ook het element fosfor ontdekte, experimenteerde met kobalterts en kwam erachter (in 1735) dat hij een tot dan toe onbekend metaal uit het erts kon vrijmaken. Volgens de in die tijden gebruikelijke vaktermen werd het door hem verkregen nieuwe metaal de "Koboltkönig" genoemd. Later kreeg het de naam Kobalt. In feite was zijn vondst een herontdekking omdat uit de werken van Paracelsus (16e eeuw) af te leiden valt, dat het metaal al eens eerder uit ertsen was vrijgemaakt.

Onder invloed van het Latijn, de taal der wetenschap tot ver in de 18e eeuw, werd kobalt met c geschreven. Het chemisch symbool werd dan ook Co. Heden ten dage heet kobalt in vele talen ten onrechte cobalt. In 1758 onderzocht Cronstedt het mineraal dat we nu cobaltien of cobaltiet noemen. Hij beschreef het als "cobaltum cum ferro sulfurato et arsenicato mineralisatum" en gaf de mijnwerkersnaam erbij: "Glants Kobolt" (later: "Kobaltglanz", vanwege de mooie zilverwitte metaalglans van het erts).

Kennelijk had Cronstedt geen zuiver cobaltien in handen, wat duidelijk wordt als we naar de formule van cobaltien kijken: CoAsS, dat zoals u ziet geen ijzer ("ferro") behoort te bevatten. Maar "zuiver" cobaltien is zeldzaam, en de meeste cobaltievindplaatsen leveren het mineraal met wat ijzer (en nikkel) in het kristalrooster, zodat de formule als (Co,Fe,Ni)AsS geschreven kan worden, waarbij — let wel — Fe en Ni niet de hoofdmoot uitmaken omdat ze immers achter komma's staan. Cronstedt had dus best gelijk.

Een opsomming van verouderde maar fraaie benamingen van bekende kobaltmineralen vindt u in tabel I.

Zowel in Canada als in de USA is een (mijnbouw)stad die Cobalt heet. In Queensland (Australië) vindt men kobalt op Mount Cobalt.

Tabel I: Oude namen, auteur en jaartal van enkele kobaltmineralen

Linnaeiet Kobalt med Jern och Svafelsyra Cobaltum pyriticosum Svafelbunden Kobolt Kobaltkies Koboldine, Cobaltine	(Brandt, 1746) (Linnaeus, 1768) (Hisinger, 1810) (Hausmann, 1813) (Beudant, 1832)
Cobaltien Cobaltum cum ferro sulfurato et arsenicato mineralisatum Mine de Cobalt blanche Mine de Cobalt arsenico-sulfureuse Glanz kobaltkies	(Cronstedt, 1758) (De Lisle, 1772) (De Lisle, 1783) (Glocker, 1832)
Skutterudiet (chloantiet, smaltien) Cobaltum cineraceum Koboltglants, Cobaltum arsenico mineralisatum Weisser/Grauer Speisskobold Hartkobaltkies, Tesselal-kies Arsenikkobaltkies Hartkobaltertz	(Agricola, 1529) (Wallerius, 1747) (Werner, 1817) (Breithaupt, 1827) (Scheerer, 1837) (Hausmann, 1847)
Asbolaan Cobaltum nigrum Svart Kobold-Jord Kobalt-Mulm, Ochra Cobalte nigra Cobalt oxyd noir Kakochlor Lubumbashite	(Agricola, 1529) (Wallerius, 1747) (Cronstedt, 1758) (Häüy, 1801) (Breithaupt, 1847) (lokale naam in Katanga)

Tabel II: Kobaltvoorkomens

Tunaberg; Skutterud; Riddarhyttan; Håkansboda; Bastnäs; Boliden Ertzgebergte: Schneeberg, Annaberg, Johanngeorgenstadt, Jáchymov Wittichen, Zwartewoud; Siegerland; Trogtal, Harz; Westerwald; Odenwald Allemont-les Chalanches, Dauphiné Sierra Almahilla; Villamanin, León Cornwall (verscheidene kleine voorkomens) Schladming; Hüttenberg Příbram; Petrovice Bou Azzer, zie afb. 3 Cobalt, Ontario; Great Bear Lake Willyama, Cobar, NSW; Mt Cobalt, Queensland; Bimbowrie Henderson; Modderfontein; Middelburg Shaba-provincie Talmessí, Anarak Tsumeb Chihuahua; Sonora Dažkessan; Ak-Džilga Dolores County, Colorado; Lemhi County, Utah	Zweden DDR en CSSR BRD Frankrijk Spanje GB Oostenrijk CSSR Marokko Canada Australië Z-Afrika Zaire (Katanga) Iran Namibië Mexico USSR USA
---	--

Tabel III: Overzicht van de kobaltmineralen, gerangschikt in de negen mineraalklassen

1) Elementen, legeringen e.a.		
CoFe Wairauiet Verder bevatten de exotische mineralen coheniet en schreibersiet (te vinden in gedegen ijzer, vnl. in meteorieten) nog kobalt.		
2) Sulfiden (en arseniden, seleniden enz.)		
formule	naam	behoort tot de
Co ₃ S ₄	Linnaeiet	linnaeiet-groep
(Co,Ni) ₃ S ₄	Siegeniet	"
(Cu,Co,Ni) ₃ S ₄	Carroliet	"
(Cu,Ni,Co) ₃ S ₄	Fletcheriet	"
CuCoPtS ₄	Dayingiet	"
Co ₃ Se ₄	Bornhardtiet	"
(Cu,Co,Ni) ₃ Se ₄	Tyrrelliet	"
CoS ₂	Cattieriet	pyriet-groep
(Cu,Ni,Co,Fe)S ₂	Villamaniet	"
(Ni, Fe,Co)S ₂	Bravoiet	"
CoSe ₂	Trogtaliet	"
(Ni,Co,Cu)Se ₂	Penroseiet	"
(Cu,Co,Ni)Se ₂	Krutaet	"
CoSe ₂	Hastiet	marcasiet-groep
(Co,Fe)Te ₂	Mattagamiet	"
CoSbS	Costibiet	löllingiet-groep
CoSbS	Paracostibiet	"
CoAs ₂	Saffloriet	"
CoAsS	Cobaltien (afb. 4)	cobaltien-groep
(Co,Ni)SbS	Willyamiet	"
(Co,Fe)AsS	Glaucodoot	arsenopyriet-groep
(Co,Fe)AsS	Alloklaas	"
(Co,Ni)As ₃	Skutterudiet (Smaltien)	"
(Ni,Co)As ₃	Nikkelskutterudiet (Chloantiet)	"
(Co,Ni)As	Langisiet	nickelien-groep
CoSe	Freboldiet	"
(Co,Fe,Ni)As ₂	Clinosaffloriet	"
(Co,Ni,Fe)(As,Bi)	Badeniet	"
(Co,Fe)As	Modderiet	"
Co ₉ S ₈ of (Co,Fe,Ni) ₉ S ₈	Cobaltpentlandiet	pentlandiet-groep
3) Halogeniden		
CoCl ₂ ·6H ₂ O	Albrittoniet	(een chloride)
Na ₂ Co(SCN) ₄ ·8H ₂ O	Julieniet	(een thiocynaat)
4) Oxiden, Hydroxiden		
"Co-wad"	Asbolaan	MnO ₂ -groep
CoOOH	Heterogeniet-3R	(trigonaal)
CoOOH	Heterogeniet-2H	(hexagonaal)
CoSeO ₃ ·2H ₂ O	Cobaltomeniet	(een seleniet)
(Co,Zn)AsO ₃ (OH)·H ₂ O	Cobaltkoritnigiet	(een arseniet)
5) Carbonaten etc.		
CoCO ₃	Sphaerocobaltiet	
(Er zijn ook Co-houdende variëteiten van calciet en smithsoniet)		

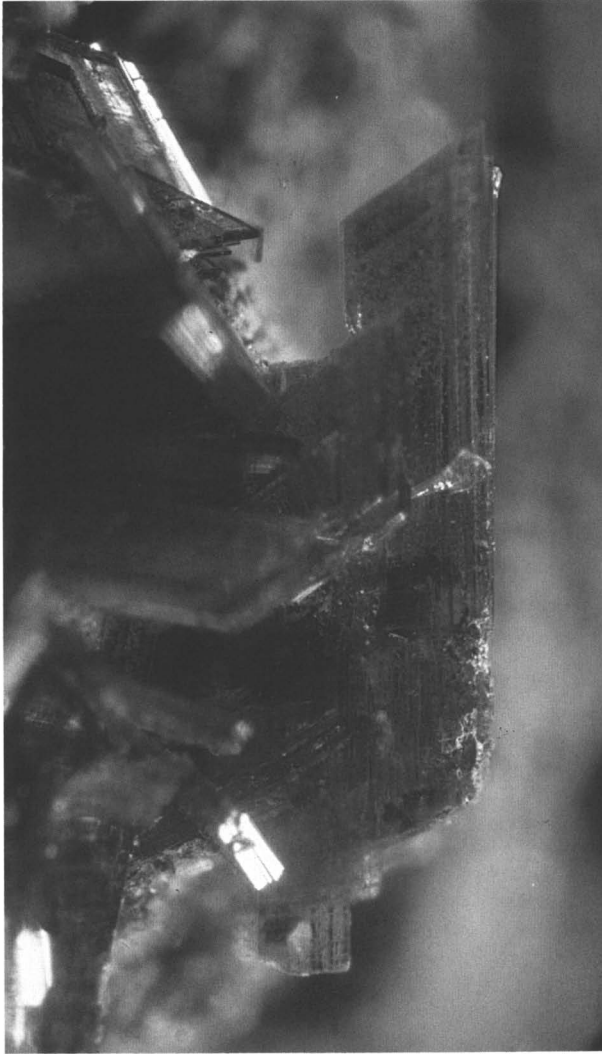
6) Sulfaten e.a.	
CoSO ₄ ·7H ₂ O	Bieberiet
(Co,Mn,Ni)SO ₄ ·4H ₂ O	Aplowiet
(Co,Ni,Mn)SO ₄ ·6H ₂ O	Moorhouseiet
Co(UO ₂) ₆ (SO ₄) ₃ (OH) ₁₀ ·16H ₂ O	Cobalt-zippeiet
7) Fosfaten, Arsenaten, Vanadaten	
Co ₃ (AsO ₄) ₂ ·8H ₂ O	Erythrien (afb. 3)
Ca ₂ (Co,Mg)(AsO ₄) ₂ ·2H ₂ O	Roseliet (afb. 5)
Ca ₂ Co(AsO ₄) ₂ ·2H ₂ O	Beta-roseliet
(Co,Ni,Mg,Ca) ₃ (Fe,Al) ₂ (AsO ₄) ₄ ·11H ₂ O	Smolianoviet
Co(UO ₂) ₂ (AsO ₄) ₂ ·8H ₂ O	Metakirchheimeriet
8) Silicaten	
Geen Co-silicaten bekend. (Er is eens een Co-houdende stauroliet beschreven)	
9) Organische verbindingen	
Geen Co-mineralen bekend.	

Voorkomens en ertsafzettingen

Kobalt is met een aandeel van ongeveer 0,002% vertegenwoordigd in de aardkorst. Daarmee is het in volgorde van voorkomen het 34ste element. Omdat het waarschijnlijk relatief veel voorkomt in de aardkern is het aandeel in het gewicht van de hele aarde zeker groter. Het kobalt associeert zich nl. graag met de "siderofiele" elementen. In de aardkorst vinden we het kobalt geconcentreerd in sulfiden en vooral in arseniden. De oude ertssmelters hadden dat dus al tot hun nadeel ondervonden!

Kobaltersom komen nooit alleen voor. Steeds vinden we ze samen met twee of meer van de volgende metalen: zilver, nikkel, bismut, uranium. De klassieke erts van het ertsgebergte in Bohemen bevatten beroemde voorkomens van dit vijftal. In Chihuahua (Mexico) vinden we hetzelfde type verertsing. De enorm uitgebreide Co-erts van Ontario (Canada) bevatten géén uranium en nauwelijks bismut, maar wel veel zilver. Het befaamde Bou Azzer in Marokko levert weer alle vijf. De eertijds rijke zilvermijnen bij Kongsberg (Noorwegen) bevatten ook kobalt.

Daarnaast vinden we kobalt als "bijproduct" van de koperwinning (Zaire!). Interessant is de economische waardering bij de beroemde voorkomens van Jáchymov (Joachimsthal, Ertzgebergte, CSSR): in de 15e eeuw werd het erts om het zilver ontgonnen (en leverde het meegekomen Kobolden-erts alleen maar problemen op). In de 17e en 18e eeuw ging het om het kobalt (als Smalte). In de 18e en 19e eeuw om het bismut en in onze eeuw voornamelijk om het uranium. Joachimsthal leverde het "pekblende" (uraniniet) waaruit madame Curie radium isoleerde en daarmee het "aatom" tijdperk op gang bracht. De mijnen produceren daar nog steeds. Enkele belangrijke en/of interessante voorkomens van kobalt-erts zijn te vinden in tabel II.

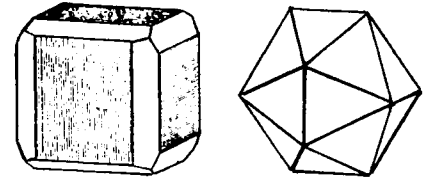


Afb. 3. Erythrien-kristallen; hoogte beeldveld ca. 3 mm. De zeer opvallende kleur noemt men "perzikbloesem-rood": hardrose met een zweem van violet. Herkomst: Ambed-mijn, Ait-Tal-Hait, Bou Azzer, Marokko. Collectie: W.R. Moorer. Foto: P. Stemvers. Erythrien is monoklien; het vormt meestal kleine, prismatische, platte, vaak gestreepte kristallen, die veelal in rozetten of bolvormige aggregaten gegroepeerd zijn. Omgezette, verweerde kristallen zijn parelgrijs. Het is een secundair mineraal in de oxydatiezone van kobaltrijke ertsen.

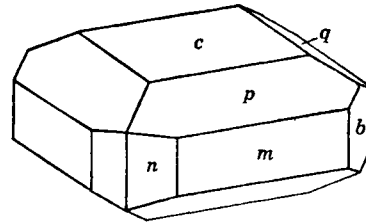
Systematiek

De bekendste kobaltmineralen zijn: heterogeniet; sphaerocobaltiet; erythrien; roselië; cobaltien; skutterudiet; saffloriet; linnæiet; carroliet. Dit zijn tevens de meest verzamelwaardige mineralen. Beschrijvingen ervan vindt u in uw mineralenboeken. Er zijn echter zo'n 50 kobaltmineralen, terwijl daarnaast nog vaak wat kobalt in nikkelmineralen zit, zonder dat de laatste daardoor kobaltmineralen genoemd mogen worden. De min of meer volledige lijst "echte" kobaltmineralen is in tabel III te vinden. Ze zijn gerangschikt volgens de negen mineraalklassen, waarbij opvalt dat – gezien de affiniteit van kobalt tot sulfidevorming en tot verbinding met metallisch ijzer – de grote groep der silicaten géén Co-mineralen

huisvest. Alle kobaltmineralen in de klassen 3 - 6 zijn te beschouwen als verweringsproducten (van de sulfiden en arseniden).



Afb. 4. Cobaltien.



Afb. 5. Roselië

Literatuur

Veel gegevens werden ontleend aan:

Weast, R.C. (ed.): Handbook of Chemistry and Physics (1970), CRC-Press, Cleveland, Ohio, USA.

Lehninger, A.L.: Biochemistry (1970), Worth publ., New York, USA.

Windholz, M. (ed.): The Merck Index (1976), Merck & Co., Rahway, N.J., USA.

Lüschen, H.: Die Namen der Steine (1968), Ott Verlag, Thun, Zwitserland.

Mitchell, R.S.: Mineral names. What do they mean? (1979), Van Nostrand Reinhold, New York, USA.

Fleischer, M.: Glossary of mineral species (1983), The Mineralogical Record Inc., Tucson, Arizona, USA.

Palache, C. e.a.: Dana's System of mineralogy, Vol. 1, 7th ed., (1944), John Wiley & Sons, New York, USA.

Ramdohr, P. en Strunz, H.: Klockmanns Lehrbuch der Mineralogie, 16e druk (1978), Enke Verlag, Stuttgart.