

## Literatuur-referenties

Arthaber, G.V., Ueber Entwicklung, Ausbildung und Absterben der Flugsaurier. *Paläont. Z.*, 4, (1), 1-47 (1922).  
Bramwell, C.D. & Whitfield, G.R. Biomechanics of *Pteranodon*. *Phil. Trans. Roy. Soc. London (B)*, 267, 503-581 (1974).  
Buissonjé, P.H. de, *Santanadactylus brasiliensis* nov. gen., nov. sp., a long-necked, large pterosaur from the Aptian of Brasil. *Kon. Ned. Ak. Wet., Proc.*, B, 83, (2), 145-172 (1980).  
Eaton, C.F., Osteology of *Pteranodon*. *Mem. Connecticut Acad. Arts Sci.*, 2, 38, NewsHaven (1910).  
Molnar, R.E. & Thulborn, R.A., First Pterosaur from Australia. *Nature*, Vol, 288, 361-363 (1980).  
Owen, R., Monograph on the Fossil Reptilia of the Cretaceous Formations, Suppl. I Pterosauria (*Pterodactylus*) *Monogr. Palaeont. Soc.*, p. 1-19, London (1859).

Owen, R., Monograph on the Fossil Reptilia of the Cretaceous Formations, Suppl. III Pterosauria (*Pterodactylus*) *Monogr. Palaeont. Soc.*, p. 1-19, London (1861).  
Owen, R., Monograph of the Fossil Reptilia of the Mesozoic Formations I. Pterosauria. *Monogr. Palaeont. Soc.*, p. 1-14, London (1873).  
Romer, A.S., De Gewervelde Dieren. Bewerkt door Dr. P.J. Kipp. Uitg. Het Spectrum N.V. (1971).  
Seeley, H.G., The Ornithosauria: an elementary study of the bones of Pterodactyles. 135 pp. Cambridge (1879).  
Wellnhofer, P., Die Pterodactyloidea (Pterosauria) der Oberjura-Plattenkalke Süddeutschlands. *Abh. Bayer. Akad. Wiss., N.F.*, 141, 1-133, München (1970).  
Wellnhofer, P., Pterosauria. *Handbuch der Paläoherpetologie* 19, 1-82 (1978).  
Williston, S.W., On the osteology of *Nyctosaurus* (*Nyctodactylus*) with notes on American Pterosaurs, *Publ. Field Columb. Mus. Nat. Hist.* 78, Geol. Ser., 2, 3, 125-163 (1903).

---

# CHEMISCHE FORMULES:

## hulpmiddel, geen toverspreuken III

door drs. W.R. Moorer

### IJZER

Onze aarde bestaat voor 35% uit ijzer. Toch is het belangrijkste ijzerproduct: staal, nog knap duur. Als het eerste waar is, is het tweede op z'n minst gezegd nogal bevreemdend. We zullen zien hoe we deze ogenschijnlijke tegenspraak kunnen verklaren en op welke wijze formules ons daarbij kunnen helpen.

#### Ijzer, zeldzaam of niet?

Op het eerste gezicht een overbodige vraag die met nee beantwoord kan worden door te verwijzen naar bovengenoemde 35%. En naar allerlei staalconstructies, om maar niet van onze fietsen en auto's te spreken: we zitten temidden van, en bovenop het ijzer! Beschouwen we de zaak wat breder dan komen we tot het besef dat het meeste ijzer op een voor ons onbereikbare plaats huist: in de aardkern. De aardkorst bevat "slechts" 5% ijzer, zoals u in b.v. onze tabel I (Gea 1980, vol. 13 nr.2) kunt zien. Bedenk dat de gewichtsprocenten van die tabel I inderdaad alle betrekking hebben op de aardkorst, de bovenste paar kilometer van onze aarde dus. Aardkern en aardmantel zijn voor ons onbereikbaar. Maar goed, 5% van de aardkorst is nogal wat. IJzer (Fe) is het vierde element in volgorde van voorkomen, zodat het dus bepaald niet zeldzaam is, maar integendeel algemeen optreedt. Toch kunt u, als u een goed mineralenboek bezit, met de hand op het hart volhouden, dat ijzer zeer zeldzaam is: behalve het voorkomen als superkleine vlokjes in sommige bijzondere, ultrabasische, gesteenten zijn er eigenlijk maar twee echte vindplaatsen van ijzer: Ovifak en Disko, Groenland en - dichter bij huis - Bühl bij Weimar, Duitsland. Daar alleen vindt men **ijzer-als-zodanig** ofwel **gedegen ijzer**. Daar komt ijzer voor als element, niet als

erts of als verbinding en het is als zodanig veel zeldzamer dan goud.

Behalve van dit "aardse" ijzer van de aardkorst weten we natuurlijk nog van het bestaan van meteorieten: stukjes hemellichaam die lijken overeen te komen met de samenstelling van o.a. onze aardkern.

Maar zelfs als we al het meteoritisch ijzer meerekenen en optellen bij het aardse ijzer komen we nog tot de conclusie dat ijzer-als-zodanig, gedegen ijzer, vrij ijzer of hoe je het ook noemen wilt een zéér zeldzame verschijning genoemd kan worden. Van al het beschikbare gedegen ijzer is nauwelijks één brug te bouwen!

#### Bruggen bouwen via hematiet

We hebben gezien dat gedegen ijzer, ijzer als "vrij" metaal dus, zeer zeldzaam is en dan ook als zodanig door de verzamelaar wordt gewaardeerd. IJzermeteorieten zijn duur en maar mondjesmaat in de handel. Voor een echt stukje aards ijzer van Groenland of Bühl betaal je (als het al wordt aangeboden) zo'n beetje de huidige goudprijs. Willen we bruggen bouwen of auto's maken dan hebben we dus niet genoeg aan het vrije ijzer, maar zoeken we naar **gebonden** ijzer. IJzermijnbouwers vinden we niet in Bühl of Ovifak, en ook staan ze de meteorieten niet uit het heelal te kijken, maar we vinden ze bij plaatselijke opeenhopingen van gebonden ijzer in de aardkorst. Daar waar het ijzer als ijzererts optreedt. Over ijzerertsen, hun voorkomen en paragenese vindt u elders in dit Geanummer meer informatie. Wij houden ons nu bezig met de samenstelling van ijzerertsen.

U weet dat de **samenstelling** van mineralen door hun **formule** wordt beschreven. We zoeken de formules van de meest gebruikte ijzerertsen op in een mineralenboek en rekenen meteen even het ijzerpercentage uit.

ijzererts	samenstelling	% ijzer	% zuurstof	rest
magnetiet	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	72,4	27,6	-
hematiet	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	70,0	30,0	-
"limoniet"	$\text{FeO}(\text{OH})$	62,9	36,0	1,1
sideriet	$\text{FeCO}_3$	48,3	41,4	10,3
ilmeniet	$\text{FeTiO}_3$	36,8	31,6	31,6

De berekening van de percentages kunt u eenvoudig zelf maken (zie voor de atoomgewichten Gea 1980, vol. 13 nr. 4, fig. 7: Fe = 56, O = 16, H = 1, C = 12, Ti = 48) of controleren. Voor sideriet is het ijzerpercentage : 56 gedeeld door  $(56 + 12 + 3 \times 16 = 116) \times 100\% = 48,276\%$ ; het koolstofpercentage is 12 gedeeld door  $116 \times 100\% = 10,345\%$  en het zuurstofgehalte is  $3 \times 16$  gedeeld door  $116 \times 100\% = 41,379\%$ .

Dit betekent dat 100 ton (zuiver) siderieterts 48 ton gebonden ijzer bevat. Toch nog flink veel.

Wat u opvalt in de tabel is het volgende:

1. magnetiet is het rijkste ijzererts (bevat het meeste ijzer), op de voet gevolgd door hematiet,
2. alle vijf ijzerertsen bevatten zuurstof,
3. sideriet bevat koolstof en ilmeniet bevat titaan.

Nu moeten we met het begrip "erts" een beetje oppassen: enerzijds kan het betekenen: het pure mineraal als erts, dus in de betekenis die hierboven is gebruikt. Anderzijds is er het economische begrip erts dat verwijst naar het ruwe materiaal dat door de mijnbouwmaatschappij wordt geëxploiteerd. In deze betekenis zijn er b.v. "rijke" en "minder rijke" magnetiet-voorkomens, wat inhoudt, dat het gedolven materiaal een mengsel is van veel magnetiet met weinig waardeloos gesteente of weinig magnetiet met veel waardeloos gesteente. In beide gevallen kan het magnetiet zelf dan nog zeer zuivere magnetiet zijn dan wel (inwendig) zijn verontreinigd met "vreemde" elementen of andere mineralen.

Iedereen weet dat je van hematiet geen bruggen kunt bouwen. Tenminste: niet direkt. Eerst moet het ijzer dat gebonden zit in hematiet eruit vrij gemaakt worden. Dit is hetzelfde als te zeggen dat in  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  het Fe van het O gescheiden moet worden. U weet dat deze schei - kunde in een hoogoven plaats vindt : bij hoge temperaturen wordt cokes gebruikt om de zuurstof van het hematiet uit de greep van het ijzer los te maken. Hierbij komt het ijzer alleen te staan, is als het ware losgeraakt uit z'n verbinding met O, en herkrijgt tegelijk zijn typische vrije-ijzer-eigenschappen die voorheen waren "overschaduwd", verborgen gehouden, door de binding met zuurstof. Na de schei - kunde in het hoogovenproces hebben we eindelijk ons vrije ijzer. Zolang we genoeg ijzererts en genoeg cokes hebben kan het ijzertijdperk voortduren. Toch bruggen uit hematiet dus!

### Pyriet is geen ijzererts

De formule van pyriet is  $\text{FeS}_2$ . Pyriet is een veelvuldig in grote hoeveelheden voorkomend mineraal. We rekenen uit (Fe = 56, S = 32) dat pyriet 46,7% ijzer bevat en 53,3% zwavel. Waarom wordt pyriet dan niet gebruikt als ijzer-

erts? Het kan niet liggen aan het ijzerpercentage, want dat lijkt hoog genoeg. Het antwoord is dat de aanwezigheid van zwavel in de pyriet het (hoogoven)proces onmogelijk maakt. Of anders gezegd: de bevrijding van ijzer uit pyriet levert (te) veel technische en economische problemen op, althans vergeleken met de processen die voor de winning van ijzer uit ijzer-zuurstof-mineralen worden toegepast. Met behulp van uw kennis omtrent de betekenis van formules kunt u nu zelf de volgende vragen beantwoorden: kunnen markasiet, pyrrhotien, ferrieriet, ferberiet of almandien gebruikt worden als ijzererts? Bij dergelijke vragen staat ons allereerst één ding te doen: de samenstelling opzoeken. Met andere woorden: de formule raadplegen. We vinden in de mineralenboeken het volgende:

markasiet	$\text{FeS}_2$
pyrrhotien	$\text{FeS}$ (of $\text{Fe}_8\text{S}_9$ )
ferrieriet	$(\text{Na},\text{K})_2\text{MgAl}_3\text{Si}_{15}\text{O}_{36}(\text{OH}) \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
ferberiet	$\text{FeWO}_4$
almandien	$\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

Als we het rijtje afgaan kunnen we als volgt redeneren: markasiet heeft dezelfde samenstelling als pyriet:  $\text{FeS}_2$ . De twee mineralen zijn dus beide opgebouwd uit Fe en S, en wel in de verhouding 1 : 2. Die verhouding, weet u het nog ?, slaat op de aantallen samenstellende deeltjes (atomen). Aangezien ieder atoom z'n eigen karakteristieke gewicht heeft, is de gewichtsverhouding Fe : S niet 1 : 2 maar, zoals we bij pyriet via fig. 7 hebben uitgerekend: 46,7 : 53,3. Het verschil tussen markasiet en pyriet zit 'm niet in de samenstelling, maar in de rangschikking van de Fe- en S-atomen binnen het kristal. Dit verschijnsel : dezelfde samenstelling (formule), maar toch anders (via verschillende rangschikking in kristalroosters) komt bij kristallijne stoffen en dus bij mineralen vaak voor. Het wordt **polymorfie** genoemd en u kent het zelf van markasiet/pyriet, maar ook van calciet/aragoniet en van rutiel/anataas/brookiet enz. Bij paartjes spreekt uw mineralenboek vaak van dimorfisme.

Gaan we terug naar onze vraag "markasiet als ijzererts?" dan zeggen we, alleen al op grond van de formule die gelijk is aan die van pyriet: nee. Als pyriet geen ijzererts kan zijn, dan markasiet ook niet.

Bij pyrrhotien wordt dezelfde redenering opgebouwd: zwavel in de verbinding, dus geen (prettig, economisch) ijzererts.

Nu ferrieriet. Op grond van de naam zouden we kunnen denken : aha! hier zit Fe in. De formule helpt u onmiddell-

lijk uit de droom: er komt helemaal geen Fe in de formule voor! Dus zelfs als u het mineraal ferberiet niet kent of nooit heeft gezien, dan helpt de formule u aan de samenstelling. De formule ontsluit al een groot aantal eigenschappen, of juist het ontbreken van eigenschappen, zoals in ons geval. Niet op de naam afgaan dus, maar op de formule: die is geen toverspreuk maar hulpmiddel! In ferberiet:  $\text{FeWO}_4$ , zit wel degelijk Fe (en géén zwavel), zodat het ferberiet volgens onze huidige kennis best wel eens als ijzererts gebruikt zou kunnen worden. Kijken we behalve naar de **kwaliteit**: ferberiet bestaat uit Fe, W en O, ook naar de **kwantiteit**: het gewichtsperscentage ijzer in  $\text{FeWO}_4$  is 56 gedeeld door  $56 + 184 + 4 \times 16$  maal 100% = 18%, dan lijkt de prognose een stuk slechter dan voor magnetiet en zelfs voor sideriet. Bovendien, maar dat kunt u niet van de formule aflezen, is ferberiet een nogal weinig voorkomend mineraal. Toch wordt het als erts graag gezien, maar niet op grond van het ijzergehalte, maar op grond van het wolfram-gehalte. Ferberiet bevat ruim 60% W(olfram) en willen we 's avonds een mineralenboek lezen dan hebben we wolfram nodig: het vormt de gloeidraad in onze gloeilampen. Almandien bevat, zoals u ziet, flink wat ijzer (volgens de formule: 34 gewichtsprocent). Het kan de concurrentie met magnetiet en hematiet als ijzererts niet aan op grond van het toch lager ijzerpercentage, het verspreid voorkomen van almandien-granaat, de "onzuiverheden" in het almandien-"erts", het hoge Si-gehalte en nog wel

andere redenen.

Hoewel veel ijzer in de formule een voorwaarde is voor het ijzererts-zijn, is niet ieder ijzerhoudend mineraal een ijzererts.

### Kijk eens rond in uw verzameling

De 5% ijzer van de aardkorst zit daar in de vorm van ijzerverbindingen, in ijzerhoudende mineralen dus. Het leeuwedeel van de gewone gesteentevormende mineralen zoals biotiet, olivijn, pyroxenen en amfibolen bevat ijzer.

De hoeveelheid economisch winbaar ijzererts is eigenlijk miniem vergeleken bij al het ijzer dat is verspreid in de gesteentevormende en accessoirische mineralen.

Van de  $\pm$  3000 bekende mineraalsoorten bevat een zeer groot aantal (naar ruwe schatting 400) ijzer, dat in de formules is terug te vinden. Zoveel verschillende ijzermineralen zal uw verzameling niet tellen, maar allicht dat we, behalve de al genoemde mineralen, aantreffen: arsenopyriet, löllingiet, goethiet, vivianiet, andradiet, hedenbergiet, aegirien, augiet, chloriet, ankeriet, chalcopyriet, borniet, actinoliet, wolframiet, jamesoniet, stannien, frankliniet, en uw ijzermineralen die ik nu over het hoofd zie. U kunt dat beter nagaan dan ik. Maak eens een lijst van uw ijzermineralen!

(wordt vervolgd)

## Ijzerertsvoorkomens bij Kiruna en Gällivare (Zweeds Lapland)

door drs. W.J.M. Scheres

### Inleiding

In Zweeds Lapland liggen bij de steden Kiruna en Gällivare talrijke voorkomens van hoogwaardig ijzererts (afb. 1). Al vele tientallen jaren zijn daar een aantal mijnen in exploitatie. Via een spoorweg zijn Kiruna en Gällivare met respectievelijk de Noorse zeehaven Narvik en de Zweedse Oostzeehaven Luleå verbonden. Vanuit deze havens wordt het tot ertsnikkers verwerkte erts uitgevoerd. Het ijzergehalte van de in Lapland gedolven erts is hoog: tot 60 à 70% Fe. Dit hoge gehalte is met de grote reserves van 4 miljard ton de oorzaak dat de ertswinning in dit boven de poolcirkel gelegen gebied zo hoog is opgevoerd.

Bijna alle ertslichamen bij Kiruna en Gällivare worden gekenmerkt doordat ze relatief veel apatiet bevatten. Als ijzerertsmineraal treedt voor het overgrote deel magnetiet op. Verder komt hematiet in wisselende hoeveelheden voor.

De ertslichamen worden vergezeld door porfierische\*) gesteenten of door gneizen die via metamorfose uit porfierische gesteenten zijn ontstaan. De genese van deze

ertsen staat momenteel nog steeds ter discussie, ondanks het feit dat in deze gebieden zeer veel onderzoek verricht is. Volgens de klassieke theorieën zijn ze van magmatische\* origine, maar tegenwoordig wordt er meer en meer uitgegaan van een exhalatief-sedimentaire ontstaanwijze\*). Beide theorieën zullen later in dit artikel worden uiteengezet.

### De ertsafzettingen bij Kiruna

#### a) Kiirunavaara, Luossavaara en Tuollavaara

Vlakbij de stad Kiruna, die dankzij deze voorkomens is ontstaan, liggen grote ertsafzettingen die omgeven zijn door porfierische gesteenten.

De meest bekende voorkomens zijn die van de bergen Kiirunavaara en Luossavaara (afb. 2).

Het ertslichaam van Kiirunavaara is verreweg het omvangrijkste. Dit bestaat uit een langgerekt plaatvormig intrusielichaam\*) dat aan de onderzijde begrensd wordt door syenietporfier\*) en aan de bovenzijde door kwartsporfier\*). Op deze kwartsporfieren liggen sterk gemetamorfoseerde lava's en verkieselde tufgesteenten van het Hauki-complex en de sedimentgesteenten van de Vakk-

\*) De termen waar een \*) achter staat worden verklaard in een woordenlijst achter dit artikel.