

# 92 elementen, bouwstenen voor 4200 mineralen

door Ernst A.J. Burke en Herman van Dennebroek

Een mineraal is een chemisch element of chemische verbinding, die meestal kristallijn is en gevormd werd als het resultaat van geologische processen.

In de natuur komen 92 elementen (stoffen) voor. Sommige elementen, bv. goud, zilver, koper en ijzer, zijn al meer dan 2000 jaar bekend. De meeste elementen zijn pas veel later ontdekt. Zo is het element fosfor pas in 1669 ontdekt door de Duitse alchemist Hennig Brand. Het zou tot ca. 1735 duren voordat er weer een element gevonden werd, platina en kobalt werden aan de rij toegevoegd. Vanaf die tijd werden er regelmatig nieuwe elementen in de aardkorst ontdekt. Het laatst ontdekte natuurlijke element is protactinium, thans bekend als nr. 91 in de tabel van Mendeleev. Dit werd in 1913 gevonden.

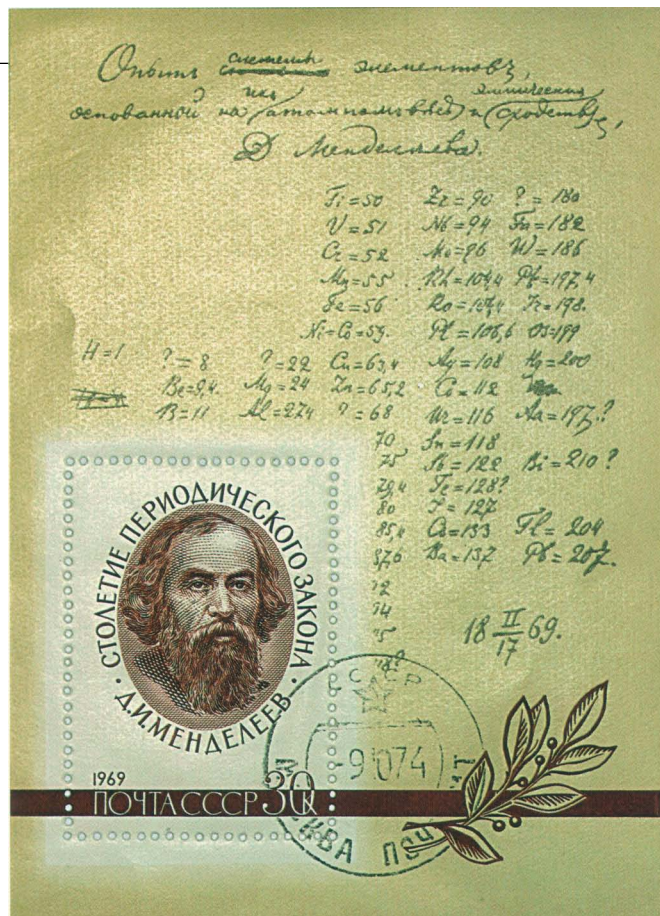
Veel geleerden hebben in de loop der tijden geprobeerd om ordening aan te brengen in de toenmalig bekende stoffen. Avicenna, een Perzische arts, verdeelde in de 11de eeuw de toenmalige bekende mineralen in een systematiek die was opgebouwd uit vier groepen: Stenen en Aarden, Brandbare en Zwavelhoudende Mineralen, Zouten en Metalen. In 1863 stelde John Alexander Reina Newlands, een Britse chemicus, het eerste periodiek systeem op: hij plaatste 56 elementen in 11 groepen. In 1865 publiceerde Newlands zijn tabel als 'De wet van de octaven' omdat hij, na het rangschikken van de elementen naar oplopende atoommassa, ontdekte dat bepaalde eigenschappen zich elk achtste element herhaalden.

De Rus Mendeleev rangschikte in 1869 de 63 toen bekende elementen op grond van atoommassa en elektronenstructuur in een tabel. Mendeleev hield in zijn tabel plaatsen open voor elementen die toen nog niet bekend waren, maar die er volgens Mendeleev wel zouden moeten zijn (afb. 1). De latere ontdekkingen van nieuwe elementen bevestigden zijn vermoedens. De nieuwe elementen hoorden inderdaad thuis op de open plaatsen omdat de eigenschappen van de nieuw gevonden elementen bleken te passen in het systeem van Mendeleev.

De huidige, van Mendeleev afgeleide tabel, 'het periodiek systeem der elementen' (Tabel I) was in oktober 2006 de basis voor een tentoonstelling op het Geologisch Evenement Amsterdam. In deze tentoonstelling was geprobeerd om van ieder element enkele gangbare mineraalvoorbeelden te tonen die het betreffende element bevatten.

## Zo veel elementen, te weinig mineralen?

De 92 chemische elementen komen in zeer verschillende hoeveelheden voor, van zeer veel zoals zuurstof (bijna de



Afb. 1. Postzegel van Mendeleev. Op de achtergrond zijn geschreven tabel met nog niet gevonden, maar wel door hem verwachte elementen. Collectie W.R. Moorer.

helft van de massa van de aardkorst) tot uiterst weinig zoals astatium (geschat op 44 mg in de hele aardkorst). Een beperkt aantal mineralen bestaat uit één enkel element (bijv. goud, zilver, koper, platina, kwikzilver en diamant (afb. 2), maar meestal worden mineralen gevormd uit een combinatie van twee of meer van de 92 elementen (afb. 3 en 4).

Het aantal mogelijke combinaties van die 92 elementen kan rekenkundig bepaald worden. Er zijn in principe een paar duizend combinaties mogelijk van twee elementen, ca. honderdduizend combinaties van drie elementen, en een aantal miljoenen combinaties van vier of vijf elementen. Sommige mineralen zijn zelfs combinaties van 10 of meer elementen. Toch zijn er momenteel slechts zo'n 4.200 mineralen bekend. Waarom zijn er zo weinig combinaties van al die 92 elementen? Daar zijn er verschillende redenen voor.

**Tabel I. Periodiek systeem der elementen – tabel van Mendeleev**

1																	2
H																	He
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56		72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	L	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88																
Fr	Ra	A															

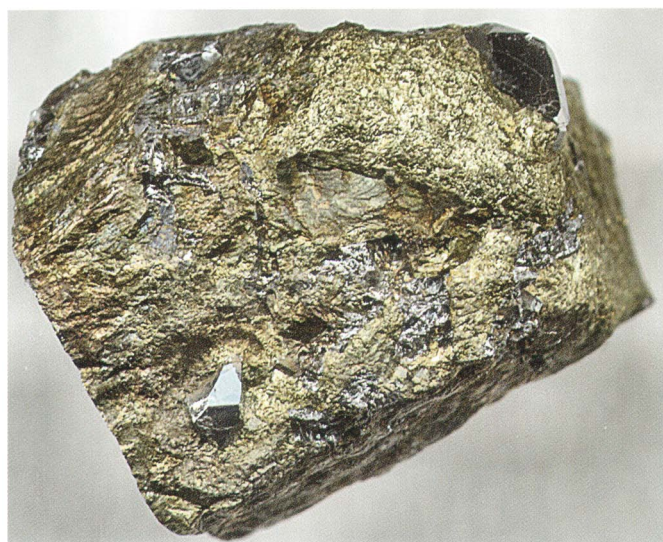
L	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
A	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

L = lanthaniden      A = actiniden

de symbolen van kunstmatig vervaardigde elementen (zoals Tc, Pm, Np enz.) zijn in een kleiner letterformaat weergegeven



Afb. 2. Diamant met etsfiguren. Kristal van 4 mm grootte met oktaedrische habitus. Het kristal is samengesteld uit de vormen oktaëder en rhombendodekaëder. De streping op de rhombendodekaëder vlakken duidt op vertweelingen. Herkomst: Mbuji Mayi distrikt, Democratische Republiek Congo (vroeger Zaire). Foto en collectie: H. van Dennebroek



Afb. 3. Sperryliet in chalcopyriet. Sperryliet is een verbinding van de elementen platina en arseen;  $PtAs_2$ . Herkomst: Norilsk district, Siberië, Rusland. Collectie: H. van Dennebroek (beeldveld 1,6 cm).

- 1) Om te beginnen zijn er veertien elementen die niet mee kunnen doen aan de mogelijke combinaties: twee elementen zijn niet stabiel (Tc en Pm), zes elementen zijn uiterst zeldzaam (Po, Ra, At, Fr, Ac, Pa), en de zes edelgassen (He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn) verbinden zich sowieso niet met andere elementen. Van de 92 mogelijke deelnemers zijn we al beperkt tot 78.
- 2) Yttrium en de 14 lanthaniden (dat zijn de elementen van de 'zeldzame aarden', zoals cerium en europium) gedragen zich meestal als één blok, zij komen altijd samen voor in mineralen, zij het in wisselende onderlinge hoeveelheden. De 78 deelnemers aan de 'combinatie' zijn gedaald naar 64.
- 3) Ongeveer tien elementen (bv. Ga, Hf, Rb) komen meestal alleen dispers voor (zie tekst hierna), zij zijn in mineralen slechts neven- of spoorelement van andere elementen die chemisch gelijkaardig zijn, maar in grotere hoeveelheden in de aardkorst aanwezig zijn. Het deelnemersveld is gedaald tot 54.
- 4) Zeer veel combinaties van die 54 elementen zijn gewoonweg niet mogelijk: chemisch doordat twee negatieve of twee positieve ionen zich niet met elkaar kunnen verbinden, of omdat bepaalde verbindingen in de natuur om diverse redenen niet kunnen gedijen (onvoldoende stabiliteit).
- 5) Tenslotte zijn er acht elementen die zo veel voorkomen in de aardkorst (samen vormen zij 98,5 massaprocent, zie tekst 'Saaie aardkorst') dat zij de mogelijkheden van de combinaties sterk beperken: kwarts en de silicaten zijn heer en meester in de aardkorst. De overige tientallen elementen komen pas tot hun recht in afzonderlijke mineralen als een of meer van die acht even niet aanwezig zijn in een of andere geologische context.





Afb. 4. Fluoriet, variëteit stinkspaat of antozoniet. Donker paarse tot zwarte kristallen van 17 mm grootte met bariet lamellen. Groeve Marienschacht, Wölsendorf, Oberpfalz, Duitsland. Foto en collectie: H. van Dennebroek

Kortom, we mogen blij zijn met onze ongeveer 4.000 zeldzame mineralen, ieder jaar komen er ondanks alles toch nog zo'n 50 nieuwe mineralen bij!

### Disperse elementen

Sommige elementen zijn eigenlijk niet zo zeldzaam, maar zij vormen slechts weinig 'eigen' mineralen omdat hun chemische eigenschappen (te) sterk lijken op die van andere elementen die in veel grotere hoeveelheden in de aardkorst aanwezig zijn: zij komen dan dispers (= ondergedoken / verstrooid / gecamoufleerd) voor in de mineralen van die algemener voorkomende elementen.

Zo vormt gallium (Ga, element 31; 0,002 massaprocent van de aardkorst) slechts vier eigen mineralen (galliet, gallobesantiet, tsumgalliet en söhngeiet), omdat iongrootte en alge-



Afb. 5. Pseudo-oktaëdrische kristallen tot ruim 1 cm groot van de zirkoon-groep. Deze groep bestaat uit de volgende mineralen: zirkoon;  $Zr(SiO_4)$ , hafnon;  $Hf(SiO_4)$ , thoriet;  $(Th,U)(SiO_4)$ , thorogummiet;  $(Th,U^{6+},Ce,...)(SiO_4)(OH)_4$  en coffinit;  $U^{6+}(SiO_4)(OH)_4$ . Omdat de kristallografische en chemische eigenschappen van deze mineralen sterk overeenkomen kunnen ze gemengd met elkaar voorkomen of elkaar gedeeltelijk vervangen. Dit wordt een mengreeks genoemd.

Omdat het specimen sterk radioactief is zal het hoofdbestanddeel waarschijnlijk thoriet zijn. De laatste twee mineralen van de reeks bevatten ook uranium maar ze komen zelden in grote kristallen voor. Herkomst: Muiâne pegmatiet, Alto Ligonha District, Zambezia Provincie, Mozambique. Collectie: E. Vercammen.

mene chemische eigenschappen zo sterk op die van aluminium (Al, element 13; 8,1 massaprocent van de aardkorst) lijken dat gallium bijna altijd als neven- of sporelement in Al-mineralen voorkomt. Slechts in een omgeving in de aardkorst waar geen Al aanwezig is kan Ga als hoofdelement in een mineraal voorkomen.

### Andere voorbeelden van disperse elementen

Rubidium (Rb, element 37; 0,009 massaprocent van de aardkorst) vormt slechts één eigen mineraal (rubiciën); het komt verstrooid voor in kalium-mineralen (K, element 19; 2,6 massaprocent van de aardkorst).

Ook hafnium (Hf, element 72; slechts 0,0003 massaprocent van de aardkorst) vormt slechts één mineraal (hafnon), het komt verstrooid voor in zirconium-mineralen (Zr, element 40; 0,0165 massaprocent van de aardkorst). Dat is weliswaar ook een relatief zeldzaam element, maar het komt toch 50 maal meer voor dan Hf, en het vormt tientallen eigen mineralen (afb. 5).

### Zeldzaam en toch belangrijk

De bekendheid van een element is een weerspiegeling van zijn mineralogie en van zijn belangrijkheid in de samenleving. Als een bepaald, zeer zeldzaam, element desalniettemin één mineraal vormt dat in grote hoeveelheden voorkomt in een beperkte geologische omgeving, bijv. tin (Sn, element 50; slechts 0,0002 massaprocent van de aardkorst) als cassiteriet ( $SnO_2$ ) bij zekere granieten, dan zal dat de aandacht trekken en tot industrieel gebruik leiden (tin werd al in de Oudheid gewonnen voor het maken van brons).

Goud (Au, element 79) is met zijn 0,0000004 massaprocent slechts het 75ste element (van 92) in de rangorde van voorkomen in de aardkorst, maar het wordt in metaalvorm in sedimenten gevonden, en het is onmiskenbaar een van de belangrijkste en bekendste elementen in onze samenleving.

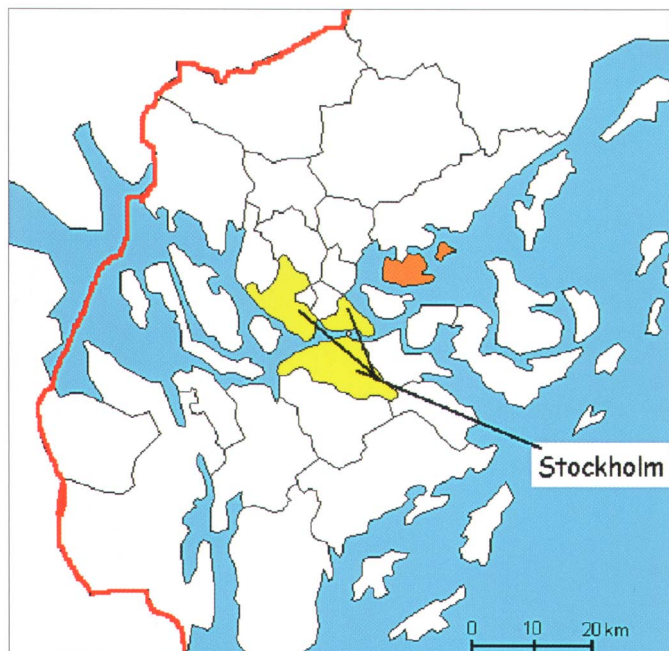
Kwikzilver (Hg, element 80; slechts 0,000008 massaprocent van de aardkorst) vormt het opvallende rode mineraal cinnaber ( $HgS$ ) dat reeds in de Oudheid bekend was in grote hoeveelheden (Almaden, Spanje); het vloeibare metaal werd toen al gebruikt bij de extractie van goud (door amalgamatie). Kwikzilver is veel zeldzamer, maar toch veel bekender, dan de vijftien zogenoemde 'zeldzame aarden of lanthaniden' (elementen 57 t/m 70 + yttrium, element 39) die samen ca. 0,02 massaprocent van de aardkorst vormen. Een aantal van die 'zeldzame aarden' verdienen echt wel meer bekendheid, zij worden immers gebruikt bij het maken van TV-toestellen!

*Ytterby: een klein plaatsje bij Resarö, kommune Vaxholm, in de archipel van Stockholm*

In het plaatsje Ytterby, zo'n 20 km ten oosten van Stockholm, werd een veldspaatgroeve geëxploiteerd in een grote pegmatiet (afb. 6). De meeste van de zeldzame-aarde-elementen werden in het gesteente van deze groeve ontdekt. Veel van deze elementen werden in Ytterby voor het eerst gevonden: Gadolinium, vernoemd naar de Finse chemicus Johan Gadolin, Holmium, van de Latijnse naam voor Stockholm, Thulium, een oud synoniem voor Scandinavië. (Bron: Wikimedia Commons (Creative Commons))

De naam van het dorpje Ytterby is terug te vinden in de elementen yttrium en terbium, beide in 1843 ontdekt door de Zweedse chemicus Carl Gustav Mosander. Ytterbium werd in 1878 ontdekt door de Zwitser Jean Charles Galissard de Marignac. De Zweden Per Teodor Cleve en Lars Fredrik Nilsson ontdekten in 1879 erbium, holmium en thulium.





Afb. 6. Kaartje met de ligging van Ytterby.

## Elementnaam / mineraalnaam

Soms werden mineralen vernoemd naar het element dat in het mineraal aanwezig is, bv. galliet (gallium), germaniet (germanium), indiet (indium), zie ook Tabel II. Maar ook het omgekeerde komt voor. Het element samarium werd in 1879 door P.E. Lecoq de Boisbaudran ontdekt in het mineraal samarskiet. Vandaar de afgeleide naam. Het mineraal is vernoemd naar een Russische mijnbouwkundige, W.J. von Samarski, die het mineraal ontdekte in een mijn in de Oeral. Achteraf bleek het ontdekte samariumoxide uit twee oxiden te bestaan. In 1901 slaagde E.A. Demarçay erin om uit het samariumoxide het andere oxide in redelijk zuivere toestand te isoleren. Demarçay noemde het element europium, afgeleid van Europa. Het mineraal strontianiet is in 1787 genoemd naar het Schotse dorpje Strontian, waar het in loodmijnen voorkomt. Een van de samenstellende elementen werd pas in 1798 ontdekt en genoemd naar het mineraal, strontium.

## Saaie aardkorst?

De aarde bestaat uit kern, mantel en korst. De voor ons belangrijke geologische processen spelen zich meestal af in de zeer dunne korst, gemiddeld slechts 16 km dik. Ook bijna alle mineralen die we kennen zijn afkomstig uit die aardkorst. Slechts 8 van de 92 elementen die op aarde voorkomen vormen ca. 98,5 massaprocent van de aardkorst:

Zuurstof	O	46,6 massa-%
Silicium	Si	27,7
Aluminium	Al	8,1
IJzer	Fe	5,0
Calcium	Ca	3,6
Natrium	Na	2,8
Kalium	K	2,6
Magnesium	Mg	2,1
<i>Totaal</i>		<i>98,5 massa-%</i>

Overige 84 elementen 1,5 massa-%

Op grond van die cijfers is het haast vanzelfsprekend dat ongeveer 99 massaprocent van de mineralen (de in de natuur voorkomende chemische verbindingen van de elementen) in de aardkorst zuurstofverbindingen zijn, en dan

vooral mineralen die silicium en zuurstof bevatten. De volgende lijst geeft de (nogal saaie?) mineralogische samenstelling van de aardkorst weer.

## Mineralogische samenstelling van de aardkorst

Plagioklaas (Na-Ca-veldspaat)	39 massa-%
kalium-veldspaat	12
kwarts	12
pyroxeen	11
amfibool	5
glimmer (muscoviet, biotiet)	5
olivijn	3
magnetiet	1,5
kleimineralen (+ chloriet)	4,6
calciet + aragoniet	1,5
dolomiet	0,5
<i>Totaal</i>	<i>95,1 massa-%</i>

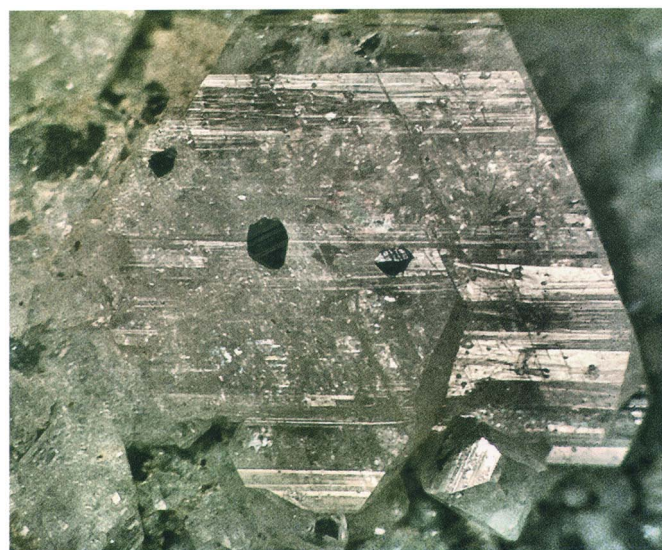
Overige ca. 4.200 mineralen 4,9 massa-%

Deze mineralen vormen afzonderlijk, of in combinatie met elkaar, de gesteenten, die in de aardkorst voorkomen en als volgt onderverdeeld zijn (afb. 7):

<i>Magmatische gesteenten</i>	64,7 massa-%
(basalt, gabbro, graniet, granodioriet, dioriet, syeniet, peridotiet, duniet)	
<i>Metamorfe gesteenten</i>	27,4 massa-%
(gneis, schist, marmer)	
<i>Sedimentgesteenten</i>	7,9 massa-%
(zandsteen, klei, schalie, carbonaten, evaporieten)	

## Elementen en hun mineralen

Tabel II is een lijst van de 92 elementen met bij ieder element een selectie van een aantal meer of minder bekende mineralen die het betreffende element bevatten. De mineralen staan in volgorde van hoeveelheid van het aanwezige element (in %). Tussen haakjes staat het mineraal vermeld waarin de naam van het element voorkomt. Als het element vernoemd is naar het mineraal staat de naam vet gedrukt. Per element is ook vermeld hoeveel mineralen er zijn opgenomen in de database van *webmineral.com* met het betreffende element in hun samenstelling. Bron: *www.webmineral.com*; stand van zaken december 2006.



Afb. 7. Albiet (plagioklaas, Na-veldspaat)  $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ , een van die 'saaie' mineralen uit de aardkorst. De albietskristallen zijn 0,5 cm groot. Op de kristallen zitten kleine anataaskristallen  $\text{TiO}_2$ . Herkomst: St. Elizabeth hut, Mont Blanc-massief, Italië. Collectie: H. van Dennebroek.



Tabel II. Lijst van 92 elementen met bij ieder element een selectie van een aantal min of meer bekende mineralen die het betreffende element bevatten

NR	Element	Naam	Totaal aantal mineralen die dit element bevatten	Mineralen in volgorde van hoeveelheid van het aanwezige element (in%). (xxxx= geen mineraal met dit element)
1	H	Waterstof	2578	evenkiet, opaal, goethiet, analciem (hydroxyl apatiet)
2	He	Helium	0	xxxxxx
3	Li	Lithium	111	griceiet, (lithiophiliet), cookeiet, spodumeen, lepidoliet
4	Be	Beryllium	102	phenakiet, chrysoberyl, euclaas, ( <b>beryl</b> )
5	B	Borium	231	boraciet, colemaniet, ( <b>borax</b> ), datoliet, draviet
6	C	Koolstof	384	diamant, grafiet, barnsteen, whewelliet
7	N	Stikstof	76	sal-ammoniak, (niter), boussingaultiet, likasiet
8	O	Zuurstof	3608	borax, kwarts, hubeiet, charoiet, hematiet
9	F	Fluor	367	cryoliet, ( <b>fluoriet</b> ), herderiet, topaas
10	Ne	Neon	0	xxxxxx
11	Na	Natrium	903	haliet, sodaliet, (natron), natroliet, jadeiet, albiet
12	Mg	Magnesium	791	bruciet, olivijn, spinel, dolomiet, ( <b>magnesiet</b> )
13	Al	Aluminium	1035	korund, andalusiet, kyaniet, wavellet (aluniet), grossulaar
14	Si	Silicium	1323	kwarts, sugliet, orthoklaas, barrieriet
15	P	Fosfor	535	varisciet, apatiet, turkoois, pyromorfiet
16	S	Zwavel	941	( <b>zwavel</b> ), pyrrhotien, sfaleriet, celestien
17	Cl	Chloor	315	haliet, sylvien, (chlorargyriet), atacamiet, sodaliet
18	Ar	Argon	0	xxxxxx
19	K	Kalium	490	aluniet, adulaar (orthoklaas) biotiet, neptuniet
20	Ca	Calcium	1251	fluoriet, ( <b>calciet</b> ), aragoniet, anhydriet, pectoliet, gips
21	Sc	Scandium	11	kolbeckiet, thortveitiet, bazziet
22	Ti	Titanium	358	anataas, brookiet, rutiel, ilmeniet, (titaniet)
23	V	Vanadium	189	mottamiet, descloiziet, cavansiet, (vanadiniet)
24	Cr	Chroom	91	(chromiet), uvaroviet, krokoiet, stichtiet
25	Mn	Mangaan	646	hausmanniet, (manganiet), rhodochrosiet, helvien
26	Fe	Ijzer	1260	ijzer [kamaciet], magnetiet, hematiet, goethiet, (ferro-axiniet)
27	Co	Cobalt	81	erythrien, skutterudiet, siegeniet, wendwilsoniet
28	Ni	Nikkel	176	nikkel [Fe,Ni meteoriet], ( <b>nickelien</b> ), gaspeiet
29	Cu	Koper	584	koper, chalcosiet, betekhtiniet, malachiet (cupriet)
30	Zn	Zink	284	sfaleriet, smithsoniet, aurichalciet, (zinciet)
31	Ga	Gallium	9	söhngiet, galliet
32	Ge	Germanium	28	briartiet, stottiet, schaurteiet, (germaniet), renieriet, argyrodiet
33	As	Arsenicum	523	arsen, skutterudiet, realgar, scorodiet, conichalciet
34	Se	Selenium	117	selenium, krutaiet, chalkomeniet, paraganajuatiet
35	Br	Broom	17	(bromargyriet), emboliet, murdochiet, comancheiet
36	Kr	Krypton	0	xxxxxx
37	Rb	Rubidium	6	rubiklien
38	Sr	Strontium	172	( <b>strontianiet</b> ), celestien, weloganiet, kalipyrochloor
39	Y	Yttrium	131	bastnäsië, xenotiem, allaniet, goudeyiet
40	Zr	Zirconium	113	baddeleyiet, (zirkoon), catapleiet, eudialyt, weloganiet
41	Nb	Niobium	189	lueshiet, ferrocolumbiet, kalipyrochloor
42	Mo	Molybdeen	42	(molybdeniet), powelliet, wulfeniet, ferromolybdiet
43	Tc	Technetium	0	xxxxxx
44	Ru	Ruthenium	13	lauriet
45	Rh	Rhodium	19	rhodium, kashiniet
46	Pd	Palladium	66	palladium, potariet, palladium houdend goud
47	Ag	Zilver	156	zilver, acanthiet, dyscrasiet, proustiet, sylvaniet
48	Cd	Cadmium	20	greenockiet, hawleyiet, otaviet, (cadmosieliet)
49	In	Indium	11	dzhaliindiet, roquesiet, yanomamiet, sakuraïet
50	Sn	Tin	101	cassiteriet, stanniet, cilindriet, asbecasiet
51	Sb	Antimoon	249	antimoon, ( <b>antimoniet</b> ), stibiconiet, kermesiet, zinkeniet
52	Te	Tellurium	145	tellurium, (telluriet), sylvaniet, calaveriet, krenneriet, hessiet
53	I	Jodium	25	marshiet, miersiet, (iodargyriet), moscheliet
54	Xe	Xenon	0	xxxxxx
55	Cs	Cesium	20	polluciet, margaritasiet, londoniet, rhodiziet
56	Ba	Barium	257	witheriet, (bariet), barytocalciet, edingtoniet, harmotoom
57	La	Lanthanium	130	bastnäsië, (lanthaniet), monaziet, chevkiniet, agardiet, davidiet
58	Ce	Cerium	206	(cerite), gaspariet, monaziet, euxeniet, allaniet
59	Pr	Praseodymium	50	calcioburbankiet, hellandiet
60	Nd	Neodymium	99	agardiet, parisiet, florenciet-(Nd)
61	Pm	Promethium	0	xxxxxx
62	Sm	Samarium	48	(samarskiet), monaziet
63	Eu	Europium	30	hellandiet, trimounsiet-(Y), agardiet
64	Gd	Gadolinium	45	lepersoniet-Gd, caysichiet
65	Tb	Terbium	31	calcioburbankiet, hellandiet, trimounsiet-(Y)
66	Dy	Dysprosium	41	calcioburbankiet, trimounsiet-(Y), hellandiet
67	Ho	Holmium	31	calcioburbankiet, hellandiet, trimounsiet-(Y)
68	Er	Erbium	34	calcioburbankiet, trimounsiet-(Y), hellandiet
69	Tm	Thulium	29	calcioburbankiet, trimounsiet-(Y), hellandiet
70	Yb	Ytterbium	35	xenotiem, keiviet-(Yb), hingganiet-(Yb), hellandiet
71	Lu	Lutetium	29	calcioburbankiet, trimounsiet-(Y), hellandiet
72	Hf	Hafnium	6	(hafnon)
73	Ta	Tantalum	88	microliet, plumbomicroliet, betafiet, euxeniet-(Y)
74	W	Wolfram	45	scheelië, hübneriet, ferberiet, stolziet
75	Re	Rhenium	3	rheniet
76	Os	Osmium	9	(osmium), osarsiet, omeïet, iridium, hexaferrum, anduoiet
77	Ir	Iridium	22	cuproiridsiet, tolovkiet, (iridium), iridarseniet, gaotaiet, irarsiet
78	Pt	Platina	47	( <b>platina</b> ), sperryliet, rustenburgiet
79	Au	Goud	33	goud, calaverie, krenneriet, petziet, nagyagiet
80	Hg	Kwik	92	kwik, terlinguaiet, cinnaber, calomel, moesiet, amalgaam
81	Tl	Thallium	48	lorandiet, imhofiet, hutchinsoniet, rathiet
82	Pb	Lood	476	lood, galeniet, cerussiet, pyromorfiet, descloiziet ==, krokoiet==
83	Bi	Bismuth	210	( <b>bismut</b> ), bismiet, bismutiet, bismuthiniet, emplectiet, krupkaïet
84	Po	Polonium	0	xxxxxx
85	At	Astatium	0	xxxxxx
86	Rn	Radon	0	xxxxxx
87	Fr	Francium	0	xxxxxx
88	Ra	Radium	0	xxxxxx
89	Ac	Actinium	0	xxxxxx
90	Th	Thorium	57	(thorianiet), thorië, monaziet-Ce
91	Pa	Protactinium	0	xxxxxx
92	U	Uraan	234	(uraniniet), curiet, autuniet, torbernet, haiweeiet, betafiet





Afb. 8. Krokoiet op pyromorfiet. Beeldveld 2,5 cm. Dundas, Tasmanië, Australië. Collectie: H. van Dennebroek.

## Een voorbeeld: twee mineralen die lood (nr. 82) bevatten

Pyromorfiet, ook wel groen looderts genoemd, heeft als formule:  $Pb_5[Cl | (PO_4)_3]$ . Het bevat de elementen lood (76,38%), chloor, fosfor en zuurstof. De naam groen looderts is overigens niet zo goed gekozen omdat het mineraal niet altijd groen van kleur is. Het kan ook beige, bruin of geel zijn. Krokoiet, ook wel rood looderts genoemd, heeft als formule:  $Pb[CrO_4]$ . Krokoiet bevat de elementen lood (64,11%), chroom en zuurstof (afb. 8). Omdat pyromorfiet een hoger percentage Pb bevat dan krokoiet staat het in de tabel eerder genoemd dan krokoiet. Het mineraal krokoiet is in de aardkorst weinig verbreid in tegenstelling tot pyromorfiet.

## Welke mineralen kunnen we nog verwachten?

In 1970 schreef de eerste voorzitter van de 'Commission on New Minerals and Mineral Names', Michael Fleischer, een artikel over welke mineralen nog niet ontdekt waren, maar die, gezien de algemeen bekende mengreeksen, wel te verwachten waren. Veel van zijn 'voorspellingen' zijn ondertussen uitgekomen. Hieronder enkele voorbeelden van dit 'kijken in een kristallen bol', maar met voldoende mineralogische kennis!

### Mineraal bekend in 1970 Vervanging Verwacht en gevonden in:

cassiteriet	$SnO_2$	Sn-Ge	argutiet	$GeO_2$	(1980)
pseudobrookiet	$Fe_2TiO_5$	Fe-Mg	armalcoliet	$Mg_2TiO_5$	(1970)
avogadriet	$KBF_4$	K-NH <sub>4</sub>	barberiet	$NH_4BF_4$	(1993)
stibniet	$Sb_2S_3$	S-Se	antimoonseliet	$Sb_2Se_3$	(1992)
molybdeniet	$MoS_2$	S-Se	drysdalliet	$MoSe_2$	(1973)
chlorargyriet	$AgCl$	Ag-Tl	lafossaiet	$TlCl$	(2003)

Maar zelfs Fleischer kon de ontdekkingsdrang van mineralogen niet dwingen, hier enkele voorbeelden van verwachte mineralen die nog niet gevonden zijn. Er is nog wat te vinden, gelukkig!

Mineraal bekend in 1970	Vervanging	Verwacht en nog niet gevonden	
gillespiet	$BaFeSi_4O_{10}$	Fe-Al	$BaAlSi_4O_{10}$
trevoriet	$NiFe_2O_4$	Fe-Al	$NiAl_2O_4$
larseniet	$PbZnSiO_4$	Zn-Cu	$PbCuSiO_4$
bromargyriet	$AgBr$	Ag-Cu	$CuBr$
spodumeen	$LiAlSi_2O_6$	Al-Fe	$LiFeSi_2O_6$
borniet	$Cu_5FeS_4$	S-Se	$Cu_5FeSe_4$
nordenskioldien	$CaSnB_2O_6$	Sn-Ti	$CaTiB_2O_6$
dioptaas	$CuSiO_2(OH)_2$	Cu-Zn	$ZnSiO_2(OH)_2$

## Een grens aan het aantal mineralen?

Eerder in dit artikel is uitgelegd waarom de 92 elementen 'slechts' ongeveer 4.200 mineralen vormen. Toch komen er thans nog ieder jaar zo'n 50 nieuwe mineralen bij. Reeds in 1980 stelden man en vrouw Brian en Catherine Skinner de vraag of dat zo kon doorgaan, of dat er een einde zou komen aan de nieuwe vondsten. Bijna 30 jaar later kunnen we vaststellen dat het doorgegaan is. Wat is het geval? Toen J.D. Dana in ca. 1850 de eerste editie van zijn 'System of Mineralogy' publiceerde, waren er ca. 600 mineralen. Michael Fleischer, net al genoemd, stelde in 1969 dat er ca. 1.950 mineralen waren, en de Skinners vermeldden het bestaan van 2.900 mineralen: in de jaren tussen 1969 en 1980 waren er dus ca. 950 mineralen bijgekomen.

Het is altijd moeilijk om exact te weten hoeveel mineralen er zijn, van de mineralen van voor 1959 (het begin van de Commission on New Minerals and Mineral Names) is niet altijd bekend wat hun precieze status is. Nu, in 2007, wordt aangenomen dat er ca. 4.200 mineralen zijn, dus een toename van ca. 1.300 mineralen in 27 jaar, ca. 50 per jaar gemiddeld. Gaat dat zo door? Waarschijnlijk wel, maar niemand weet het eigenlijk. In veel landen is mineralogie binnen de aardwetenschappen een ondergeschikte rol gaan spelen, in steeds minder instellingen wordt nog aan systematische mineralogie gedaan, de tak van mineralogie waar bij voorkeur de nieuwe vondsten gedaan worden. Daarentegen zijn er nieuwe analysetechnieken die het mogelijk maken om steeds kleinere korrels beter te beschrijven. Het aantal nieuwe micro- of zelfs submicromineralen neemt ieder jaar toe. Ook onderzoek aan oude museumcollecties van vindplaatsen die thans niet meer bestaan levert jaarlijks nieuwe mineralen.

## Mineralenfoto's: Herman van Dennebroek

### Geradpleegde literatuur en websites

Bernard, J.H. en Hyršl, J., 2004. Minerals and their Localities. Tambuyser, P., 2003. Mineralen Herkennen. Strunz, H. en Nickel, E.H., 2001. Mineralogical Tables. Anthony J.W., Bideaux, R.A., Bladh, K.W. en Nichols, M.C., 1990/2003. Handbook of Mineralogy. Skinner, B.J. en Skinner, C.W., 1980. Is there a limit to the number of minerals? Mineralogical Record, 11, 333-335. Betehtin, A.G., 1974. Lehrbuch der speziellen Mineralogie. Fleischer, M., 1970. Some possible new minerals not yet found. Mineralogical Record, 1, 121-123.

[www.webmineral.com](http://www.webmineral.com)  
[www.nl.wikipedia.org/](http://www.nl.wikipedia.org/)  
[www.periodeksysteem.com/archi\\_nl.htm](http://www.periodeksysteem.com/archi_nl.htm)