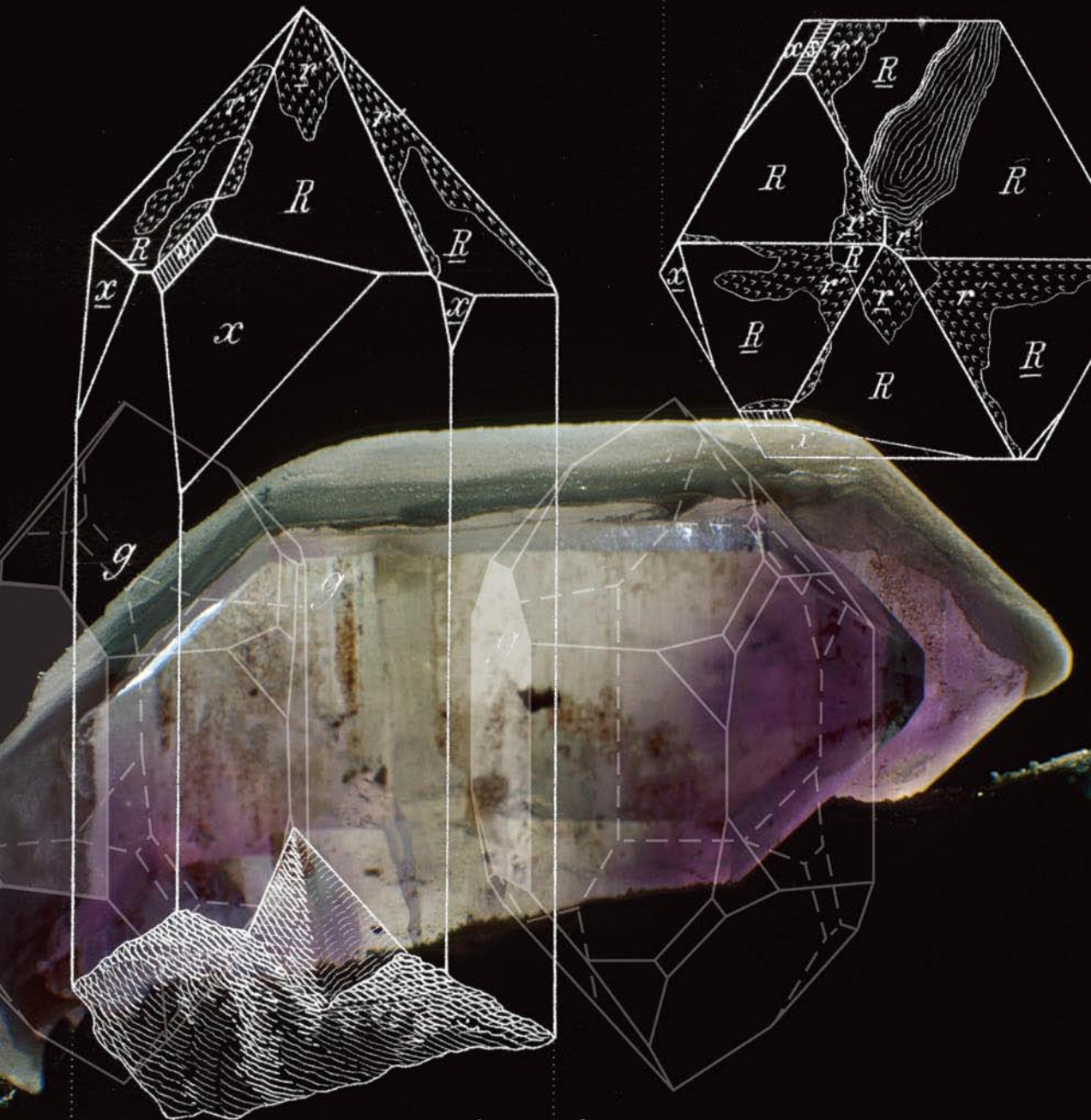


# MINERALEN HERKENNEN

33

37



*Paul Tambuyser*

# MINERALEN HERKENNEN



# MINERALEN HERKENNEN

Paul Tambuyser

met 152 figuren, 50 tabellen  
en een uitgebreide mineralendeterminatietabel

Paul Tambuyser  
tambuyser@minerant.org

ISBN 90-9016714-5  
NUR 930

© Paul Tambuyser, Eenigenburg / Antwerpen, 2003

Alle rechten zijn voorbehouden. Geen enkel deel van dit boek mag worden verveelvoudigd in welke vorm dan ook, zowel gedrukt, door fotokopieën, als elektronisch. Dit geldt ook voor het opslaan van gegevens in terugzoeksysteem, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de auteur.

lay-out en omslagontwerp:	Oskar D, Antwerpen
mineralenfoto's:	Axel Emmermann
druk- en bindwerk:	Bema Graphics, Schilde

*opmerking:*

*De auteur aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid, uit welken hoofde ook, voor enig gevolg dat direct of indirect voortvloeit uit de in deze uitgave vermelde gegevens.*



## WOORD VOORAF

Een zelf gevonden mineraal van de juiste naam voorzien is voor vrijwel iedere verzamelaar het boeiendste aspect van zijn hobby. Soms verloopt dat vrij vlot, een andere keer dienen heel wat waarnemingen te worden gedaan en kenmerken bepaald alvorens men tot een besluit kan komen. Regelmatig gebeurt het zelfs dat ondanks de vele waarnemingen een definitieve determinatie uitblijft.

Veel verzamelaars hebben in de loop van de jaren flink wat ervaring opgedaan en zijn dan ook dikwijls in staat om “op-zicht”, eventueel met behulp van een loep, een mineraal te **herkennen**.

### Wat is **herkennen**?

Neemt men bijvoorbeeld een stuk van een amethystgeode uit de een of andere vindplaats in Brazilië. Zonder problemen is deze kwartsvariëteit als het ware op meters afstand te herkennen. Niet alleen de kleur speelt een rol (fluoriet met dezelfde violette kleur als amethyst is ook gekend), maar tevens de kristalvorm (die men ook bij helder bergkristal en rookkwarts kan waarnemen) en de aggregaatvorm (geode) zijn van belang.

**Herkennen** is dus het vaststellen van een combinatie van direct waarneembare kenmerken (bijvoorbeeld vorm, kleur, aanvoelen, gemiddelde dichtheid enz.). Herkennen is tevens het “terug kennen”; men had al eens eerder een amethyst gezien. Kortom, herkennen is een samenspel van **geheugen** en **waarnemingszin**.

Het **geheugen** kan men oefenen door veel mineraalspecimens te zien. Dat kan bijvoorbeeld door mineralenmusea te bezoeken, de collecties van andere verzamelaars te bekijken, aandachtig op mineralenbeurzen rond te neuzen en veel boeken te raadplegen.

**Waarnemen** is een kwestie van met andere ogen naar iets te kijken. Men kan een mineraalspecimen mooi vinden en ervan genieten, maar de geoefende blik zal meer zien dan alleen maar mooie vormen en kleuren.

Niet altijd is een mineraal direct herkenbaar en soms zijn extra waarnemingen nodig; in dat geval spreekt men van **determineren**.

Determinatie is mede door het noodzakelijk gebruik van dure en ingewikkelde apparatuur het domein van de beroepsmineraloog. Het gebied van het mineralen herkennen is zeker en vast de sterkte van de mineralenliefhebber die hier de nodige tijd en oefening aan kan besteden.

Waarnemen impliceert een zekere **basiskennis** en het is de bedoeling van deze tekst om die elementaire basiskennis eens door te nemen en op een rijtje te zetten. In het eerste gedeelte van de tekst komen chemie en kristallografie aan bod. Dit

is noodzakelijk om inzicht te krijgen in de fysische kenmerken van mineralen. De systematische indeling van mineralen is eveneens gebaseerd op hun chemische samenstelling en hun kristalstructuur.

Deze tekst heeft niet uitsluitend het leren herkennen van mineralen tot doel, maar is ook bedoeld om als hulpmiddel te dienen bij het **determineren** van de meest voorkomende mineralen. Daarom is er ook een hoofdstuk gewijd aan determinatietabellen en een hoofdstuk met betrekking tot het uitvoeren van eenvoudige chemische testen. De determinatietabellen zijn overigens ideaal geschikt voor het oefenen in het mineralen herkennen.

Het is ondoenlijk om in een inleidende tekst over mineralogie een grote hoeveelheid mineralen te behandelen. Er werd een lijst opgesteld van de **meest voorkomende mineralen** (een 130-tal) die in principe op-zicht kunnen gedetermineerd worden.

Bij het samenstellen van die lijst werd eveneens rekening gehouden met de 'verkrijgbaarheid' van de betreffende mineraalsoorten. Dit is van belang ten einde een eigen, beperkte systematische verzameling aan te leggen. Het aanleggen van een dergelijke referentieverzameling is een van de belangrijkste hulpmiddelen om met mineralen en het herkennen ervan vertrouwd te geraken.

Hopelijk zal de opgedane kennis het verzamelen van mineralen tot een interessante bezigheid maken.

Gaarne dank ik Prof. R. Van Tassel voor het kritisch doornemen van de tekst en voor zijn waardevolle opmerkingen.

De morfologische kristaltekeningen werden gemaakt met behulp van de programma's 'SHAPE' (versie 5.0.1) en JCrystal (versie 1.02). De tekeningen van de kristalstructuren werden gemaakt met behulp van 'CaRIne Crystallography' (versie 3.1).

Eenigenburg, februari 2003

Paul Tambuyser





# INHOUD

<b>1. INLEIDING</b>	<b>1</b>
1.1 De definitie van het begrip mineraal	3
1.2 Hoeveel mineraalsoorten zijn er	5
1.3 Namen van mineralen	6
<b>2. HET ONTSTAAN VAN MINERALEN</b>	<b>15</b>
2.1 De aardkorst en haar gesteenten	17
2.2 Stollingsgesteenten	18
2.3 Sedimentgesteenten	22
2.4 Metamorfe gesteenten	23
2.5 Mineralen in de aardkorst	25
2.6 Associaties	26
<b>3. CHEMIE EN CHEMISCHE SAMENSTELLING</b>	<b>29</b>
3.1 Atomen	31
3.2 Elementen, Symbolen, Verbindingen	34
3.3 De tabel van Mendeleev	35
3.4 De elektronenstructuur van het atoom	39
3.5 De chemische binding	41
3.6 Valenties en formules	44
<b>4. DE STRUCTUUR VAN KRISTALLEN</b>	<b>55</b>
4.1 Gas, vloeibaar, vast	57
4.2 De ionbinding	59

4.3	De covalente binding	66
4.4	De van der Waals-binding	69
4.5	De metaalbinding	71
4.6	Kristalstructuur en kristalrooster	72
4.7	Polymorfisme	76
4.8	Isostructurele kristallen	76
4.9	Substitutie	78
4.10	Insluitsels	79
<b>5.</b>	<b>MORFOLOGIE VAN KRISTALLEN</b>	<b>81</b>
5.1	Wetmatigheden in de morfologie van kristallen	83
5.2	Kristalstructuur en morfologie	88
5.3	Kristallisatie	91
5.4	Symmetrie-elementen	93
5.5	Kristalstelsels en kristalklassen	99
5.6	Vorm	102
<b>6.</b>	<b>MORFOLOGISCHE KENMERKEN</b>	<b>107</b>
6.1	Kristalstelsels en hun voornaamste vormen	109
6.2	Morfologie van reële kristallen	124
6.3	Morfologie van aggregaten	129
<b>7.</b>	<b>FYSISCHE KENMERKEN</b>	<b>135</b>
7.1	Soorten fysische kenmerken	137
7.2	Hardheid	138
7.3	Stevigheid	143
7.4	Splijting	144
7.5	Breuk	148

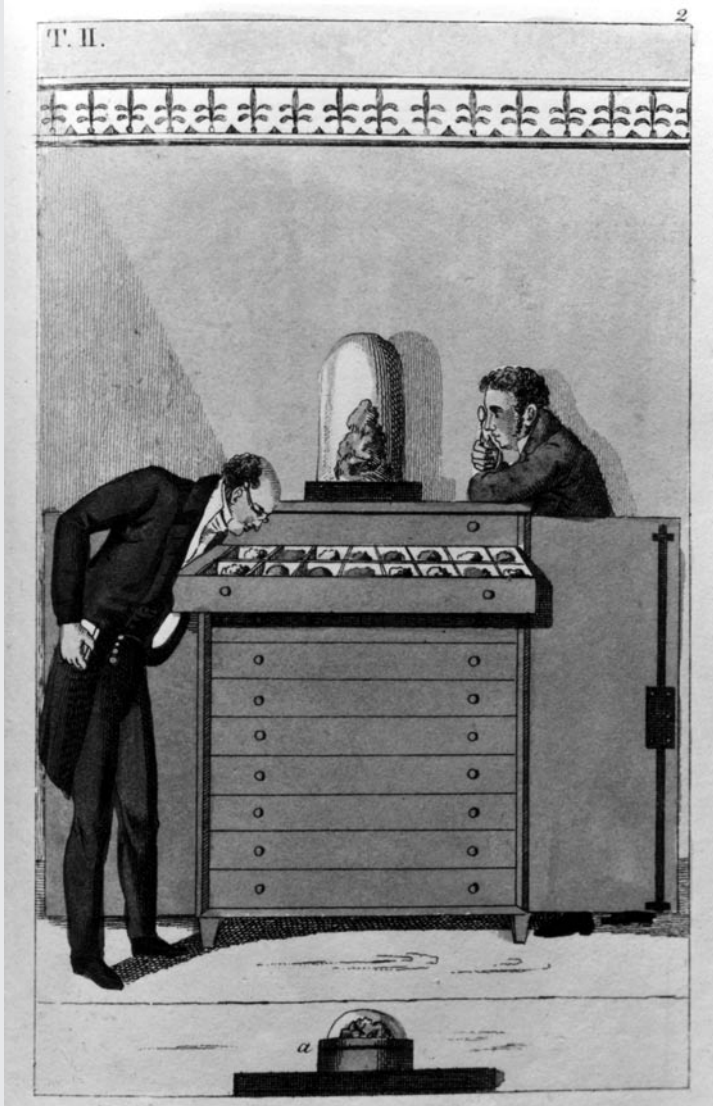
7.6	Dichtheid	150
7.7	Magnetisme	157
<b>8.</b>	<b>OPTISCHE KENMERKEN</b>	<b>159</b>
8.1	Licht	161
8.2	Lichtbreking	163
8.3	Doorzichtigheid	165
8.4	Glans	166
8.5	Kleur	168
8.6	Streepkleur	174
8.7	Fluorescentie	174
<b>9.</b>	<b>CHEMISCHE KENMERKEN</b>	<b>177</b>
9.1	Eenvoudige chemische testen	179
9.2	De bunsenbrander en de bunsenvlam	180
9.3	De blaaspijp; oxiderende en reducerende vlam	181
9.4	Het werken met zuren	183
9.5	Verwarming in een gesloten buisje	184
9.6	Verwarming in een open buisje	188
9.7	Smeltbaarheidstest	190
9.8	De vlamkleur	197
9.9	Parelreacties	199
9.10	Oplosbaarheid in zuren	202
<b>10.</b>	<b>MINERALENSYSTEMATIEK</b>	<b>209</b>
10.1	Classificatiesystemen voor mineralen	211
10.2	Het classificatiesysteem volgens Strunz	212
10.3	Het classificatiesysteem van Dana	217

10.4	De systematische mineralenverzameling	220
10.5	Klassenkenmerken	228
<b>11.</b>	<b>DETERMINEREN EN HERKENNEN</b>	<b>231</b>
11.1	Chemische analyse en chemische samenstelling	233
11.2	Analytische technieken	237
11.3	Kristallografische analyse	242
11.4	Determinatie met eenvoudige middelen	247
11.5	Mineralen herkennen	250
<b>12.</b>	<b>DETERMINATIETABEL</b>	<b>253</b>
12.1	Principes achter de determinatietabel	255
12.2	Structuur van de determinatietabel	258
12.3	Praktisch gebruik van de determinatietabel	260
12.4	Determinatietabel	261
<b>A</b>	<b>APPENDICES</b>	<b>337</b>
A.1	Boeken, tijdschriften en websites over Mineralogie	339
A.2	Mineralogische verenigingen in Vlaanderen en Nederland	343
A.3	Werkblad mineralen herkennen	345
	<b>INDEX</b>	<b>349</b>





# INLEIDING





EEN 19DE EEUWSE MINERALENVERZAMELING

G. T. Wilhelm, *Unterhaltungen aus der Naturgeschichte des Mineralreichs*, Augsburg, 1828

## 1.1 DE DEFINITIE VAN HET BEGRIP MINERAAL

Alvorens men met de studie van mineralen begint, is het van belang te weten wat een mineraal eigenlijk is. Het antwoord op deze vraag is niet zo vanzelfsprekend als op het eerste gezicht lijkt. Omdat er nogal wat discussie was over de bepaling van de term “mineraal” werd binnen de IMA “**International Mineralogical Association**” in 1995 volgende definitie opgesteld:

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

Het is nuttig om de verschillende aspecten van deze definitie even nader te bekijken.

Een mineraal is een “...**element of chemische verbinding**...”. Elk mineraal heeft een bepaalde chemische samenstelling die men kan uitdrukken en schrijven als een chemische formule. Zo stelt men de chemische samenstelling van kwarts (bergkristal) voor als  $\text{SiO}_2$ ; wat betekent dat kwarts uit silicium (Si) en zuurstof (O) bestaat. Vele mineralen variëren in samenstelling. Dit variëren gebeurt echter binnen bepaalde grenzen.

Een mineraal is “...**kristallijn**...”. Een kristallijn materiaal heeft een bepaalde kristalstructuur. Dit betekent dat de deeltjes (atomen, ionen, ionengroepen...) waaruit het is opgebouwd, volgens een bepaald ruimtelijk patroon geordend zijn. Materialen die niet-kristallijn zijn, noemt men amorf.

Sommige amorfe materialen zijn dat van nature uit (ze zijn dus nooit kristallijn geweest) en als zij fysisch en chemisch homogeen zijn, dan worden ze wel als mineraal aanvaard.

Sommige radioactieve mineralen (bijvoorbeeld bepaalde zirkonen) kunnen een metamictisatieproces ondergaan. Hun oorspronkelijke kristalstructuur wordt geheel of gedeeltelijk vernield door hun eigen radioactieve straling. Deze metamictie producten worden ook als mineraal aanvaard.

De kwalificatie “kristallijn” sluit vloeistoffen en gassen uit. Zo is gletsjerijs (dat kristallijn is) een mineraal terwijl water, als vloeistof, geen mineraal is. Gedegen kwik (vloeibaar tot  $-38,9^\circ\text{C}$ ) is een uitzondering en wordt wel als mineraal aanvaard.

Een mineraal werd “...**gevormd als het resultaat van geologische processen**...”. Dit duidt op de noodzakelijkheid dat mineralen in en door de natuur gevormd zijn als gevolg van anorganische processen. Hiermee sluit men alle producten uit die door mensen, dieren of planten gevormd worden. Nierstenen bijvoorbeeld zijn geen mineralen.

Producten die zich in de natuur gevormd hebben uit reeds door de mens bewerkte materialen, zoals metaalslakken, worden in principe niet tot de mineralen gerekend.

In gespecialiseerde laboratoria kan men de synthetische equivalenten van in de natuur voorkomende materialen produceren. Het is duidelijk dat deze producten niet als mineraal kunnen beschouwd worden. Synthetische smaragden, robijnen en saffieren zijn dus geen mineralen.

## 1.2 HOEVEEL MINERAALSOORTEN ZIJN ER

In totaal zijn er momenteel ongeveer **4000 verschillende mineralen** bekend. Het aantal nieuw gevonden mineraalsoorten neemt de laatste jaren vrij sterk toe. Eind 1982 waren er bijna 3000 soorten (species) bekend. Gemiddeld betekent dit dat er per week minstens één nieuw mineraal bijkomt.

Deze enorme toename dient mede gezocht in de ontwikkeling van steeds meer gesofisticeerde onderzoeksapparatuur (o.a. microsonde, elektronenmicroscopen, verbeterde x-stralendiffractieapparatuur enz.). Deze nieuwe of verfijnde technieken laten een meer doorgedreven onderzoek van dikwijls minuscuul kleine mineralen toe. Vele mineralen die vroeger over het hoofd werden gezien, komen dank zij deze nieuwe technieken nu pas aan het licht. De uitgebreide onderzoeksmogelijkheden vermeerderen tevens de kennis van dikwijls sinds lang beschreven mineralen. Sommige mineralen verliezen zelfs hun status als species omdat ze identiek blijken te zijn met reeds eerder beschreven soorten.

Een **nieuw mineraal beschrijven** gebeurt niet zomaar. Er gaan heel wat tijdronde metingen, zoals o.a. chemische analyses en kristallografische onderzoeken aan vooraf. Eenmaal het mineraal zo volledig mogelijk gekarakteriseerd, wordt de beschrijving voorgesteld aan een soort internationale jury van mineralogen. Daarvoor bestaat er binnen de IMA een “**Commission on New Minerals and Mineral Names**” (CNMMN). Deze commissie, die bestaat uit vertegenwoordigers van een dertigtal landen, moet onderzoeken of men wel degelijk met een nieuw mineraal te maken heeft en moet tevens de naam ervan goedkeuren. Gaat de commissie akkoord, dan worden de resultaten gepubliceerd en is de mineralogische wereld een nieuw mineraal rijker.

Een alfabetisch overzicht van alle bestaande mineralen vindt men o.a. in de “**Glossary of Mineral Species**” waarvan de eerste editie dateert van 1971 en die nu reeds aan zijn 8<sup>ste</sup> uitgave (1999) toe is. In de ‘Glossary’ vindt men naast de officieel aanvaarde naam tevens de chemische formule, het kristalstelsel en eventueel een verwijzing naar de literatuur.

### 1.3 NAMEN VAN MINERALEN

Zoals iedere wetenschap heeft ook de mineralogie haar nomenclatuur. In tegenstelling tot de chemie, waar iedereen weet hoe hij een bepaalde chemische verbinding moet heten, zijn de namen van mineralen niet aan strikte normen gebonden. In tegenstelling tot de strenge eisen die gesteld worden aan de beschrijving en analyse van een nieuw mineraal, is de naamgeving echter louter triviaal. Degene die een mineraal voor het eerst beschrijft, heeft het recht om dat mineraal van een naam te voorzien. De enige norm waaraan hij zich dient te houden, is dat de nieuwe naam niet al te veel mag lijken op een reeds bestaande naam en dat hij gemakkelijk kan uitgesproken worden.

De namen van mineralen zijn meestal afgeleid van persoonsnamen (o.m. mineralogen, bekende personen, verzamelaars), plaatsen, eigenschappen (zoals kleur) van het mineraal enz.

Enkele voorbeelden:

- **wollastoniet**: genoemd naar W.H. Wollaston (1766-1828), een engelse chemicus en mineraloog
- **colemaniet**: naar William T. Coleman (1824-1893), de grondlegger van de borax-industrie in Californië en eigenaar van de mijn waar het mineraal voor het eerst werd gevonden
- **bournoniet**: naar de Franse kristallograaf en mineraloog, graaf Jacques Louis de Bournon (1751-1825)
- **aragoniet**: naar de oorspronkelijke vindplaats in de provincie Aragon, Spanje
- **autuniet**: naar de vindplaatsen nabij Autun, Saône-et-Loire, Frankrijk
- **auripigment**: afgeleid van het Latijn, auripigmentum, wat “gouden verf” betekent, dit in allusie op de fel gele kleur van het mineraal
- **crocoiet**: naar *krokos*, het Grieks voor saffraan, wat betrekking heeft op de kleur van het mineraal
- **vanadiniet**: zo genoemd omdat dit mineraal vanadium bevat

De meeste mineraalnamen eindigen op “iet” of “liet”. “iet” komt van het Griekse achtervoegsel “ites” wat op een relatie duidt in de zin van “vergelijkbaar met” of “lijkt op”. Zo komt de naam hematiet (in het Grieks *haematites*) van het Grieks *haema*, wat bloed betekent en het achtervoegsel “ites” wat er op duidt dat het mi-

neraal op bloed zou lijken. Het achtervoegsel “liet” is afkomstig van het Griekse woord *lithos* wat steen betekent. Het komt er dus wel op neer dat de uitgangen “iet” en “liet” etymologisch niet met elkaar verwant zijn.

Een aantal namen van reeds sinds de oudheid bekende mineralen wijken van deze regel af. Voorbeelden zijn o.a. **beryl**, **korund**, **spinel**, **zirkoon**. Het valt overigens op dat het meestal om de namen van edelsteenmineralen gaat.

De mineralennamen zijn in de meeste talen quasi hetzelfde. In het Frans en het Engels verandert de uitgang “iet” in “ite” en in het Duits wordt dat “it”. Er zijn in iedere taal wel uitzonderingen van mineralennamen die totaal afwijken van de overige talen. Het gaat dan meestal om de mineralen waarvan de naam niet op “iet” eindigt of over benamingen die men in de wat oudere mineralenboeken terugvindt. Zo heet bijvoorbeeld het mineraal “arsenopyriet” in het Frans “arsenopyrite”, maar tot voor enkele decennia werd daar nog regelmatig de term “mispickel” voor gebruikt.

In Duitsland worden tot op heden nog heel wat termen gebruikt die stammen uit het mijnwerkersjargon van de 16<sup>de</sup> eeuw. In die tijd ging men de mineralen benoemen aan de hand van hun uiterlijk en hun toepassing als ertsen. In de hedendaagse Duitstalige literatuur is het gebruik van termen zoals Bleiglanz (galeniet), Zinkblende (sfaleriet), Kupferkies (chalcopyriet) nog heel gangbaar.

Tabel 1.1 geeft een overzicht van de mineralennamen in het Nederlands, Engels, Frans, Duits en de nu nog in gebruik zijnde oude Duitse benamingen.

Reeksen van mineralen met een vergelijkbare chemische samenstelling en kristalstructuur worden ondergebracht in **mineralengroepen** (zie verder het hoofdstuk over systematiek). Deze mineralengroepen of -reeksen worden meestal voorzien van de naam van een mineraal uit de betreffende groep. Over het algemeen is dat dan het meest typische of het meest voorkomende (en bijgevolg het best gekende) mineraal uit de groep. Zo spreekt men bijvoorbeeld van:

- **aragonietgroep** waartoe o.a. de mineralen aragoniet, strontianiet, witheriet, cerussiet behoren
- **calcietgroep** waartoe o.a. de mineralen calciet, magnesiet, rhodochrosiet, sideriet, smithsoniet behoren
- **spinelgroep** met als voornaamste leden spinel, magnetiet en chromiet

Sommige mineralengroepen hebben echter een aparte naam die niet afkomstig is van een van de mineralen uit de betreffende groep. Enkele voorbeelden zijn:

- **veldspaat:** een groep mineralen waartoe o.a. albiet, anorthiet en orthoklaas behoren
- **granaat:** omvat o.a. de mineralen pyroop, almandien, spessartien, uvaroviet, grossulaar, andradiet
- **toermalijn:** elbait, schörl, draviet, enz.
- **chloriet:** een groep silicaatmineralen die op-zicht niet nauwkeuriger te determineren zijn
- **mica:** een dertigtal mineralen behoren tot deze groep waarvan de meest bekende biotiet, lepidoliet, muscoviet en flogopiet zijn.
- **amfibool:** een zestigtal mineralen waaronder actinoliet, hoornblende, riebeckiet
- **pyroxeen:** een twintigtal mineralen met als meest bekende augiet, diopsiet, spodumeen

Deze benamingen worden ook gebruikt wanneer het op-zicht niet mogelijk is om de exacte species uit een dergelijke groep te determineren. Naast de genoemde groepsnamen zijn er ook nog een aantal **veldbenamingen** die eveneens gebruikt worden om op-zicht onmogelijk te determineren mineralen van een (voorlopige) naam te voorzien. Enkele voorbeelden:

- **psilomelaan:** algemene term voor massieve, harde mangaanoxiden
- **wad:** algemene term voor massieve, zachte mangaanoxiden
- **olivijn:** forsteriet of fayaliet (olivijn is tevens een groepsnaam)
- **apatiet:** is ofwel fluorapatiet, chloorapatiet, hydroxylapatiet of carbonaat-fluorapatiet (apatiet is tevens een groepsnaam)
- **bauxiet:** een mengsel van mineralen zoals gibbsiet, böhmiet, diaspoor en amorfe aluminiumhydroxiden (strikt genomen is bauxiet zelfs geen mineraal maar een gesteente)
- **limoniet:** algemene term voor ijzerhydroxiden (voornamelijk goethiet)

Naast de gebruikelijke mineralennamen zijn er nog een hele reeks van **variëteitnamen**. Bij sommige mineralen is het de gewoonte om kleurvariëteiten en exemplaren met een bijzondere morfologie of van een bepaalde vindplaats van een aparte naam (variëteitnaam) te voorzien.

Zo gebruikt men voor het mineraal **kwarts** diverse benamingen voor de verschillende kleurvariëteiten: **bergkristal** (kleurloos), **amethist** (paars, violet), **rookkwarts** (bruin tot bijna zwart), **rozekwarts**, **citrien** (geel). Heeft men te maken met kwartsen die bestaan uit een aggregaat van microscopische kristalletjes dan gebruikt men termen zoals **chalcedoon**, **agaat**, **jaspis**, enz.

De edelsteenvariëteiten van het mineraal **korund** zijn beter bekend onder de namen **robijn** en **saffier**. Dat geldt eveneens voor de **beryl**-variëteiten **smaragd**, **morganiet** en **aquamarijn**.

De hier genoemde variëteitnamen zijn zodanig ingeburgerd dat men ze kan blijven gebruiken. Maar naast deze namen bestaan er in de mineralogische literatuur duizenden (ja zelfs tienduizenden) variëteitnamen die voor heel wat verwarring kunnen zorgen. Het gebruik van dergelijke variëteitnamen tracht men zoveel mogelijk te vermijden. Indien men er toch gebruik van wenst te maken dan dient de variëteitnaam steeds vooraf te worden gegaan door de soortnaam. Voorbeelden: uraniniet (variëteit pekblende), gips (variëteit seleniet), hematiet (variëteit speculariet) enz. enz.



tabel 1.1 overzicht van in deze tekst gebruikte mineralennamen in het Nederlands, Engels, Frans, Duits en de nu nog in gebruik zijnde oude Duitse benamingen

Nederlands	Engels	Frans	Duits	Duits (oud)
actinoliet	actinolite	actinote	Aktinolith	Strahlstein
albiet	albite	albite	Albit	
almandien	almandine	almandin	Almandin	
amblygoniet	amblygonite	amblygonite	Amblygonit	
analcieem	analcime	analcime	Analcim	
anataas	anatase	anatase	Anatas	
andalusiet	andalusite	andalousite	Andalusit	
andradiet	andradite	andradite	Andradit	
anglesiet	anglesite	anglésite	Anglesit	
ankeriet	ankerite	ankérite	Ankerit	Braunspat
anorthiet	anorthite	anorthite	Anorthit	
antigoriet	antigorite	antigorite	Antigorit	
apatiet	apatite	apatite	Apatit	
apofylliet	apophyllite	apophyllite	Apophyllit	
aragoniet	aragonite	aragonite	Aragonit	
arseen	arsenic	arsenic	Arsen	
arsenopyriet	arsenopyrite	arsénopyrite	Arsenopyrit	Arsenkies
augiet	augite	augite	Augit	
aurichalciet	aurichalcite	aurichalcite	Aurichalcit	
auripigment	orpiment	orpiment	Auripigment	
autuniet	autunite	autunite	Autunit	
azuriet	azurite	azurite	Azurit	
bariet	barite	barite	Baryt	Schwerspat
bauxiet	bauxite	bauxite	Bauxit	
beryl	beryl	béryl	Beryll	
biotiet	biotite	biotite	Biotit	
borax	borax	borax	Borax	
borniet	bornite	bornite	Bornit	
bournoniet	bournonite	bournonite	Bournonit	
brookiet	brookite	brookite	Brookit	
calciet	calcite	calcite	Calcit	Kalkspat
cassiteriet	cassiterite	cassitérite	Cassiterit	Zinnstein
celestien	celestine	célestine	Coelestin	
cerussiet	cerussite	cérusite	Cerussit	
chabaziet	chabazite	chabasite	Chabasit	
chalcopyriet	chalcopyrite	chalcopyrite	Chalkopyrit	Kupferkies
chalcosiet	chalcosite	chalcosite	Chalkosin	Kupferglanz
chloriet	chlorite	chlorite	Chlorit	

Nederlands	Engels	Frans	Duits	Duits (oud)
chromiet	chromite	chromite	Chromit	Chromeisenerz
chrysocolla	chrysocolla	chrysocolle	Chrysokoll	
chrysotiel	chrysotile	chrysotile	Chrysotil	
cinnaber	cinnabar	cinabre	Cinnabarit	Zinnober
colemانيت	colemanite	colémanite	Colemanit	
cordieriet	cordierite	cordiérite	Cordierit	
covelliet	covellite	covellite	Covellin	
crocoiet	crocoite	crocoite	Krokoit	Rotbleierz
cupriet	cuprite	cuprite	Cuprit	
diamant	diamond	diamant	Diamant	
diopsiet	diopside	diopside	Diopsid	
dolomiet	dolomite	dolomite	Dolomit	
draviet	dravite	dravite	Dravit	
elbait	elbaite	elbaite	Elbait	
enargiet	enargite	enargite	Enargit	
epidoot	epidote	épidote	Epidot	
erythrien	erythrite	érythrite	Erythrin	Kobaltblüte
fayaliet	fayalite	fayalite	Fayalit	
flogopiet	phlogopite	phlogopite	Phlogopit	
fluoriet	fluorite	fluorite	Fluorit	Flußspat
forsteriet	forsterite	forstérite	Forsterit	
galeniet	galena	galène	Galenit	Bleiglanz
gips	gypsum	gypse	Gips	
goethiet	goethite	goethite	Goethit	
goud	gold	or	Gold	
grafiet	graphite	graphite	Graphit	
granaat	garnet	grenat	Granat	
grossulaar	grossular	grossulaire	Grossular	
haliet	halite	halite	Halit	Steinsalz
hematiet	hematite	hématite	Hämatit	Eisenglanz enz.
hemimorfiet	hemimorphite	hémimorphite	Hemimorphit	
heulandiet	heulandite	heulandite	Heulandit	
hoornblende	hornblende	hornblende	Hornblende	
hydrozinciet	hydrozincite	hydrozincite	Hydrozinkit	Zinkblüte
ilmeniet	ilmenite	ilménite	Ilmenit	
jamesoniet	jamesonite	jamesonite	Jamesonit	
kaoliniet	kaolinite	kaolinite	Kaolinit	
koper	copper	cuivre	Kupfer	

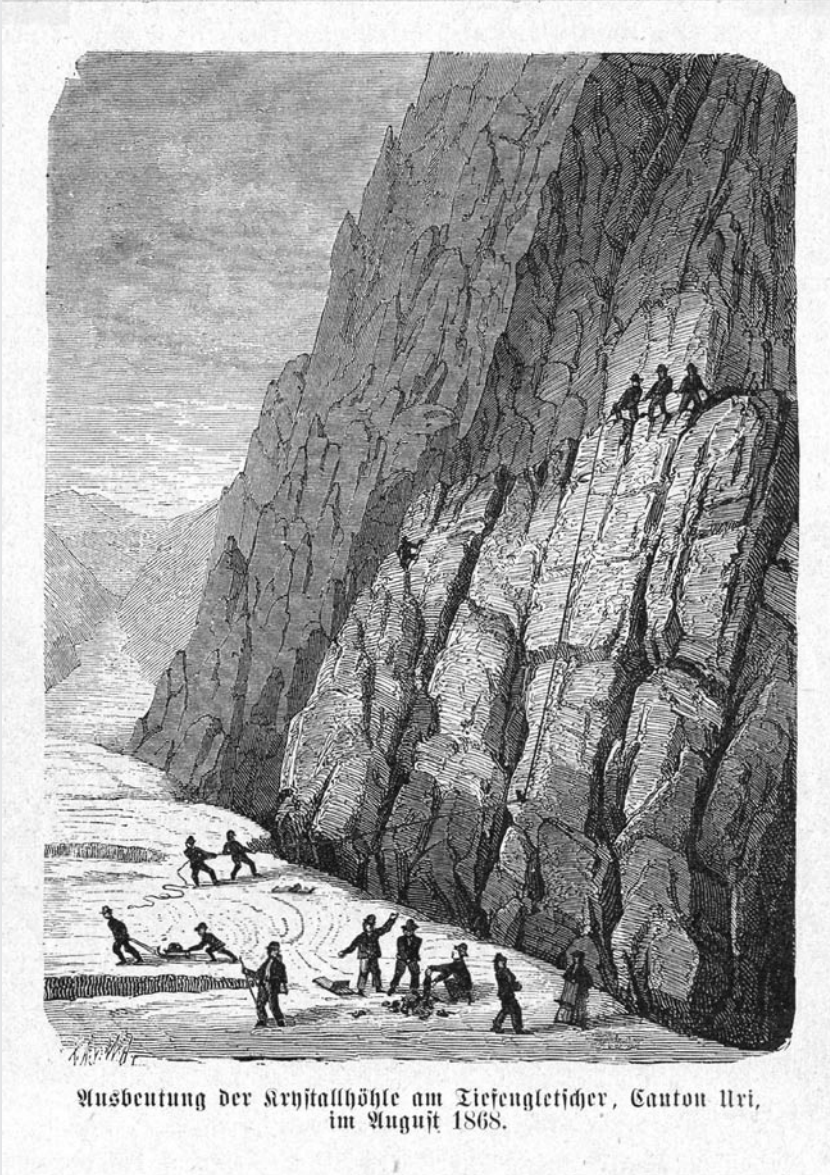
Nederlands	Engels	Frans	Duits	Duits (oud)
korund	corundum	corindon	Korund	
kwarts	quartz	quartz	Quarz	Bergkristall
kyaniet	kyanite	disthène	Cyanit	Disthen
lepidoliet	lepidolite	lépidolite	Lepidolith	
leuciet	leucite	leucite	Leucit	
limoniet	limonite	limonite	Limonit	Brauneisenerz
magnesiet	magnesite	magnésite	Magnesit	Bitterspat
magnetiet	magnetite	magnétite	Magnetit	Magneteisenerz
malachiet	malachite	malachite	Malachit	
manganiet	manganite	manganite	Manganit	
marcasiet	marcasite	marcasite	Markasit	
millieriet	millerite	millérite	Millerit	
molybdeniet	molybdenite	molybdénite	Molybdänit	Molybdänglanz
muscoviet	muscovite	muscovite	Muskovit	
natroliet	natrolite	natrolite	Natrolith	
nefelien	nepheline	néphéline	Nephelin	
nikkelien	nickeline	nickeline	Nickelin	Rotnickelkies
olivijn	olivine	olivine	Olivin	
orthoklaas	orthoclase	orthoclase	Orthoklas	
prehniet	prehnite	prehnite	Prehnit	
pyriet	pyrite	pyrite	Pyrit	Schwefelkies
pyrolusiet	pyrolusite	pyrolusite	Pyrolusit	
pyromorfiet	pyromorphite	pyromorphite	Pyromorphit	
pyroop	pyrope	pyrope	Pyrop	
pyrrhotiet	pyrrhotite	pyrrhotite	Pyrrhotin	Magnetkies
realgar	realgar	réalgar	Realgar	
rhodochrosiet	rhodochrosite	rhodochrosite	Rhodochrosit	Manganspat
rhodoniet	rhodonite	rhodonite	Rhodonit	
riebeckiet	riebeckite	riebeckite	Riebeckit	
rutiel	rutile	rutile	Rutil	
scheeliet	scheelite	scheelite	Scheelit	
schorl	schorl	schörl	Schörl	
serpentijn	serpentine	serpentine	Serpentin	
sfaleriet	sphalerite	sphalérite	Sphalerit	Zinkblende
sideriet	siderite	sidérite	Siderit	Eisenspat
sillimaniet	sillimanite	sillimanite	Sillimanit	

Nederlands	Engels	Frans	Duits	Duits (oud)
skutterudiet	skutterudite	skutterudite	Skutterudit	
smithsoniet	smithsonite	smithsonite	Smithsonit	Zinkspat
sodaliet	sodalite	sodalite	Sodalith	
spessartien	spessartine	spessartine	Spessartin	
spinel	spinel	spinelle	Spinell	
spodumeen	spodumene	spodumène	Spodumen	
stauroliet	staurolite	staurotide	Staurolith	
stibniet	stibnite	stibine	Antimonit	Antimonglanz
stilbiet	stilbite	stilbite	Stilbit	Desmin
strontianiet	strontianite	strontianite	Strontianit	
sylviet	sylvite	sylvite	Sylvin	
talk	talc	talc	Talk	Steatit, Speckstein
tennantiet	tennantite	tennantite	Tennantit	Arsenfahlerz
tetraëdriet	tetrahedrite	tétraédrite	Tetraedrit	Antimonfahlerz
titaniet	titanite	titanite	Titanit	Sphen
toermalijn	tourmaline	tourmaline	Turmalin	
topaas	topaz	topaze	Topas	
torberniet	torbernite	torbernite	Torbernit	
tremoliet	tremolite	trémolite	Tremolit	
turkoois	turquoise	turquoise	Türkis	
ulexiet	ulexite	ulexite	Ulexit	
uraniniet	uraninite	uraninite	Uraninit	Pechblende
uvaroviet	uvarovite	uvarovite	Uwarowit	
vanadiniet	vanadinite	vanadinite	Vanadinit	
veldspaat	feldspar	feldspath	Feldspat	
vesuvianiet	vesuvianite	vésuvianite	Vesuvian	
vivianiet	vivianite	vivianite	Vivianit	
wavelliet	wavellite	wavellite	Wavellit	
witheriet	witherite	withérite	Witherit	
wolframiet	wolframite	wolframite	Wolframit	
wollastoniet	wollastonite	wollastonite	Wollastonit	
wulfeniet	wulfenite	wulfénite	Wulfenit	Gelbbleierz
zilver	silver	argent	Silber	
zirkoon	zircon	zircon	Zirkon	
zoisiet	zoisite	zoisite	Zoisit	
zwavel	sulfur	soufre	Schwefel	



- 2 -

## HET ONTSTAAN VAN MINERALEN



Ausbeutung der Krytallhöhle am Tiefengletscher, Canton Uri,  
im August 1868.

DE BERGING VAN KWARTSKRISTALLEN UIT EEN ALPIENE REKSPLEET AAN DE TIEFENGLETSCHER, KANTON  
URI, ZWITSERLAND, IN AUGUSTUS 1868

*prent uit een Zwitsers tijdschrift van 1869*

## 2.1 DE AARDKORST EN HAAR GESTEENTEN

Mineralen vindt men in de buitenste laag van de aardkorst. Deze **aardkorst** is ongeveer 20 tot 70 km dik (onder de oceanen slechts ongeveer 8 km). Wanneer men bedenkt dat de meeste mijnen tot 3 km de grond ingaan en dat de diepste boringen ongeveer 10 km bereiken, dan komen de mineralen slechts uit een flinterdun laagje van onze aarde (de gemiddelde aardstraal is 6371 km).

De aardkorst zelf is opgebouwd uit **gesteenten**; dat zijn aggregaten van één of meerdere mineralen. De gesteenten worden afhankelijk van hun vormingsgeschiedenis in drie hoofdgroepen onderverdeeld:

- **stollingsgesteenten**
- **sedimentgesteenten**
- **metamorfe gesteenten**

De vormingsgeschiedenis van de gesteenten leert ons iets over de omstandigheden waarin mineralen ontstaan.



## 2.2 STOLLINGSGESTEENTEN

De **stollingsgesteenten** (ook magmatische gesteenten genoemd) ontstaan door stolling (kristallisatie) van afkoelend **magma**. Bij trage afkoeling van het hete magma (900-1600°C) op een diepte van enkele km onder het aardoppervlak ontstaan vrij grote kristallen. Het gevormde **dieptegesteente** (ook wel plutonisch gesteente of plutoniet genoemd) is dan ook grofkorrelig. De korrelgrootte van een dieptegesteente varieert meestal tussen de 1 en 5 mm. Een voorbeeld van een dieptegesteente is graniet (fig. 2.1); het bestaat uit kwarts-, veldspaat- en micakorrels. Mineralen die een wezenlijk bestanddeel uitmaken van een gesteente (zoals kwarts, veldspaat en mica in graniet) noemt men **gesteentevormende mineralen**.

Wanneer een magma plots aan de aardoppervlakte komt (bijvoorbeeld bij een vulkaanuitbarsting) dan vormen zich door de grote afkoelingsnelheid vele kleine kristallen. Het resultaat is een fijnkorrelig **uitvloeingsgesteente** (bijvoorbeeld basalt). Bij zeer grote afkoelingsnelheden is er zelfs geen tijd voor kristallisatie en er ontstaat dan een glasachtige massa (vulkanisch glas of obsidiaan). Uitvloeingsgesteenten noemt men ook vulkanische gesteenten of vulkanieten.

In het algemeen zijn **uitvloeingsgesteenten** geen belangrijke bron van mineralen. Wel gebeurt het dat holten in uitvloeingsgesteenten later gevuld worden met mineraalhoudende oplossingen waaruit zich kristallen kunnen afzetten. Dergelijke holten met kristallen noemt men **geoden**. De amethystgeoden van Brazilië zijn op die manier ontstaan. Geoden kunnen echter ook in sedimentgesteenten voorkomen.

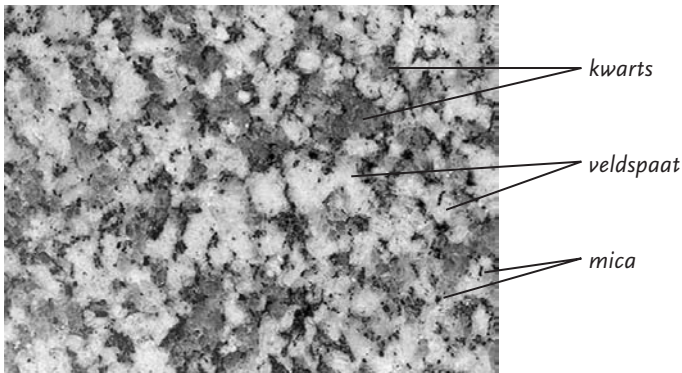


fig. 2.1 graniet is een voorbeeld van een dieptegesteente; het bestaat uit kwarts-, veldspaat- en micakorrels.

De **dieptegesteenten** zijn van groter belang voor de mineralenverzamelaar. Naast de essentiële gesteentevormende mineralen bevatten dieptegesteenten soms een aantal **bijkomstige (accessorische) mineralen**. Het zijn deze incidenteel aanwezige accessorische mineralen die een dieptegesteente interessant maken. Graniet bijvoorbeeld bestaat altijd uit veldspaat, kwarts en mica, maar kan ook kleine hoeveelheden zirkoon, titaniet, apatiet, magnetiet, ilmeniet bevatten.

tabel 2.1. mineralen in stollingsgesteenten

gesteentevormende mineralen	bijkomstige mineralen
kwarts	zirkoon
veldspaten (orthoklaas, plagioklaas)	titaniet
nefelien	magnetiet
sodaliet	ilmeniet
leuciet	hematiet
mica's (muscoviet, biotiet, flogopiet)	apatiet
pyroxenen (augiet, aegirien)	pyriet
amfibolen (hoornblende, riebeckiet)	korund
olivijn	granaat
	analcieem
	chalcopyriet
	molybdeniet
	toermalijn
	scheeliet

Een belangrijke bron van bijzondere mineralen zijn de **pegmatieten**. Een pegmatiet is een dieptegesteente dat ontstaat in de eindfase van de stolling van een magma. Er is dan nog een kleine hoeveelheid waterrijke restsmelt over waarin silicaten en een aantal zeldzame elementen opgelost zijn. Wanneer deze oplossing in spleten dringt dan ontstaan na afkoeling grote kwarts-, veldspaat- en micakristallen. Zeldzame elementen vindt men dan geconcentreerd in uitkristalliserende mineralen zoals: toermalijn (B), topaas (F, OH), fluoriet (F), cassiteriet (Sn), wolframiet (W), beryl (Be), spodumeen (Li), apatiet (F, OH), chrysoberyl (Be), enz. Meestal vertonen deze kristallen breuken, behalve wanneer ze vrij in holten kunnen uitkristalliseren.

tabel 2.2 mineralen in pegmatieten gerangschikt naar afnemende frequentie van hun voorkomen

overvloedig	>	>	>	erg zeldzaam
kwarts muscoviet biotiet	albiet almandien apatiet beryl orthoklaas schorl	cassiteriet chrysoberyl fluoriet goethiet hematiet ilmeniet kaoliniet lepidoliet rutiel spessartien spodumeen topaas toermalijn	amblygoniet andalusiet arsenopyriet borniet calciet chalcosiet chalcopyriet covelliet dolomiet galeniet grafiet korund magnetiet manganiet molybdeniet pyriet pyrolusiet pyrrhotiet rhodochrosiet scheeliet sfaleriet sideriet stilbiet titaniet uraniniet wolframiet zirkoon	autuniet cerussiet torberniet vivianiet

Heel wat mineralen worden gevormd door **hydrothermale** processen die eveneens het gevolg zijn van magmatische activiteit. Hete (<400°C) waterige (hydrothermale) mineraaloplossingen verplaatsen zich door spleten van hoger gelegen (en dus minder warme) gesteenten. Door de afkoeling kristalliseren de opgeloste mineralen uit in aders, spleten of holten. Heel wat ertsen van metalen zoals zilver, tin, lood, zink en koper zijn op die manier ontstaan. Men spreekt in dit verband ook van **ertsaders**. Een ander voorbeeld zijn de kwartskristallen uit de Alpen. Samen met deze kwartskristallen die men aantreft in spleten in gesteenten (Alpiene rekspleten) komen er ook nog mineralen voor zoals veldspaat, fluoriet, titaniet, anataas en brookiet.

tabel 2.3 mineralen in hydrothermale aders

hoge temperatuur 450-400°C	gemiddelde temperatuur 400-150°C	lage temperatuur 150-50°C
amfibolen apatiet arsenopyriet cassiteriet chalcopyriet chloriet epidoot fluoriet galeniet goud hematiet ilmeniet kwarts magnetiet molybdeniet muscoviet nikkelien orthoklaas pentlandiet pyriet pyrrhotiet rutiel scheeliet sfaleriet topaas toermalijn uraniniet wolframiet	ankeriet arsenopyriet bariet bournoniet calciet chalcopyriet dolomiet enargiet epidoot fluoriet galeniet goud jamesoniet kwarts nikkelien pyriet rhodochrosiet scheeliet sfaleriet sideriet skutterudiet tennantiet tetraëdriet uraniniet wolframiet zilver	apofylliet arseen arsenopyriet auripigment bariet calciet chalcosiet chloriet cinnaber dolomiet fluoriet galeniet goethiet goud jamesoniet kwarts magnesium manganiet marcasiet milleriet opaal realgar rhodochrosiet sfaleriet sideriet stibniet strontianiet tetraëdriet waveliet witheriet zeolieten zilver

## 2.3 SEDIMENTGESTEENTEN

**Sedimentgesteenten** (ook wel afzettingsgesteenten genoemd) ontstaan door verwerking van een gesteente dat zich aan de oppervlakte van de aardkorst bevindt. Men maakt onderscheid tussen mechanische en chemische verwerking.

**Mechanische verwerking** is een fragmentatieproces waarbij een gesteente in stukken breekt waarvan de fragmenten in principe dezelfde samenstelling hebben als het uitgangsmateriaal.

Bij **chemische verwerking** (onder invloed van water, zuurstof uit de lucht, enz.) kan het gesteente sterke veranderingen ondergaan en kunnen ook nieuwe (secundaire) mineralen ontstaan. Zo kan bijvoorbeeld een magmatisch gesteente tot klei verwerken of kunnen ijzerhoudende mineralen omgezet worden in ijzer-oxiden of -hydroxiden. Sommige van deze **secundaire mineralen** zijn meestal erg aantrekkelijk voor de mineralenverzamelaar; bijvoorbeeld de secundaire kopermineralen malachiet, azuriet, chrysocolla.

*tabel 2.4 secundaire mineralen ontstaan uit primaire ertsafzettingen*

primaire ertsader	secundaire mineralen
kopererts	azuriet borniet chalcosiet chrysocolla covelliet cupriet malachiet
looderts	anglesiet cerussiet crocoiet pyromorfiet vanadiniet wulfeniet
zinkerts	hemimorfiet hydrozinciet smithsoniet

De deeltjes of fragmenten die door verwerking zijn ontstaan, kunnen door water of lucht getransporteerd worden. Vervolgens kan er elders weer afzetting optreden door bezinking of door uitkristalliseren van in het water opgeloste stoffen. De aanvankelijk uit losse onsamenhangende deeltjes bestaande afzetting noemt men **sediment** (dus met weglating van het achtervoegsel 'gesteente').

Voorbeelden van sedimenten zijn zand, grint, keien. Het mineraal kwarts is erg bestand tegen vertering en is het hoofdbestanddeel van de meeste zanden.

Wanneer, meestal na een langere periode, het sediment door een dikke laag van latere sedimenten is bedekt, consolideert het tot een verhard **sedimentgesteente**. Dit proces noemt men **diagenese**. Kwartszand kan verhard tot zandsteen, kalkslib tot kalksteen, grint tot een conglomeraat en klei kan in kleisteen worden omgezet.

Veel sedimentgesteenten zijn mineralogisch gezien oninteressant. Kalksteen heeft echter dikwijls lensvormige tot bijna sferische holten (geoden) die achteraf door lage-temperatuur hydrothermale oplossingen met aantrekkelijk uitgekristalliseerde mineralen kunnen gevuld worden. De voornaamste mineralen die in dergelijke geoden voorkomen zijn: aragoniet, bariet, calciet, celestien, dolomiet, fluoriet, gips, kwarts, marcasiet, milleriet, pyriet, strontianiet, zwavel.

Een aantal mineralen is zowel mechanisch als chemisch resistent tegen vertering. Voorbeelden zijn naast kwarts, een aantal edelsteenmineralen. Edelstenen kunnen door vertering vrijgemaakt worden uit hun moedergesteente. Door water weggespoeld, komen de edelstenen samen met zand en grint (met kwarts als hoofdbestanddeel) in het alluvium van een stroom voor. Gezien de hoge dichtheid van edelstenen in vergelijking met andere mineralen, worden zij dikwijls selectief door de stroom afgezet. Edelstenen die dikwijls uit dergelijke **rivierafzettingen** worden ontgonnen zijn o.a. korund, granaat, spinel, toermalijn, zirkoon enz.

## 2.4 METAMORFE GESTEENTEN

Een derde klasse gesteenten is de **metamorfe gesteenten**. Onder **metamorfose** verstaat men de veranderingen die een gesteente onder invloed van hoge temperatuur en/of druk ondergaat. Metamorfe gesteenten ontstaan altijd uit magmatische of sedimentgesteenten. Er zijn twee hoofdtypen van metamorfose: regionale metamorfose en thermometamorfose.

**Regionale metamorfose** is werkzaam op grote diepte (> 5 km) in de aardkorst. De veranderingen die er meestal grote gesteentemassa's ondergaan, zijn het gevolg van de daar heersende hoge temperatuur en druk. Door metamorfose van kleisteen ontstaat leisteen en door een meer doorgedreven metamorfose ontstaat schist. In schisten vindt men soms mineralen zoals granaat, kyaniet, chrysoberyl en andalusiet. Marmer is een door metamorfose gerekristalliseerde kalksteen. In marmer van Birma ontstonden tijdens de rekristallisatie edelsteenmineralen zoals robijn, saffier en spinel.

Bij **thermometamorfose** zijn de veranderingen te wijten aan magma dat een reeds bestaand (koeler) gesteente binnendringt. De temperatuursverhoging veroorzaakt de rekristallisatie van het gesteente terwijl eventueel aanwezige hete oplossingen de chemische samenstelling van het gesteente kunnen wijzigen (contactmetamorfose). Door thermometamorfose kunnen mineralen zoals granaat, vesuvianiet, diopsiet en epidoot ontstaan.

De samenstelling van een metamorf gesteente is meestal sterk verschillend van het niet-metamorfe uitgangsgesteente. De intensiteit van metamorfose, uitgedrukt in termen als zwakke, middelmatige en sterke metamorfose, is bepalend voor de nieuw gevormde mineralen. Verder hangen de door metamorfose ontstane mineralen af van de samenstelling van het oorspronkelijke gesteente. Er zijn heel ruwweg twee verschillende uitgangsmogelijkheden:

- gesteenten rijk aan kwarts en silicaten
- gesteenten rijk aan carbonaten (zoals kalksteen)

Bij metamorfose van kalksteen ontstaat marmer. Wanneer de kalksteen onzuiverheden bevat, dan worden deze door metamorfose in nieuw gevormde mineralen omgezet. Wanneer tijdens de metamorfose extra ‘onzuiverheden’ door het indringen van hete gassen of vloeistoffen aan het marmer worden toegevoegd (thermometamorfose) dan kan een enorme variëteit aan mineralen gevormd worden. De voornaamste zijn dan: actinoliet, andradiet, anorthiet, apatiet, arseen, arsenopyriet, biotiet, borniet, chalcopyriet, chloriet, diopsiet, epidoot, flogopiet, fluoriet, galeniet, grossulaar, hematiet, ilmeniet, korund, kwarts, magnetiet, molybdeniet, pyriet, pyrrhotiet, rhodochrosiet, rhodoniet, rutiel, scheeliet, serpentijn, sfaleriet, sideriet, spinel, titaniet, toermalijn, tremoliet, vesuvianiet, wolframiet, wollastoniet, zirkoon, zoisiet.

*tabel 2.5 mineralen die voorkomen in siliciumrijke metamorfe gesteenten*

zwakke metamorfose	middelmatige metamorfose	sterke metamorfose
albiet amfibolen anataas apatiet brookiet chloriet epidoot kwarts muscoviet pyriet rhodoniet spessartien talk titaniet	almandien amfibolen andalusiet apatiet biotiet cordieriet epidoot hoornblend korund kwarts kyaniet muscoviet orthoklaas plagioklaas rutiel stauroliet toermalijn	almandien andalusiet biotiet grafiet ilmeniet korund kwarts orthoklaas plagioklaas pyroxenen sillimaniet toermalijn

## 2.5 MINERALEN IN DE AARDKORST

Hoewel er een 4000-tal mineralen bekend zijn, is de overgrote meerderheid van deze mineralen heel erg zeldzaam. De meest voorkomende mineralen (of mineralengroepen), waaruit ongeveer 90% van de aardkorst bestaat, zijn veldspaten, kwarts, pyroxenen, amfibolen, olivijn en mica's. Deze worden gevolgd door magnetiet en hematiet, calciet, kaolinit, dolomiet. Het restant, ongeveer 3,4%, wordt ingenomen door de overige mineralen.

*tabel 2.6 mineralogische samenstelling van de aardkorst*

mineraalsoort of mineralengroep	% van de aardkorst
veldspaat	58,0
kwarts	12,5
pyroxenen, amfibolen, olivijn	16,5
mica	3,5
magnetiet, hematiet	3,5
calciet	1,5
kaolinit + kleimineralen	1
dolomiet + magnesiet	0,1
overige mineralen	3,4

Het lijkt op het eerste gezicht vreemd dat al die andere mineralen zo uiterst zeldzaam zijn want een blik in een mineralenverzameling of -museum zou het tegendeel doen veronderstellen. Toch mag men niet vergeten dat er juist grote inspanningen dienen te worden geleverd om die 'zeldzame' mineralen te ontginnen; bijvoorbeeld door mijnbouw (ertsontginning). Ook verzamelaars gaan op zoek naar allerlei mogelijke mineralen en het vinden ervan is niet altijd vanzelfsprekend. M.a.w. een mineralenverzameling geeft een totaal verkeerd beeld van de samenstelling van de bovenste aardkorst. Indien een mineralenverzameling een juist beeld van de samenstelling van de buitenste aardlaag zou geven dan zou die verzameling bijna uitsluitend uit specimens van veldspaat, kwarts en enkele silicaatmineralen bestaan.



## 2.6 ASSOCIATIES

Welke mineralen op een gegeven moment op een bepaalde plaats in de aardkorst gevormd worden, hangt af van de temperatuur, de druk en de chemische samenstelling van het op die plaats aanwezige materiaal. Uit de vorige paragrafen bleek reeds dat er heel wat verschillende mineraalvormende omstandigheden mogelijk zijn. Onder elk van die specifieke omstandigheden, gekenmerkt door temperatuur, druk en chemische samenstelling van het uitgangsmateriaal, kunnen zich bepaalde mineraalsoorten vormen. Het samen voorkomen van die verschillende mineraalsoorten in één mineralenafzetting noemt men een **associatie**. Zo kunnen ook op één mineraalspecimen meerdere mineraalsoorten vertegenwoordigd zijn.

Soms gebruikt men ook de term **paragenese** als synoniem voor associatie. Diverse auteurs verstaan onder paragenese of paragenetische sequentie echter de volgorde van ontstaan van mineralen in een afzetting of in een associatie.

Bepaalde associaties zijn erg typisch en kunnen als hulpmiddel dienst doen bij het determineren van mineralen. Zo is de combinatie galeniet – sfaleriet – kwarts – calciet – sideriet – bariet een typische associatie.

Anderzijds zijn sommige mineralenassociaties zonder meer uitgesloten; zo is het samen voorkomen van leuciet en kwarts gewoonweg onmogelijk omdat tijdens de vorming uit een dergelijke combinatie orthoklaas zou ontstaan.

Men moet er wel mee rekening houden dat niet alle mineralen die op een specimen aanwezig zijn, noodzakelijkerwijze gelijktijdig zijn ontstaan. Het is best mogelijk dat zich na verloop van tijd en onder heel andere omstandigheden, nieuwe mineralen afzetten die met de oorspronkelijke associatie niets van doen hebben.

Het samen voorkomen van bepaalde mineralen in eenzelfde afzetting kan ook toevallig zijn. Een voorbeeld is het samen voorkomen van diverse mineraalsoorten in het zand of grint van een rivierafzetting. In dit geval is de combinatie afhankelijk van de mineraalinhoud van de verschillende gesteenten die de rivier doorsneden heeft.

Sommige mineralen worden slechts onder heel specifieke omstandigheden gevormd terwijl andere echter onder verschillende omstandigheden kunnen ontstaan.

Sommige mineralen vinden we slechts in welbepaalde associaties terwijl andere mineralen tot heel uiteenlopende associaties kunnen behoren. Een dergelijk mineraal dat zich onder meerdere omstandigheden kan vormen, noemt men een **doorloper**. Een typisch voorbeeld is chalcopyriet dat zowel bij heel hoge druk en temperatuur als bij atmosferische druk en ‘kamertemperatuur’ kan gevormd worden.





## CHEMIE EN CHEMISCHE SAMENSTELLING

*De chemie is de wetenschap die zich bezighoudt met het onderzoek naar de samenstelling van de materie, haar structuur, haar eigenschappen en de reacties die verschillende stoffen met elkaar kunnen aangaan. De anorganische chemie, ook wel minerale chemie genoemd, is een onmisbaar hulpmiddel in de mineralogie.*



LABORATORIUM VOOR HET TOETSEN (BEPALEN VAN HET METAALGEHALTE) VAN ERTSEN

*Lazarus Ercker, Beschreibung aller fürnemisten mineralischen Ertzt und Bergwercksarten, Franckfurt am Mayn, 1580*

### 3.1 ATOMEN

**Atomen** (van het Grieks *atomos*, wat ondeelbaar betekent) zijn de ultieme bouwstenen van de materie (dus ook van de mineralen). Er zijn een honderdtal verschillende atomen bekend en elke atoomsoort noemt men een **element** (bijvoorbeeld: ijzer, silicium, fosfor, zuurstof, ...). Om de eigenschappen van de verschillende elementen te kunnen verklaren, is enige kennis betreffende de structuur van een atoom noodzakelijk.

Reeds in 1805 publiceerde de Engelsman John Dalton (1766-1844) een hypothese aangaande de structuur van atomen. Volgens hem zouden atomen ondeelbare massieve sferische deeltjes zijn (fig. 3.1).

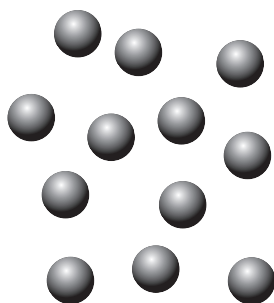


fig. 3.1 volgens Dalton zouden atomen ondeelbare sferische deeltjes zijn

Dalton veronderstelde dat de atomen van een bepaald element identiek zijn, terwijl de atomen van verschillende elementen zich zouden onderscheiden in grootte en in massa. Ondertussen weet men dat atomen geen ondeelbare massieve deeltjes zijn.

Wat de onderzoeken naar de atombouw bemoeilijkte, was dat een atoom uiterst klein is en dat men de structuur ervan niet rechtstreeks kan waarnemen. Atomen hebben een diameter van 0,10 tot 0,24 nm (nm = nanometer).

$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 0,000000001 \text{ meter}$ . Door allerlei experimentele technieken en theoretische beschouwingen is men erin geslaagd de structuur van een atoom nauwkeurig te beschrijven. Vereenvoudigd kan men zeggen dat:

**elk atoom bestaat uit een positief geladen kern  
met eromheen een negatief geladen elektronenwolk**

Een **atoomkern** is bijzonder klein (ongeveer 10000 x kleiner dan het atoom zelf) maar erg zwaar. Vrijwel de totale massa van het atoom is geconcentreerd in de kern. De kern bestaat uit een aantal positief geladen deeltjes, protonen (aan elk proton kent men een lading +1 toe) en een aantal neutronen (dit zijn deeltjes met ongeveer dezelfde massa als het proton, maar zonder lading).

Het aantal protonen in de atoomkern is een belangrijk gegeven omdat het bepaalt met welke atoomsoort, dus met welk element men te maken heeft. Het getal dat aangeeft hoeveel protonen een atoom van een bepaald element bevat, noemt men het atoomnummer.

Elke atoomsoort (dus ieder element) heeft een bepaald atoomnummer. Het meest eenvoudige atoom is dat van waterstof, met slechts 1 proton in de kern en bijgevolg is het atoomnummer gelijk aan 1. De atomen van het element helium hebben 2 protonen in de kern (het atoomnummer is 2), bij lithium zijn het er 3, bij beryllium 4 enz...

Op een relatief grote afstand rond de kern zit een wolk van **elektronen**. Elk elektron heeft een lading die gelijk is aan -1. In een **neutraal atoom** is het aantal elektronen precies gelijk aan het aantal protonen in de kern. M.a.w. het atoomnummer geeft aan hoeveel elektronen er in een neutraal atoom aanwezig zijn.

De **massa** van één enkel atoom is erg klein. Zelfs het zwaarste atoom heeft een massa van amper  $5 \cdot 10^{-22}$  g. Om het werken met dergelijke kleine getallen te vermijden heeft men het begrip **atoommassa** ingevoerd. Als maat neemt men de **atoommassa-eenheid** (symbool u);  $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-24}$  g.

De massa van bijvoorbeeld 1 atoom van het element calcium is gelijk aan 40,08 u en men zegt dat de atoommassa van het element calcium 40,08 is.

De atoommassa's van de voornaamste elementen zijn in tabel 3.1 aangegeven. De atoommassa neemt toe met toenemend atoomnummer (op enkele uitzonderingen na).

tabel 3.1 alfabetische lijst van de natuurlijke elementen met hun symbool, hun atoommassa en hun atoomnummer

actinium	Ac	227,03	89	mangaan	Mn	54,938	25
aluminium	Al	26,9815	13	molybdeen	Mo	95,94	42
antimoon	Sb	121,75	51	natrium	Na	22,9898	11
argon	Ar	39,948	18	neodymium	Nd	144,24	60
arseen	As	74,9216	33	neon	Ne	20,183	10
astatium	At	210	85	nikkel	Ni	58,7	28
barium	Ba	137,34	56	niobium	Nb	92,906	41
beryllium	Be	9,0122	4	osmium	Os	190,2	76
bismuth	Bi	208,981	83	palladium	Pd	106,4	46
boor	B	10,811	5	platina	Pt	195,09	78
broom	Br	79,909	35	polonium	Po	210	84
cadmium	Cd	112,4	48	praseodymium	Pr	140,907	59
calcium	Ca	40,08	20	protactinium	Pa	231,036	91
cerium	Ce	140,12	58	radium	Ra	226,03	88
cesium	Cs	132,905	55	radon	Rn	222	86
chloor	Cl	35,453	17	renium	Re	186,2	75
chromium	Cr	51,996	24	rhodium	Rh	102,905	45
cobalt	Co	58,9332	27	rubidium	Rb	85,47	37
dysprosium	Dy	162,5	66	ruthenium	Ru	101,07	44
erbium	Er	167,26	68	samarium	Sm	150,4	62
europium	Eu	151,96	63	scandium	Sc	44,956	21
fluor	F	18,9984	9	selenium	Se	78,96	34
fosfor	P	30,9738	15	silicium	Si	28,086	14
francium	Fr	223	87	stikstof	N	14,0067	7
gadolinium	Gd	157,25	64	strontium	Sr	87,62	38
gallium	Ga	69,72	31	tantalium	Ta	180,948	73
germanium	Ge	72,59	32	tellurium	Te	127,6	52
goud	Au	196,967	79	terbium	Tb	158,925	65
hafnium	Hf	178,49	72	thallium	Tl	204,37	81
helium	He	4,0026	2	thorium	Th	232,038	90
holmium	Ho	164,93	67	thulium	Tm	168,934	69
ijzer	Fe	55,847	26	tin	Sn	118,69	50
indium	In	114,82	49	titanium	Ti	47,9	22
iridium	Ir	192,2	77	uranium	U	238,03	92
jodium	I	126,904	53	vanadium	V	50,942	23
kalium	K	39,102	19	waterstof	H	1,008	1
koolstof	C	12,0111	6	wolfram	W	183,85	74
koper	Cu	63,546	29	xenon	Xe	131,3	54
krypton	Kr	83,8	36	ytterbium	Yb	173,04	70
kwik	Hg	200,59	80	yttrium	Y	88,905	39
lanthaan	La	138,91	57	zilver	Ag	107,868	47
lithium	Li	6,941	3	zink	Zn	65,37	30
lood	Pb	207,19	82	zirkonium	Zr	91,22	40
lutetium	Lu	174,79	71	zuurstof	O	15,9994	8
magnesium	Mg	24,312	12	zwavel	S	32,064	16



## 3.2 ELEMENTEN, SYMBOLEN, VERBINDINGEN

Stoffen die uit één soort atomen bestaan, noemt men **enkelvoudige stoffen**. Deze stoffen dragen de naam van de atoomsoort, dus van het element, waaruit ze bestaan.

Wanneer men de naam van een element wil neerschrijven, dan gebruikt men daar symbolen voor. Deze verkorte schrijfwijze is bijzonder handig en het is noodzakelijk om de symbolen van de meest voorkomende elementen uit het hoofd te leren. De symbolen zijn meestal de beginletters van de Latijnse namen van de elementen. Als symbool voor een element schrijft men de beginletter als hoofdletter, meestal gevolgd door een kleine letter.

*tabel 3.2 enkele elementen en hun symbolen*

symbool	naam element	Latijnse benaming
<b>Fe</b>	ijzer	ferrum
<b>Si</b>	silicium	silicium
<b>O</b>	zuurstof	oxygenium
<b>H</b>	waterstof	hydrogenium
<b>Al</b>	aluminium	aluminium

In totaal zijn er iets meer dan honderd elementen gekend waarvan een tiental kunstmatig vervaardigd zijn. De kunstmatige elementen zijn o.a. technetium (Tc), promethium (Pm), neptunium (Np), plutonium (Pu), americium (Am), curium (Cm), berkelium (Bk), californium (Cf), einsteinium (Es), fermium (Fm), mendelevium (Md), nobelium (No) en lawrencium (Lr). Tabel 3.1 is een alfabetische lijst van de natuurlijke elementen met hun symbolen.

De meeste stoffen en de overgrote meerderheid van de mineralen zijn uit meer dan één atoomsoort opgebouwd, m.a.w. ze bestaan uit atomen van verschillende elementen. Men spreekt dan van een **samengestelde stof**.

Een samengestelde stof die bijvoorbeeld uit twee soorten atomen bestaat, is niet zomaar een mengsel van twee elementen (fig. 3.2). De atomen van de twee elementen zijn echter chemisch met elkaar verbonden en het resultaat is een nieuwe stof die men **verbinding** noemt, met totaal nieuwe specifieke eigenschappen. Het mineraal haliet bijvoorbeeld (in feite niets anders dan keuzenzout) is samengesteld uit atomen van de elementen natrium en chloor. Natrium is een erg reactief metaal en chloor is een sterk giftig gas, maar de verbinding tussen beide elementen (de chemici noemen het natriumchloride) is het eerder onschuldige keuzenzout. De bij een chemische verbinding van atomen ontstane materiedeeltjes noemt men soms **moleculen**.

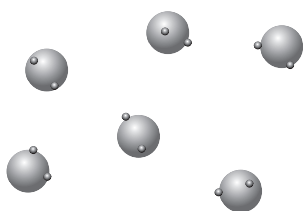
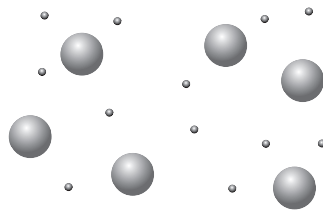


fig 3.2 een samengestelde stof bestaat uit meerdere met elkaar verbonden atoomsoorten



en is niet zomaar een mengsel van die atoomsoorten

### 3.3 DE TABEL VAN MENDELEEV

Aan het einde van de 18<sup>e</sup> eeuw werd de materie eenvoudigweg ingedeeld in elementen en verbindingen. In 1817 toonde de Duitse chemicus Döbereiner aan dat er chemische elementen waren die sterke verwantschappen in hun eigenschappen vertoonden.

Het was echter de Rus **Mendeleev** (1834-1907) die in 1869 de 63 toen bekende elementen in een tabel rangschikte en dit naar hun toenemende atoommassa's en op grond van hun overeenkomstige chemische kenmerken. Zijn classificatiesysteem bleek zo sluitend te zijn dat hij in zijn tabel zelfs plaatsen open hield voor in die tijd nog niet ontdekte elementen. Het succes was des te groter toen de door hem voorspelde eigenschappen van de nog ontbrekende elementen, na de ontdekking ervan bevestigd werden.

De moderne versie van de **tabel van Mendeleev** is afgebeeld in tabel 3.3. Mendeleev zocht naar een verband tussen de atoommassa's en de eigenschappen van de elementen. In werkelijkheid rangschikte hij de elementen naar **toenemend atoomnummer** (dit is het aantal protonen in een atoomkern van het betrokken element). Men moet zich wel realiseren dat op het ogenblik dat Mendeleev zijn tabel opstelde, helemaal niets over de structuur van atomen gekend was en dat het begrip atoomnummer in zijn tijd nog niet bestond.

Wanneer men alle elementen volgens toenemend atoomnummer op een lange rij plaatst, dan komt men periodiek elementen met analoge kenmerken tegen. De tabel van Mendeleev is zodanig opgesteld dat elementen met gelijksoortige kenmerken telkens in eenzelfde verticale kolom terecht komen. De **horizontale rijen** noemt men **perioden** en men spreekt dan ook van het **periodiek systeem der elementen** (fig. 3.3).

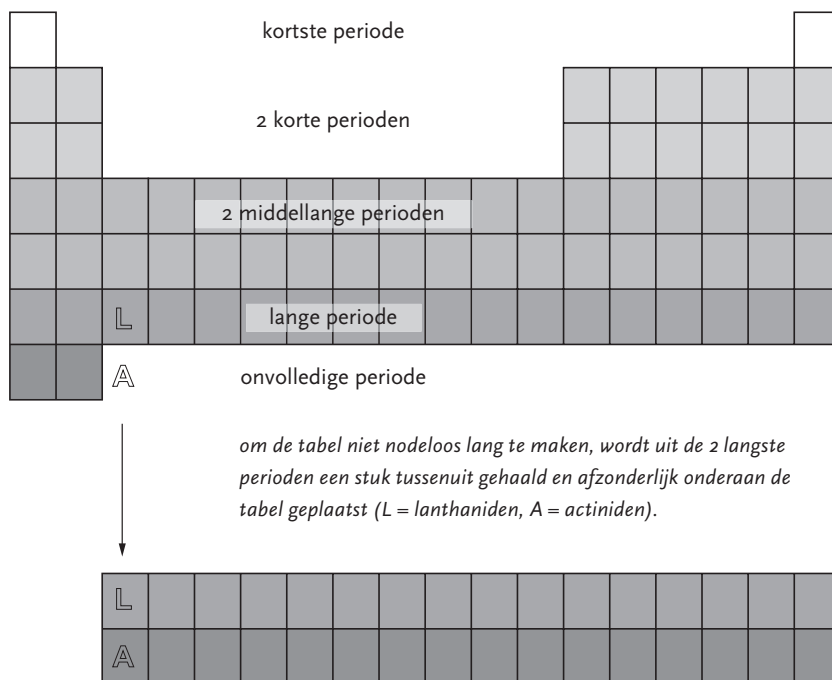
Periodiek systeem der elementen - tabel van Mendeleev

1																	2			
	IIA															VIIA				
3	4																9			
Li	Be															F				
11	12																	17		
Na	Mg															18				
		IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII B	IB	IIB								III A	IV A	V A	VIA
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																			

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	
L	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
A	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

fig. 3.3 de zeven perioden in het periodiek systeem der elementen



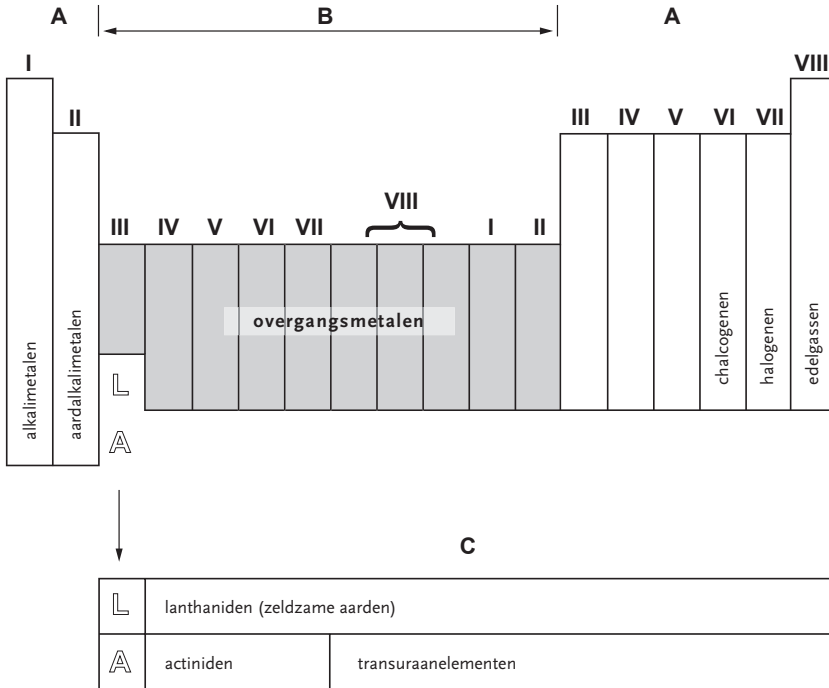
Men onderscheidt één erg korte periode (waterstof, helium), twee korte perioden van 8 elementen (lithium tot neon en natrium tot argon), twee middellange perioden van 18 elementen (kalium tot krypton en rubidium tot xenon), een lange periode van 32 elementen (cesium tot radon) en een onvolledige periode. Om de tabel niet nodeloos lang te maken, wordt uit de twee langste perioden een stuk tussenuit gehaald en afzonderlijk onderaan de tabel geplaatst. Binnen een periode variëren de eigenschappen van de elementen volgens een regelmatig patroon.

De **verticale kolommen**, die elementen met gelijksoortige kenmerken bevatten, noemt men **groepen** (fig. 3.4).

Enkele groepen kregen zelfs een specifieke naam. De elementen lithium, natrium, kalium, rubidium, cesium en francium vormen de groep van de **alkalimetalen** (I A); al deze elementen zijn lichte, erg reactieve metalen. De groep II A met beryllium aan kop noemt men de **aardalkalimetalen**. Verder spreekt men nog van de **chalcogenen** (groep VI A), de **halogenen** (VII A) en de **edelgassen** (groep 0). De edelgassen (helium, neon, argon, krypton, xenon en radon) zijn chemisch inerte gassen die slechts onder bepaalde omstandigheden met enkele andere elementen verbindingen vormen.

De elementen in de B-kolommen, ook **overgangsmetalen** genoemd, vormen een aparte groep elementen die qua eigenschappen afwijken van de elementen in de drie korte perioden.

fig 3.4 de groepen in het periodiek systeem der elementen



Sommige horizontale elementenreeksen hebben eveneens een speciale naam. De elementen met atoomnummer 57 tot 71 noemt men de **lanthaniden** of **zeldzame aarden**, terwijl de elementen vanaf nummer 89 als **actiniden** bekend staan. De elementen na uraan (atoomnummer 92) noemt men de **transuraan-elementen**.

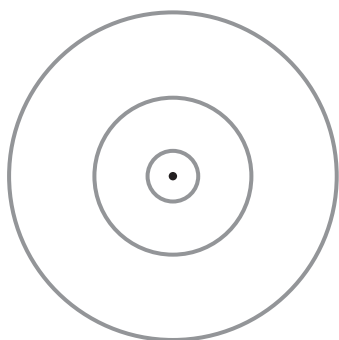
### 3.4 DE ELEKTRONENSTRUCTUUR VAN HET ATOOM

In de vorige paragrafen werd voornamelijk aandacht besteed aan de atoomkern (zie o.a. atoommassa, atoomnummer). Het zijn echter in de eerste plaats de elektronen die het chemisch gedrag van een element bepalen.

De eerste theorieën aangaande de elektronenstructuur van het atoom ontstonden aan het begin van de 20<sup>ste</sup> eeuw. In 1911 toonde de Engelsman Ernest Rutherford (1871-1937) aan dat een atoom bestaat uit een kleine centrale kern en dat de elektronen daar op grote afstand omheen bewegen.

Volgens het atoommodel dat de Deen Niels Bohr (1885-1962) in 1913 voorstelde, nemen de elektronen welbepaalde energietoestanden in. Deze energietoestanden kan men zich visueel voorstellen als bolschilvormige zones rond de kern (fig. 3.5). Een dergelijke energietoestand noemt men een **elektronenschil** of kortweg **schil**.

*fig. 3.5 elektronen nemen welbepaalde energietoestanden in die men zich visueel kan voorstellen als bolschilvormige zones rond de atoomkern*



Wanneer een atoom meer dan twee elektronen bevat (en dat is voor alle atomen met uitzondering van waterstof en helium het geval), dan zijn deze verdeeld over diverse elektronenschillen. De energie van een elektron is afhankelijk van de schil waarin het zich bevindt. Hoe dichterbij de kern, des te lager de energie van de elektronen die zich in die schil bevinden. Een atoom kan hoogstens zeven energieniveaus of schillen hebben. Beginnend met de schil het dichtst bij de kern, worden ze aangeduid door de letters:

K, L, M, N, O, P en Q

Elke schil stelt een bepaald energieniveau voor; m.a.w. de energie van een elektron in een atoom kan slechts welbepaalde waarden aannemen. Men zegt dat de energie-inhoud van een elektron **gekwantificeerd** is.

Het aantal elektronen dat een schil kan bevatten is eveneens beperkt. Het maximaal aantal elektronen per schil is weergegeven in onderstaande tabel 3.4.

tabel 3.4 het maximaal aantal elektronen in de verschillende elektronenschillen

schil	maximaal aantal elektronen
K	2
L	8
M	18
N	32
O, P, Q	zijn nooit volledig gevuld

De eigenschappen van een element worden voornamelijk bepaald door de elektronen in de **buitenste schil** en door de plaats van dat element in het periodiek systeem. Waterstof (atoomnummer 1) heeft één elektron in de K-schil, helium (atoomnummer 2) heeft er twee (het maximale aantal voor deze schil). Lithium heeft naast een gevulde K-schil één elektron in de L-schil. De L-schil van beryllium bevat 2 elektronen, voor boor zijn het er 3 en voor koolstof 4, stikstof 5, zuurstof 6, fluor 7. Neon tenslotte heeft 8 elektronen in de buitenste schil en men noemt deze configuratie een **octetstructuur**.

In de volgende rij (van natrium tot argon) geschiedt de bezetting van de M-schil op analoge wijze en argon heeft eveneens 8 elektronen in zijn buitenste schil.

De eenvoudige theorie van Bohr werd in 1926 verfijnd door de Oostenrijker Erwin **Schrödinger** (1887-1961). Met uitzondering van de K-schil, is elk energieniveau nog eens opgesplitst in één of meer subniveaus (aangeduid door de letters s, p, d, f, g...).

### 3.5 DE CHEMISCHE BINDING

In paragraaf 3.2 werd reeds aangehaald dat atomen zich met elkaar kunnen verenigen om een nieuwe stof, verbinding, te vormen. Als voorbeeld werd de vorming van natriumchloride door verbinding van natrium- met chlooratomen aangehaald. De reactie tussen beide atomen kan men symbolisch voorstellen als:



Atomen zullen zich slechts met elkaar verenigen als er krachten zijn die deze atomen samenhouden. Verantwoordelijk voor de **chemische binding** zijn de elektronen in de buitenste schil van de atomen. De elektronen in de buitenste schil noemt men **valentie-elektronen** en voor de elementen uit de A-groepen is hun aantal gelijk aan het nummer van de groep. In groep VIII A bevinden zich de edelgassen met 8 elektronen in hun buitenste schil.

Experimenteel werd vastgesteld dat edelgassen (zoals helium, neon, argon enz...) inert zijn en zich maar in uitzonderlijke omstandigheden met andere atomen verbinden. Kenmerkend voor de edelgassen is de aanwezigheid van 8 elektronen in hun buitenste schil (helium maakt hierop een uitzondering omdat de K-schil slechts 2 elektronen kan bevatten). Deze octetstructuur is erg stabiel, want het vergt heel veel energie om aan een atoom met een gevulde buitenste elektronenschil nog een elektron toe te voegen. Dit verklaart de stabiliteit van de **edelgas-elektronenconfiguratie**.

De octetstructuur van de edelgassen is zodanig stabiel, dat zelfs andere atomen zullen trachten om eveneens 8 elektronen in hun buitenste schil te bekommen. Een atoom kan dit doen door elektronen op te nemen of af te geven.

Elementen rechts in het periodiek systeem zullen de octetstructuur verkrijgen door elektronen op te nemen.

Door opname van één elektron verkrijgt bijvoorbeeld chloor (atoomnummer 17) de octetstructuur van argon (atoomnummer 18).

Een chlooratoom                      Cl 2, 8, 7

(2, 8, 7 = aantal elektronen in K, L en M schil) kan de edelgasconfiguratie van argon,

Ar 2, 8, 8

verkrijgen door opname van één elektron. De elektronenconfiguratie van Cl<sup>-</sup> wordt dan:

Cl<sup>-</sup> 2, 8, 8



Elementen, links in het periodiek systeem zullen elektronen afgeven om de octetstructuur van het voorafgaande edelgas te verkrijgen.

Door afgifte van één elektron krijgt natrium de octetstructuur van neon.

Natrium,  $\text{Na}$  2, 8, 1

krijgt de configuratie van neon,

$\text{Ne}$  2, 8

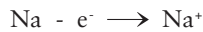
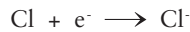
door het elektron af te geven.

De elektronenconfiguratie van  $\text{Na}^+$  is dan

$\text{Na}^+$  2, 8

Door opname of afgifte van elektronen is de negatieve lading van de elektronenwolk niet meer gelijk aan de positieve lading van de kern. Het geheel is niet meer elektrisch neutraal en een dergelijk positief of negatief geladen atoom noemt men een **ion**.

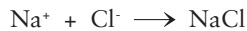
Symbolisch schrijft men de vorming van een ion als:



( $e^-$  stelt het negatief geladen elektron voor).

Tegengesteld geladen ionen trekken elkaar aan om een chemische binding te vormen. Deze binding die het gevolg is van elektrostatische aantrekkingskrachten tussen tegengesteld geladen ionen noemt men een **ionbinding**.

In het geval van natrium- en chloorionen:



De verbinding, NaCl, natriumchloride, is weer elektrisch neutraal. Men kan de bovenstaande reactie ook zo interpreteren dat natrium zijn enige elektron op de buitenste schil aan chloor afstaat zodat beide atomen een edelgasconfiguratie verkrijgen. Natrium speelt de rol van elektronendonor en chloor die van elektronenacceptor (fig. 3.6).

In het periodiek systeem der elementen vindt men naar links en naar onder toe, elementen die meer en meer de neiging hebben om elektronen af te geven. Rechts en bovenaan vindt men elementen die meer de neiging hebben om elektronen op te nemen. De ionbinding wordt dus vooral gevormd tussen atomen die ver uit elkaar liggen in de tabel van Mendeleev.

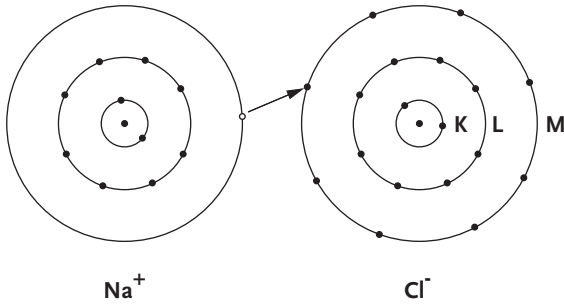


fig. 3.6 de ionbinding; uitwisseling van een elektron tussen Na en Cl

Twee elementen die in het periodiek systeem dicht bij elkaar liggen, kunnen echter ook een verbinding vormen. Het is zelfs mogelijk dat twee atomen van eenzelfde element zich met elkaar verbinden. Chloor bijvoorbeeld komt normaal niet voor als afzonderlijke atomen, maar in groepjes van twee. De twee chlooratomen (met elk 7 elektronen in de buitenste schil) vormen een verbinding door het gemeenschappelijk gebruik van een elektron van elk van de bij de binding betrokken atomen. Men noemt dit een **covalente** binding. Men kan zich voorstellen dat de buitenste elektronenschillen van de betrokken atomen elkaar overlappen en dat op die manier elke schil 8 elektronen bevat door het in gemeenschap stellen van evenveel elektronen door elk van de deelnemende atomen (fig. 3.7). Zuurstofgas bestaat uit  $\text{O}_2$ -moleculen en elk zuurstofatoom (met slechts 6 elektronen in de buitenste schil) levert twee elektronen voor gemeenschappelijk gebruik. Men spreekt in dit verband over een dubbele covalente binding. In het geval van stikstofgas,  $\text{N}_2$ , levert elk atoom (met 5 elektronen in de buitenste schil) zelfs drie elektronen ter vorming van een drievoudige covalente binding.

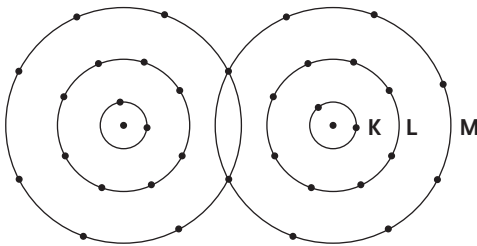


fig 3.7 de covalente binding; gemeenschappelijk gebruik van elektronen door overlapping van buitenste schillen

Een perfecte covalente binding kan alleen ontstaan wanneer beide partners in dezelfde mate de neiging hebben om elektronen op te nemen of af te geven; dit is zeker het geval bij bindingen tussen identieke atomen. Het spreekt voor zich dat tussen beide bindingstypes (ionbinding en covalente binding) een aantal tussenvormen mogelijk zijn.

### 3.6 VALENTIES EN FORMULES

Elke verbinding en dus ook elk mineraal kan men voorstellen door een **chemische formule**. Deze formule geeft informatie over de samenstelling van een mineraal; **welke atoomsoorten** (elementen) aanwezig zijn en in **welke verhoudingen**.

De chemische formule van bijvoorbeeld het mineraal haliet, NaCl, leert niet alleen dat het mineraal samengesteld is uit natrium- en chlooratomen, maar tevens dat beide soorten atomen in gelijke hoeveelheid aanwezig zijn.

De chemische formule van het mineraal fluoriet is  $\text{CaF}_2$  (te lezen als c, a, f, 2). Dit mineraal bestaat dus uit calcium- en fluoratomen in een verhouding 1:2, m.a.w. per calciumatoom zijn er twee fluoratomen aanwezig (aangegeven door het subscript 2 achter het symbool voor fluor).

De verhoudingen waarin atomen zich met elkaar verbinden, zijn afhankelijk van de bij de binding betrokken elektronen (cfr. vorige paragraaf). Het vermogen van een atoom om zich met andere atomen te binden, wordt aangegeven door het begrip **valentie**.

In een **ionbinding** is de valentie het aantal elektronen dat een atoom afstaat of opneemt om een ion te vormen. In NaCl is de valentie van het natriumion +1 en van het chloorion -1. In  $\text{CaF}_2$  is de valentie van het calciumion +2, van het fluorion -1.

Een ion met positieve valentie noemt men een **kation**; bijvoorbeeld  $\text{Na}^+$  en  $\text{Ca}^{2+}$ . Een ion met negatieve valentie noemt men een **anion**; bijvoorbeeld  $\text{Cl}^-$  en  $\text{F}^-$ .

In een **covalente** verbinding is de valentie van een atoom het aantal elektronen dat het atoom ter beschikking stelt voor gemeenschappelijk 'gebruik'.

Sommige atomen kunnen meerdere valenties hebben. Men noemt dat elementen met **wisselende valentie**.

IJzer bijvoorbeeld kan zowel tweewaardig als driewaardig positief zijn ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ). Zwavel kan o.a. tweewaardig negatief ( $\text{S}^{2-}$ ) en zeswaardig positief ( $\text{S}^{6+}$ ) zijn.

In dergelijke gevallen is de octetregel ontoereikend om de valentie te voorspellen. Strikt genomen geldt de octetregel slechts voor de eerste drie rijen van het periodiek systeem.

De formule van een verbinding is juist geschreven als de algebraïsche som van de positieve en negatieve valenties gelijk is aan nul (het geheel is immers elektrisch neutraal).

Voorbeelden:

Na Cl	Ca F <sub>2</sub>	Ca S O <sub>4</sub>
+1 -1	+2 2(-1)	+2 +6 4(-2)
0	0	0

Het is erg handig om de valenties van een aantal elementen uit het hoofd te leren. Enkele vuistregels kunnen daarbij behulpzaam zijn:

- elementen uit kolom I A (van het periodiek systeem) zijn éénwaardig positief (Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, ..)
- elementen uit kolom II A zijn tweewaardig positief (Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, ..)
- elementen uit kolom III A zijn meestal driewaardig positief (Al<sup>3+</sup>)
- elementen uit kolom IV A zijn meestal vierwaardig positief (Si<sup>4+</sup>)
- elementen uit kolom VII A zijn meestal éénwaardig negatief (F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, ..)
- zuurstof is vrijwel altijd tweewaardig negatief (O<sup>2-</sup>)
- metalen (links in het periodiek systeem) hebben in principe altijd een positieve valentie.

In chemische formules schrijft men links de positieve ionen (kationen) en rechts de negatieve ionen (anionen). Om de “naam” van een chemische formule te lezen, begint men met de naam van het/de kation(en) gevolgd door de naam van het/de anion(en). De naam van een **éénatomig anion** eindigt op “ide” (zie tabel 3.5).

Men leest volgende eenvoudige formules als:

NaCl	natrium chloride	(mineraalnaam: haliet)
CaF <sub>2</sub>	calcium fluoride	(mineraalnaam: fluoriet)
SnO <sub>2</sub>	tin oxide	(mineraalnaam: cassiteriet)
ZnS	zink sulfide	(mineraalnaam: sfaleriet)
CuFeS <sub>2</sub>	koper ijzer sulfide	(mineraalnaam: chalcopyriet)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	aluminium oxide	(mineraalnaam: korund)

Er bestaan ook **meeratomige anionen**. De atomen zijn binnen een dergelijk ion meestal covalent gebonden, terwijl het geheel als anion fungeert. De naam van een dergelijk meeratomig anion eindigt meestal op “aat” (tabel 3.6).

Volgende eenvoudige formules leest men als:

BaSO <sub>4</sub>	barium sulfaat	(mineraalnaam: bariet)
PbCO <sub>3</sub>	lood carbonaat	(mineraalnaam: cerussiet)
Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	magnesium silicaat	(mineraalnaam: forsteriet)

Men schrijft het meeratomig anion tussen haakjes wanneer het gevolgd wordt door een subscript, zoals in:

$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$  calcium fosfaat fluoride (mineraalnaam: fluorapatiet)

$\text{Pb}_5(\text{VO}_4)_3\text{Cl}$  lood vanadaat chloride (mineraalnaam: vanadinitiet)

tabel 3.5 overzicht van de voornaamste éénatomige anionen, hun valentie en de uitspraak van hun naam voor gebruik in chemische formules

symbool	valentie	naam
F	-1	fluoride
Cl	-1	chloride
Br	-1	bromide
I	-1	jodide
S	-2	sulfide
Se	-2	selenide
Te	-2	telluride
O	-2	oxide (*)

(\*)  $\text{O}^{2-}$  komt eigenlijk niet voor als echt ion, maar vormt bijna altijd covalente bindingen (de valentie is dan echter ook  $-2$ )

tabel 3.6 overzicht van de voornaamste meeratomige anionen, hun valentie en de uitspraak van hun naam voor gebruik in chemische formules

symbool	valentie	naam
$\text{SO}_4$	-2	sulfaat
$\text{NO}_3$	-1	nitraat
$\text{PO}_4$	-3	fosfaat
$\text{AsO}_4$	-3	arsenaat
$\text{VO}_4$	-3	vanadaat
$\text{CO}_3$	-2	carbonaat
$\text{CrO}_4$	-2	chromaat
$\text{MoO}_4$	-2	molybdaat
$\text{WO}_4$	-2	wolframaat
$\text{SiO}_4$	-4	silicaat (*)
$\text{BO}_3$	-3	boraat (**)
OH	-1	hydroxide

(\*) silicaten zijn heel complexe mineralen en  $\text{SiO}_4$  is het meest eenvoudige voorbeeld van een silicaatgroep

(\*\*) boraten zijn heel complexe mineralen en  $\text{BO}_3$  is het meest eenvoudige voorbeeld van een boraatgroep

In enkele gevallen (bij kationen met wisselende valentie) wordt de valentie van het kation bij het uitspreken van de formule expliciet vermeld.

Zoals in:

$\text{FeSO}_4$  ijzer (II) sulfaat (lees: ijzer twee sulfaat)

$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  ijzer (III) sulfaat (lees: ijzer drie sulfaat)

Dat de algebraïsche som van de valenties nul is, kan men gemakkelijk nagaan. Men kan de formules uiteraard ook zodanig lezen dat men ze meteen kan noteren. In de bovenste twee gevallen wordt dat dan 'f e s o 4' respectievelijk 'f e 2 s o 4 drie maal'.

Soms wordt de valentie in de chemische formule aangeduid, zoals in:

$\text{Ca}_3\text{Fe}^{3+}_2(\text{SiO}_4)_3$  calcium ijzer (III) silicaat (mineraalnaam: andradiet)

Men hoeft dan niet te rekenen om de valentie van, in dit geval, ijzer vast te stellen.

Net zoals de meeratomige anionen bestaan er ook enkele meeratomige kationen, namelijk het uranylion,  $\text{UO}_2^{2+}$  en het ammoniumion,  $\text{NH}_4^+$ .

Sommige mineralen kunnen water (kristalwater) bevatten. Wanneer er kristalwater aanwezig is, dan wordt dat altijd achteraan de formule geschreven (voorafgegaan door een punt) en gelezen als hydraat, zoals in:

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  calcium sulfaat hydraat (mineraalnaam: gips)

$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  ijzer fosfaat hydraat (mineraalnaam: vivianiet)

Bij sommige mineralen kunnen kationen elkaar (gedeeltelijk) vervangen (zie 4.9). In dat geval worden de betreffende kationen tussen haakjes geschreven, gescheiden door komma's.

$(\text{Fe}, \text{Mg})_2\text{SiO}_4$  ijzer magnesium silicaat (mineraalnaam: olivijn)

Een gelijkaardige situatie kan ook bij anionen optreden.

$\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH}, \text{F})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  aluminium fosfaat hydroxide fluoride hydraat (mineraalnaam: waveliet)

Bij heel wat silicaten kan gedeeltelijke vervanging van silicium door aluminium optreden (zie 4.9). In dat geval leest men de formule als aluminosilicaat.

$(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al}, \text{Ti})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$   
calcium natrium magnesium ijzer aluminium titanium aluminosilicaat (mineraalnaam: augiet)

In tabel 3.7 volgt een alfabetische lijst van mineralen met hun chemische formules en er wordt aangegeven hoe men de formules (soms op een vereenvoudigde manier) moet uitspreken.

tabel 3.7 alfabetische lijst van mineralen, hun chemische formule en de uitspraak ervan

actinoliet	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ calcium magnesium ijzer silicaat hydroxide
albiet	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ natrium aluminium silicaat
almandien	$\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ ijzer aluminium silicaat
amblygoniet	$(\text{Li,Na})\text{Al}(\text{PO}_4)(\text{F,OH})$ lithium natrium aluminium fosfaat fluoride hydroxide
analcieem	$\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ natrium aluminium silicaat hydraat
anataas	$\text{TiO}_2$ titanium oxide
andalusiet	$\text{Al}_2\text{SiO}_5$ aluminium silicaat
andradiet	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$ calcium ijzer silicaat
anglesiet	$\text{PbSO}_4$ lood sulfaat
ankeriet	$\text{Ca}(\text{Fe,Mg,Mn})(\text{CO}_3)_2$ calcium ijzer magnesium mangaan carbonaat
anorthiet	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ calcium aluminium silicaat
antigoriet	$(\text{Mg,Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ magnesium ijzer silicaat hydroxide
apofylliet	$\text{KCa}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{F,OH}) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ kalium calcium silicaat fluoride hydroxide hydraat
aragoniet	$\text{CaCO}_3$ calcium carbonaat
arseen	As Arseen
arsenopyriet	$\text{FeAsS}$ ijzer arseen sulfide
augiet	$(\text{Ca,Na})(\text{Mg,Fe,Al,Ti})(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$ calcium natrium magnesium ijzer aluminium titanium aluminosilicaat
aurichalciet	$(\text{Zn,Cu})_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6$ zink koper carbonaat hydroxide
auripigment	$\text{As}_2\text{S}_3$ arseen sulfide
autuniet	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 10-12\text{H}_2\text{O}$ calcium uranyl fosfaat hydraat
azuriet	$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ koper carbonaat hydroxide
bariet	$\text{BaSO}_4$ barium sulfaat
beryl	$\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ beryllium aluminium silicaat

biotiet	$K(Mg,Fe)_3(Al,Fe)Si_3O_{10}(OH,F)_2$ kalium magnesium ijzer aluminium ijzer silicaat hydroxide fluoride
borax	$Na_2B_4O_5(OH)_4 \cdot 8H_2O$ natrium boraat hydroxide hydraat
borniet	$Cu_5FeS_4$ koper ijzer sulfide
bournoniet	$PbCuSbS_3$ lood koper antimoon sulfide
brookiet	$TiO_2$ titanium oxide
calciet	$CaCO_3$ calcium carbonaat
cassiteriet	$SnO_2$ tin oxide
celestien	$SrSO_4$ strontium sulfaat
cerussiet	$PbCO_3$ lood carbonaat
chabaziet	$CaAl_2Si_4O_{12} \cdot 6H_2O$ calcium aluminium silicaat hydraat
chalcopyriet	$CuFeS_2$ koper ijzer sulfide
chalcosiet	$Cu_2S$ koper sulfide
chromiet	$FeCr_2O_4$ ijzer chromaat
chrysocolla	$(Cu,Al)_2H_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot nH_2O$ koper aluminium waterstof silicaat hydroxide hydraat
chrysotiel	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ magnesium silicaat hydroxide
cinnaber	$HgS$ kwik sulfide
colemianiet	$Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$ calcium boraat hydraat
cordieriet	$Mg_2Al_4Si_8O_{18}$ magnesium aluminium silicaat
covelliet	$CuS$ koper sulfide
crocoiet	$PbCrO_4$ lood chromaat
cupriet	$Cu_2O$ koper oxide
diamant	$C$ Koolstof
diopsiet	$CaMgSi_2O_6$ calcium magnesium silicaat
dolomiet	$CaMg(CO_3)_2$ calcium magnesium carbonaat



draviet	$\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$ natrium magnesium aluminium boraat silicaat hydroxide
elbait	$\text{Na}(\text{Li},\text{Al})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$ natrium lithium aluminium boraat silicaat hydroxide
energiet	$\text{Cu}_2\text{AsS}_4$ koper arseen sulfide
epidoot	$\text{Ca}_2(\text{Fe},\text{Al})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$ calcium ijzer aluminium silicaat hydroxide
erythrien	$\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ cobalt arsenaat hydraat
fayaliet	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ijzer silicaat
flogopiet	$\text{KMg}_3\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$ kalium magnesium aluminosilicaat hydroxide
fluorapatiet	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ calcium fosfaat fluoride
fluoriet	$\text{CaF}_2$ calcium fluoride
forsteriet	$\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ magnesium silicaat
galeniet	$\text{PbS}$ lood sulfide
gips	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ calcium sulfaat hydraat
goethiet	$\text{FeO}(\text{OH})$ ijzer oxide hydroxide
goud	$\text{Au}$ Goud
grafiet	$\text{C}$ Koolstof
grossulaar	$\text{Ca}_2\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ calcium aluminium silicaat
haliet	$\text{NaCl}$ natrium chloride
hematiet	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ ijzer oxide
hemimorfiet	$\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ zink silicaat hydroxide hydraat
heulandiet	$(\text{Na},\text{Ca})_{2-3}\text{Al}_3(\text{Al},\text{Si})_2\text{Si}_{13}\text{O}_{36} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ natrium calcium aluminium aluminosilicaat hydraat
hydrozinciet	$\text{Zn}_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6$ zink carbonaat hydroxide
ilmeniet	$\text{FeTiO}_3$ ijzer titanaat
jamesoniet	$\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$ lood ijzer antimoon sulfide
kaoliniet	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ aluminium silicaat hydroxide

koper	Cu Koper
korund	$Al_2O_3$ aluminium oxide
kwarts	$SiO_2$ silicium oxide
kyaniet	$Al_2SiO_5$ aluminium silicaat
lepidoliet	$K(Li,Al)_3(Si,Al)_4O_{10}(F,OH)_2$ kalium lithium aluminium aluminosilicaat fluoride hydroxide
leuciet	$KAlSi_3O_8$ kalium aluminium silicaat
magnesiet	$MgCO_3$ magnesium silicaat
magnetiet	$Fe_3O_4$ ijzer oxide
malachiet	$Cu_2(CO_3)(OH)_2$ koper carbonaat hydroxide
manganiet	$MnO(OH)$ mangaan oxide hydroxide
marcasiet	$FeS_2$ ijzer sulfide
millieriet	$NiS$ nikkel sulfide
molybdeniet	$MoS_2$ molybdeen sulfide
muscoviet	$KAl_2(Si,Al)O_{10}(OH,F)_2$ kalium aluminium aluminosilicaat hydroxide fluoride
natroliet	$Na_2Al_2Si_3O_{10} \cdot 2H_2O$ natrium aluminium silicaat hydraat
nefelen	$(Na,K)AlSi_3O_8$ natrium kalium aluminium silicaat
nikkelien	$NiAs$ nikkel arsenide
orthoklaas	$KAlSi_3O_8$ kalium aluminium silicaat
prehniet	$Ca_2Al_2Si_3O_{10}(OH)_2$ calcium aluminium silicaat hydroxide
pyriet	$FeS_2$ ijzer sulfide
pyrolusiet	$MnO_2$ mangaan oxide
pyromorfiet	$Pb_5(PO_4)_3AsO_4Cl$ lood fosfaat arsenaat chloride
pyroop	$Mg_3Al_2(SiO_4)_3$ magnesium aluminium silicaat
pyrrhotiet	$Fe_{(1-x)}S$ (x = 0-0,2) ijzer sulfide

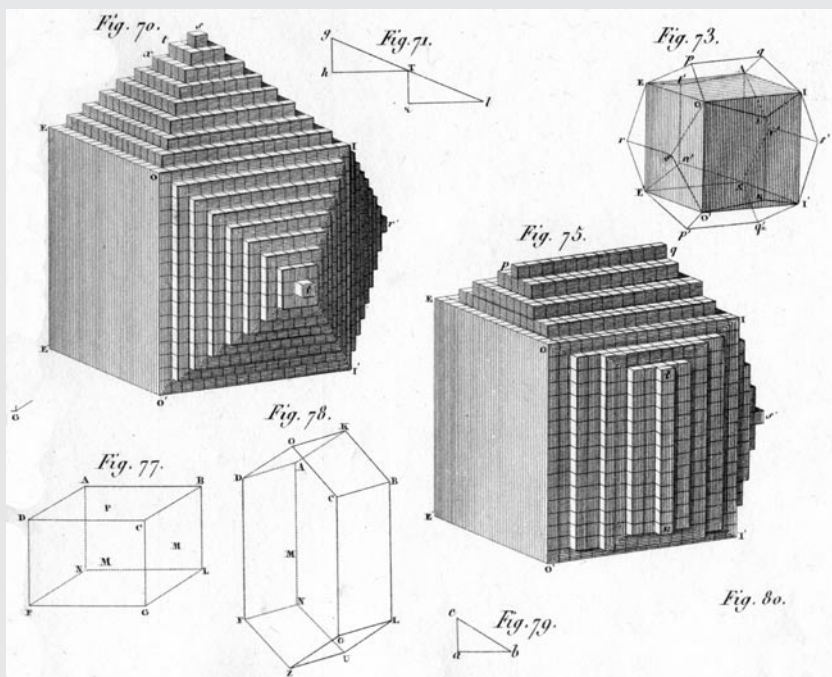
realgar	AsS arseen sulfide
rhodochrosiet	MnCO <sub>3</sub> mangaan carbonaat
rhodoniet	(Mn,Fe,Mg,Ca)SiO <sub>3</sub> mangaan ijzer magnesium calcium silicaat
riebeckiet	Na <sub>2</sub> (Fe,Mg) <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub> natrium ijzer magnesium silicaat hydroxide
rutiel	TiO <sub>2</sub> titanium oxide
scheeliet	CaWO <sub>4</sub> calcium wolframaat
schorl	NaFe <sub>3</sub> Al <sub>6</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> (OH) <sub>4</sub> natrium ijzer aluminium boraat silicaat hydroxide
serpentijn	(Mg,Fe) <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> magnesium ijzer silicaat hydroxide
sfaleriet	(Zn,Fe)S zink ijzer sulfide
sideriet	FeCO <sub>3</sub> ijzer carbonaat
sillimaniet	Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> aluminium silicaat
skutterudiet	CoAs <sub>2-3</sub> cobalt arsenide
smithsoniet	ZnCO <sub>3</sub> zink carbonaat
sodaliet	Na <sub>8</sub> Al <sub>6</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>24</sub> Cl <sub>2</sub> natrium aluminium silicaat chloride
spessartien	Mn <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> mangaan aluminium silicaat
spinel	MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> magnesium aluminium oxide
spodumeen	LiAlSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub> lithium aluminium silicaat
stauroliet	(Fe,Mg,Zn) <sub>2</sub> Al <sub>9</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub> ijzer magnesium zink aluminium aluminosilicaat hydroxide
stibniet	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub> antimoon sulfide
stilbiet	NaCa <sub>2</sub> Al <sub>5</sub> Si <sub>13</sub> O <sub>36</sub> .14H <sub>2</sub> O natrium calcium aluminium silicaat hydraat
strontianiet	SrCO <sub>3</sub> strontium carbonaat
sylviet	KCl kalium chloride
talk	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> magnesium silicaat hydroxide
tennantiet	(Cu,Fe) <sub>12</sub> As <sub>4</sub> S <sub>13</sub> koper ijzer arseen sulfide

tetraëdriet	$(\text{Cu,Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ koper ijzer antimoon sulfide
titaniet	$\text{CaTiSiO}_5$ calcium titanium silicaat
topaas	$\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F,OH})_2$ aluminium silicaat fluoride hydroxide
torberriet	$\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8-12\text{H}_2\text{O}$ koper uranyl fosfaat hydraat
tremoliet	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ calcium magnesium ijzer silicaat hydroxide
turkoois	$\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ koper aluminium fosfaat hydroxide hydraat
ulxiet	$\text{NaCaB}_5\text{O}_6(\text{OH})_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ natrium calcium boraat hydroxide hydraat
uraniniet	$\text{UO}_2$ uranium oxide
uvaroviet	$\text{Ca}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$ calcium chroom silicaat
vanadiniet	$\text{Pb}_5(\text{VO}_4)_3\text{Cl}$ lood vanadaat chloride
vesuvianiet	$\text{Ca}_{10}\text{Mg}_2\text{Al}_4(\text{SiO}_4)_5(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{OH})_4$ calcium magnesium aluminium silicaat hydroxide
vivianiet	$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ijzer fosfaat hydraat
wavelliet	$\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH,F})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ aluminium fosfaat hydroxide fluoride hydraat
witheriet	$\text{BaCO}_3$ barium carbonaat
wolframiet	$(\text{Fe,Mn})\text{WO}_4$ ijzer mangaan wolframaat
wollastoniet	$\text{CaSiO}_3$ calcium silicaat
wulfeniet	$\text{PbMoO}_4$ lood molybdaat
zilver	$\text{Ag}$ Zilver
zirkoon	$\text{ZrSiO}_4$ zirkonium silicaat
zoisiet	$\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$ calcium aluminium silicaat hydroxide
zwavel	$\text{S}_8$ Zwavel



## DE STRUCTUUR VAN KRISTALLEN

Vorig hoofdstuk was een eerste kennismaking met de bouwstenen van de materie: de atomen. Deze atomen kunnen zich verenigen tot chemische verbindingen waarvan men de samenstelling kan weergeven door een chemische formule. De chemische samenstelling van een mineraal is van fundamenteel belang en een aantal eigenschappen hangen ervan af. De meeste eigenschappen van mineralen zijn niet uitsluitend afhankelijk van de chemische samenstelling, maar tevens van de schikking van atomen, ionen of moleculen in het kristal en van de krachten die ze binden. In dit hoofdstuk zal worden nagegaan hoe atomen zich kunnen verenigen en groeperen tot kristallijne materie en zal aandacht worden besteed aan de krachten (chemische bindingen) die atomen, ionen en moleculen in een kristal samenhouden. Verder zal worden aangetoond dat de atomen in een kristal gerangschikt zijn volgens een zich in de ruimte herhalend driedimensionaal patroon.



OVER DE OPBOUW VAN KRISTALLEN UIT „MOLÉCULES INTÉGRANTES”  
*René Just Haüy, Traité de Cristallographie, Paris 1822.*

## 4.1 GAS, VLOEIBAAR, VAST

Op grond van fysische kenmerken zoals samendrukbaarheid en vormvastheid kan men de materie in een drietal categorieën indelen:

- gassen
- vloeistoffen
- vaste stoffen

Men spreekt ook van de drie **aggregatietoestanden** van de materie. Om deze drie aggregatietoestanden te illustreren (fig. 4.1) neemt men een ingebeeld materiaal dat uit één soort atomen bestaan (op de tekening voorgesteld door grijze bolletjes).

In de **gasvormige toestand** vliegen de materiedeeltjes met grote snelheden door de ruimte (fig. 4.1a). Hoe hoger de temperatuur, hoe groter de snelheid van die deeltjes. De deeltjes raken elkaar niet, behalve wanneer ze tegen elkaar aanbotsen. In een gas is slechts een kleine hoeveelheid van het totale volume ingenomen door materiedeeltjes. Een gas heeft geen vaste vorm noch een vast volume; het neemt de vorm aan van de ruimte waarin het zich bevindt en men kan het gemakkelijk samendrukken of laten expanderen.

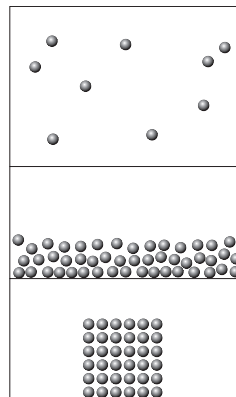
Wanneer men een gas afkoelt, dan neemt de snelheid van de materiedeeltjes waaruit het gas bestaat af. Bij voldoende afkoeling gaat het over in de **vloeibare toestand** (fig. 4.1b). In een vloeistof zijn de betrokken materiedeeltjes met elkaar in contact. Hun energie is echter voldoende groot om langs elkaar heen te schuiven en voortdurend van plaats te verwisselen. Een vloeistof heeft wel een bepaald volume (moeilijk samendrukbaar) maar neemt net zoals een gas de vorm aan van de ruimte waarin ze zich bevindt.

fig. 4.1 aggregatietoestanden van de materie

a: gasvormige toestand  
de materiedeeltjes vliegen  
met grote snelheid door de ruimte

b: vloeibare toestand  
de materiedeeltjes schuiven langs elkaar heen  
en verwisselen voortdurend van plaats

c: kristallijne toestand  
de materiedeeltjes rangschikken zich volgens  
een welbepaald regelmatig ruimtelijk patroon





Wanneer men de vloeistof nog verder afkoelt, dan wordt op een gegeven moment het smeltpunt bereikt. Er vindt nu een overgang plaats van de vloeibare naar de **vaste toestand**. Binnen de vaste stoffen zijn er twee mogelijkheden:

1. de deeltjes waaruit de vaste stof bestaat bevinden zich nog steeds op wanordelijke posities ten opzichte van elkaar, net zoals dat in de vloeibare fase het geval was. Men spreekt dan van een **amorfe** vaste stof. Dergelijke amorfe stoffen worden ook wel eens als vaste vloeistoffen beschouwd. Glas is een voorbeeld van een amorf materiaal.
2. de deeltjes rangschikken zich ordelijk op welbepaalde plaatsen in de ruimte, volgens een welbepaald regelmatig ruimtelijk patroon. Dit noemt men **kristallijne vaste stoffen** (fig. 4.1c). De bouwstenen van het kristal (=de atomen) zijn in wezen in rust; ze voeren nog slechts lichte trillingen uit rond hun evenwichtsposities. Vaste stoffen hebben een bepaald volume (haast niet samendrukbaar) en een vaste vorm.

Mineralen zijn, op enkele uitzonderingen na, kristallijne vaste stoffen en de eigenschappen van mineralen worden in hoge mate door die kristallijne natuur bepaald.

Dat de atomen, ionen of moleculen in een kristal zich op welbepaalde plaatsen rangschikken heeft te maken met de krachten die deze atomen, ionen of moleculen bij elkaar houden. Deze krachten (chemische bindingen), die van elektrische aard zijn, kan men onderverdelen in een viertal bindingstypes:

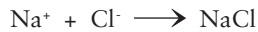
- ionbinding
- covalente binding
- van der Waals-binding
- metaalbinding

Deze verschillende bindingstypes en hun effect op de kristalstructuur worden in de volgende paragrafen beschreven.

## 4.2 DE IONBINDING

In vorig hoofdstuk werd reeds verteld dat atomen een sterke neiging vertonen om een **stabiele elektronenconfiguratie** te verkrijgen door elektronen op te nemen of af te staan. Op die manier worden ze elektrisch geladen en een dergelijk geladen atoom noemt men een **ion**. Is het ion **positief geladen** dan spreekt men van een **kation** terwijl men een **negatief geladen** ion een **anion** noemt.

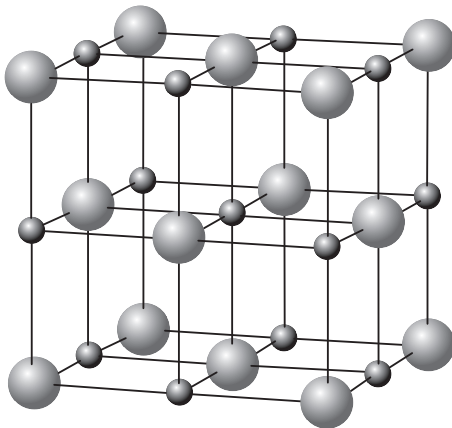
Tegengesteld geladen ionen trekken elkaar aan om een chemische binding, **ionbinding**, te vormen. In vorig hoofdstuk werd reeds het voorbeeld aangehaald van NaCl (natrium chloride)



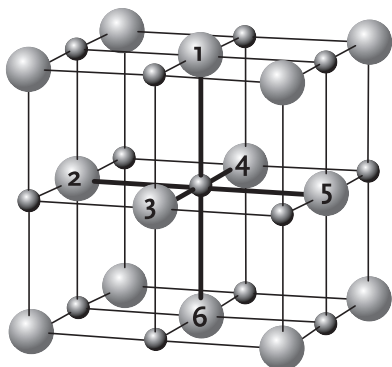
Heel veel natriumionen kunnen zich met even veel chloorionen verenigen tot een natriumchloride (haliet) kristal. Figuur 4.2 is een heel sterk (ongeveer 100 miljoen maal) vergrote schematische voorstelling van een heel klein stukje uit een dergelijk NaCl-kristal.

In het kristal komen beide elementen in geïoniseerde toestand voor en de structuur bestaat afwisselend uit natriumionen (voorgesteld door de kleine bolletjes) en chloorionen (grote bolletjes). In werkelijkheid zijn de natriumionen ook kleiner dan de chloorionen (zie verder tabel 4.1). Van NaCl-moleculen is er geen sprake in het kristal. In het kristal wordt elk natriumion omringd door zes chloorionen (fig. 4.2.b aangeduid met vette lijnen). Elk natriumion is dus gebonden aan zes chloorionen en elk chloorion is eveneens aan zes natriumionen gebonden. De aantrekkingskracht tussen de ongelijknamige ladingen houdt de ionen in het kristal bijeen en zorgt voor de stevigheid van het kristal.

fig. 4.2 schematische voorstelling van de NaCl structuur

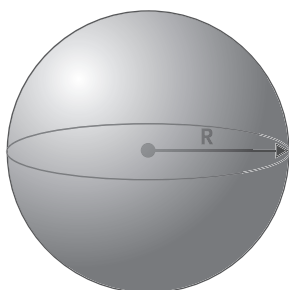


a: de structuur bestaat afwisselend uit natriumionen (kleine bolletjes) en chloorionen (grote bolletjes)



*b: in het kristal wordt elk natriumion op een gelijke afstand omringd door zes chloorionen*

Een **ion** kan men zich voorstellen als bestaande uit een **compacte kern**, omringd door een eerder **ijle elektronenwolk**. De dichtheid van de elektronenwolk varieert met de afstand tot de kern om tenslotte op een zekere afstand (het oppervlak van de elektronenwolk) nul te worden. In principe kan men een ion beschrijven als een bol met een bepaalde straal  $R$  (fig.4.3);  $R$  is dan de **afstand** van het **centrum** van de bol (de kern) tot het **oppervlak** van de bol.



*fig. 4.3 schematische voorstelling van een ion*

*men kan een ion beschrijven als een bol;  
de ionstraal  $R$  is dan de afstand van de kern tot het oppervlak van het ion*

Wil men de **straal van een ion in een kristal** bepalen, dan moet men rekening houden met de **interactie met de andere ionen in het kristal**. Tussen elk paar tegengesteld geladen ionen bestaan er immers elektrostatische aantrekkingskrachten. Wanneer ionen elkaar onder invloed van deze krachten naderen, dan beginnen er eveneens afstotende krachten in werking te treden. Deze krachten komen tot stand door de interactie tussen de twee elektronenwolken en door de afstoting tussen de twee kernen. Onder invloed van die krachten naderen beide ionen elkaar tot een **evenwichtsafstand**. Deze afstand, van kern tot kern gemeten, kan men beschrijven als de som van de ionstralen,  $R_1 + R_2$  (fig.4.4).

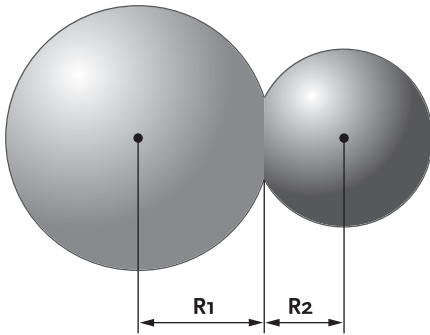


fig. 4.4 ionen naderen elkaar tot een evenwichtsafstand  
deze afstand, van kern tot kern gemeten, is op te vatten als de som van de ionstralen  $R_1 + R_2$

Waarden van ionstralen (die afgeleid worden uit x-stralendiffraktiemetingen aan kristallen) van de meest voorkomende ionen zijn weergegeven in tabel 4.1. Wanneer men deze waarden nader beschouwt, dan valt het op dat **kationen een relatief kleine ionstraal** hebben (bij de overgrote meerderheid kleiner dan 0,1 nm) in vergelijking tot de anionen. Deze **grote anionen** zullen daarom in sterke mate de kristalstructuur van een ionkristal bepalen.

tabel 4.1 ionstralen van de meest voorkomende ionen  
gerangschikt naar toenemend atoomnummer

atoomnummer	ion	ionstraal in nm
3	Li <sup>+</sup>	0,068
4	Be <sup>2+</sup>	0,035
5	B <sup>3+</sup>	0,023
6	C <sup>4+</sup>	0,015
8	O <sup>2-</sup>	0,140
9	F <sup>-</sup>	0,133
11	Na <sup>+</sup>	0,097
12	Mg <sup>2+</sup>	0,066
13	Al <sup>3+</sup>	0,051
14	Si <sup>4+</sup>	0,026
15	P <sup>5+</sup>	0,035
16	S <sup>6+</sup>	0,030
	S <sup>2-</sup>	0,184
17	Cl <sup>-</sup>	0,181
19	K <sup>+</sup>	0,133
20	Ca <sup>2+</sup>	0,100
22	Ti <sup>4+</sup>	0,068
23	V <sup>3+</sup>	0,074
	V <sup>5+</sup>	0,059
24	Cr <sup>3+</sup>	0,062

25	Mn <sup>2+</sup>	0,080
	Mn <sup>4+</sup>	0,060
26	Fe <sup>2+</sup>	0,074
	Fe <sup>3+</sup>	0,064
27	Co <sup>2+</sup>	0,072
28	Ni <sup>2+</sup>	0,069
29	Cu <sup>+</sup>	0,096
	Cu <sup>2+</sup>	0,073
30	Zn <sup>2+</sup>	0,074
38	Sr <sup>2+</sup>	0,112
40	Zr <sup>4+</sup>	0,079
47	Ag <sup>+</sup>	0,126
50	Sn <sup>4+</sup>	0,071
52	Te <sup>2-</sup>	0,221
56	Ba <sup>2+</sup>	0,134
74	W <sup>6+</sup>	0,062
80	Hg <sup>2+</sup>	0,110
82	Pb <sup>2+</sup>	0,120
92	U <sup>4+</sup>	0,097

Aangezien de statische lading verspreid is over het gehele oppervlak van een ion is de binding tussen kationen en anionen ruimtelijk gezien een niet gerichte binding (dit in tegenstelling tot de covalente binding; zie verder paragraaf 4.3). In een kristalstructuur tracht elk ion zich door zoveel mogelijk ionen van tegengesteld teken te omringen (te coördineren) als door hun afmetingen toelaatbaar is. De **gecoördineerde ionen omringen het centrale, coördinerende ion** zodanig dat hun middelpunten op de hoekpunten van een polyeder liggen. In een stabiele kristalstructuur ligt elk **kation** in het **centrum** van een **coördinatiepolyeder van anionen**. Het **aantal anionen** in die polyeder noemt men het **coördinatiegetal van het kation** met betrekking tot het gegeven anion. Het coördinatiegetal hangt af van de relatieve afmeting van kation en anion. Analog kan men elk anion beschouwen als het centrum van een coördinatiepolyeder gevormd door kationen.

In de kristalstructuur van haliet bijvoorbeeld, wordt elk natriumion omringd door zes chloorionen (zie fig. 4.2 b) die zich op de hoekpunten bevinden van een octaëder met het Na<sup>+</sup>-ion als middelpunt. In deze structuur heeft natrium een coördinatiegetal gelijk aan 6 en de coördinatiepolyeder is een octaëder (fig.4.5).

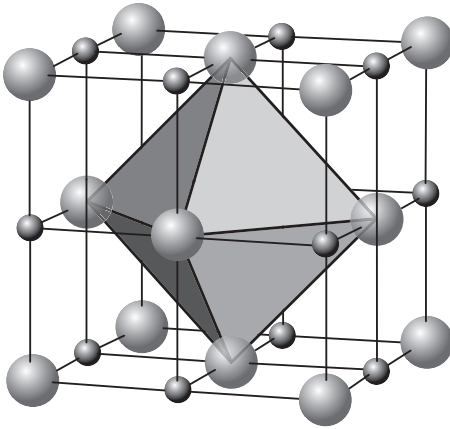


fig. 4.5 coördinatiepolyeder van chloorionen in NaCl  
in de kristalstructuur van haliet wordt elk natriumion omringd door zes chloorionen die zich op de hoekpunten bevinden van een octaëder met het Na<sup>+</sup>-ion als middelpunt.

Om de kristalstructuur van een mineraal voor te stellen maakt men meestal gebruik van tekeningen zoals figuur 4.2. Dergelijke figuren geven meteen een inzicht in de ruimtelijke posities die de ionen in de structuur innemen. De coördinatie van een ion is uit dergelijke tekeningen goed af te leiden.

Het enige nadeel is dat deze **bol-en-staafjes-modellen** geen getrouw beeld geven van de relatieve afmetingen van de ionen en van hun stapeling. Om deze kenmerken goed te doen uitkomen wordt dan gebruik gemaakt van een **stapelingsmodel** zoals dat voor haliet in figuur 4.6 is afgebeeld. In deze figuur stellen de kleine bolletjes de Na<sup>+</sup>-ionen voor en de grote bolletjes de Cl<sup>-</sup>-ionen. In dergelijke afbeeldingen komt de verhouding van de straal van de bolletjes overeen met de verhouding van de ionstralen.

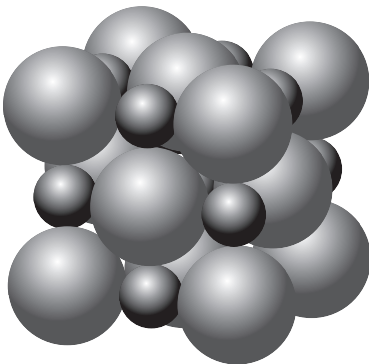


fig. 4.6 stapelingsmodel van NaCl  
de kleine bolletjes stellen de Na<sup>+</sup>-ionen voor en de grote bolletjes de Cl<sup>-</sup>-ionen  
de relatieve afmetingen van de ionen komen overeen met de waarden van de ionstralen

In een kristal tracht elk kation zich door zoveel mogelijk anionen te omringen. Hoeveel anionen zich rond een kation kunnen schikken, m.a.w. het coördinatiegetal en de geometrie van de coördinatiepolyeder, is afhankelijk van de relatieve afmetingen van de betrokken ionen. De **relatieve afmeting van ionen** wordt meestal uitgedrukt in de **stralenverhouding**;  $R_K / R_A$ , waarin  $R_K$  de straal is van het kation en  $R_A$  de straal is van het anion.

Wanneer de kationen en anionen in een kristal dezelfde afmetingen zouden hebben, dan is hun stralenverhouding ( $R_K/R_A$ ) gelijk aan 1. In dit geval kan het kation door maximaal 12 anionen omringd worden. Dergelijke 12-coördinatie is in ionkristallen eerder zeldzaam (komt voor bij sommige oxiden).

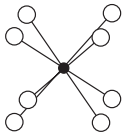
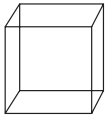
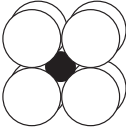
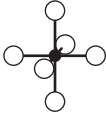

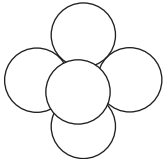

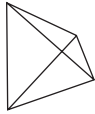
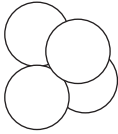

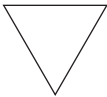
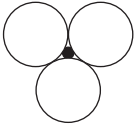
Wanneer het coördinerende kation iets kleiner is dan de anionen, dan wordt de 12-coördinatie onstabiel. De ruimte wordt voor het kation te groot, zodat het alle anionen niet meer tegelijk kan raken. In plaats van 12, kunnen er nu slechts 8 anionen het kation op een stabiele manier omringen. Bij nog kleinere stralenverhoudingen kan het kation nog slechts 6, 4 of 3 anionen coördineren.

Zijn de anionen nog groter ten opzichte van het kation, dan krijgt men de lineaire coördinatie of 2-coördinatie die overigens erg zeldzaam is in ionisch gebonden kristallen.

Tabel 4.2 geeft een overzicht van de meest voorkomende coördinatiepolyeders en de minimale stralenverhouding ( $R_K/R_A$ ) waar de betreffende coördinatie nog stabiel is. De in de afbeeldingen getoonde coördinatiepolyeders zijn geïdealiseerde voorstellingen want het komt voor dat de coördinatiepolyeders min of meer vervormd zijn.

Als het bindingsmechanisme niet zuiver ionisch is (zie 4.3), dan zijn de stralenverhoudingen geen veilig criterium meer om het coördinatiegetal te bepalen. Zo wordt in kristallen met covalente bindingen, die sterk gelokaliseerd zijn, de coördinatie niet zozeer bepaald door de afmetingen van de atomen, maar door de ruimtelijke verdeling van de bindingskrachten.

tabel 4.2 coördinatiepolyeders voor kationen, hun coördinatiegetal en de minimale stralenverhouding ( $R_K/R_A$ ) bij dewelke de coördinatie nog stabiel is.

minimum $R_K/R_A$	coördinatiepolyeder van het kation		
coördinatiegetal	bol-staafjes-model	polyedermodel	stapelmodel
0,732 8			
0,414 6			
0,225 4			
0,155 3			

nota: octaëder *octa* (Grieks voor 8), *hedra* (Grieks voor vlak)  
tetraëder *tetra* (Grieks voor 4)



### 4.3 DE COVALENTE BINDING

In vorig hoofdstuk werd getoond dat bij de vorming van NaCl, ieder chlooratoom door opname van 1 elektron een met 8 elektronen gevulde buitenste schil kreeg, terwijl elk natriumatoom door afgifte van 1 elektron eveneens een stabiele edelgasconfiguratie met 8 elektronen in de buitenste schil kon bereiken. In dat geval was het erg duidelijk dat het natrium zijn elektron volledig aan chloor kwijtraakte.

Wanneer echter twee chlooratomen zich met elkaar verbinden (ter vorming van Cl<sub>2</sub> wat niets anders is dan chloorgas), dan hebben beide atomen een even sterke neiging om een elektron aan te trekken. Op die manier vormt zich dan een **gemeenschappelijk elektronenpaar**. Dit wil zeggen dat de elektronen die bij de binding betrokken zijn tot beide atomen behoren. Dit mechanisme voor de vorming van een covalente binding werd rond 1916 voorgesteld door de Amerikaan G.N. Lewis (1875-1946).

In het geval van chloor met slechts 1 vrije plaats in de buitenste schil, is de binding met 1 ander chlooratoom voldoende om een stabiele elektronenconfiguratie te verkrijgen. Sommige atomen hebben echter 2, 3 of 4 vacante plaatsen in hun buitenste schil en dergelijke atomen kunnen zich via covalente bindingen met meerdere atomen verenigen. Een andere mogelijkheid is dat een atoom meer dan 1 elektron voor de binding met één ander atoom ter beschikking stelt. Afhankelijk van het aantal gemeenschappelijk gestelde elektronen spreekt men dan van een dubbele binding of een drievoudige binding.

In een ionkristal hangt de coördinatie van een ion af van de relatieve afmetingen van de betrokken ionen en is dus een louter geometrische kwestie. In een covalent gebonden kristal ligt de zaak helemaal anders. Aangezien de bindingskrachten sterk gelokaliseerd zijn in de omgeving van het gemeenschappelijk elektronenpaar, is deze **binding sterk ruimtelijk gericht**. De coördinatie is dus afhankelijk van het aantal bindingen dat een atoom met andere atomen kan aangaan en van de ruimtelijke ligging van die bindingen. Verder dient nog te worden vermeld dat covalente bindingen krachtiger zijn dan ionbindingen.

Zowel de ionbinding als de covalente binding zijn in feite extreme gevallen. Men heeft vastgesteld dat in vele ionbindingen de elektronen niet altijd volledig van het ene naar het andere atoom overgaan. Eveneens kan een gemeenschappelijk elektron in een covalente binding in meer of mindere mate tot één van de betrokken atomen behoren. Het is inderdaad zo dat elk atoom een min of meer sterke neiging bezit om elektronen naar zich toe te trekken. Een maat voor die neiging is de **elektronegativiteit** van het atoom; hoe groter de elektronegativiteit, hoe sterker de kracht waarmee het atoom elektronen naar zich toe trekt. Tabel 4.3 geeft een overzicht van de elektronegativiteit van de voornaamste elementen.

Een maat voor het covalente of ionisch karakter van een binding is het verschil in elektronegativiteiten van de betrokken atomen. Des te groter het verschil in elektronegativiteiten tussen de twee elementen, des te sterker is het ionisch karakter van hun binding.

In figuur 4.7 wordt het % ionisch karakter van een binding uitgezet in functie van het elektronegativiteitsverschil. Bij een elektronegativiteitsverschil van ongeveer 2.1 is een binding voor 50% ionisch. Is het verschil groter, dan heeft men met een binding te maken die voornamelijk ionisch van karakter is. Bij lagere verschillen is de binding uiteraard eerder covalent van karakter.

*voorbeeld:*

In  $\text{CaF}_2$  is het elektronegativiteitsverschil tussen fluor (4,0) en calcium (1,0) gelijk aan 3,0; de bindingen in calciumfluoride zijn dus uitgesproken ionisch van karakter (80% ionisch karakter).

De binding tussen waterstof (2,1) en zuurstof (3,5) in  $\text{H}_2\text{O}$  (water) is duidelijk covalent; het elektronegativiteitsverschil is 1,4 en het % ionisch karakter slechts ongeveer 30.

tabel 4.3 overzicht van de elektronegativiteit van de voornaamste elementen

Li 1,0	Be 1,5	B 2,0											C 2,5	N 3,0	O 3,5	F 4,0
Na 0,9	Mg 1,2	Al 1,5											Si 1,8	P 2,1	S 2,5	Cl 3,0
K 0,8	Ca 1,0	Sc 1,3	Ti 1,5	V 1,6	Cr 1,6	Mn 1,5	Fe 1,8	Co 1,8	Ni 1,8	Cu 1,9	Zn 1,6	Ga 1,6	Ge 1,8	As 2,0	Se 2,4	Br 2,8
Rb 0,8	Sr 1,0	Y 1,2	Zr 1,4	Nb 1,6	Mo 1,8	Tc 1,9	Ru 2,2	Rh 2,2	Pd 2,2	Ag 1,9	Cd 1,7	In 1,7	Sn 1,8	Sb 1,9	Te 2,1	I 2,5
Cs 0,7	Ba 0,9	La 1,1	Hf 1,3	Ta 1,5	W 1,7	Re 1,9	Os 2,2	Ir 2,2	Pt 2,2	Au 2,4	Hg 1,9	Tl 1,8	Pb 1,8	Bi 1,9	Po 2,0	At 2,2
Fr 0,7	Ra 0,9	Ac 1,1	Th 1,3	Pa 1,5	U 1,7	Np 1,3										

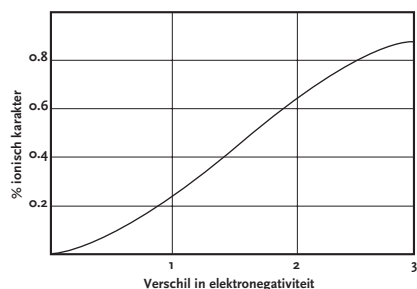


fig. 4.7 het % ionisch karakter van een binding in functie van het verschil in elektronegativiteit van de bij de binding betrokken atomen

Hoewel het procent ionisch karakter slechts een vrij arbitrair en eerder kwalitatief begrip is, geeft het toch enige informatie over de aard van de binding.

Covalent gebonden stoffen zijn meestal vloeistoffen of gassen en het merendeel ervan behoort tot het domein van de koolstofchemie (vroeger ook organische chemie genoemd). Het aantal mineralen waarin **uitsluitend covalente bindingen** voorkomen is vrij beperkt. Het mooiste voorbeeld is diamant. Dit mineraal bestaat uit koolstofatomen die door covalente bindingen bijeen worden gehouden (fig. 4.8).

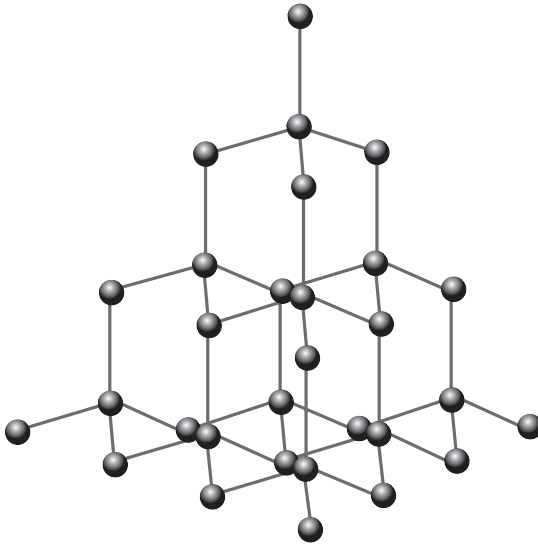


fig. 4.8 de kristalstructuur van diamant

ieder koolstofatoom heeft vier naaste 'buren' met dewelke het via covalente bindingen is verbonden

Ieder koolstofatoom heeft vier naaste 'buren' waarmee het via covalente bindingen is verbonden. Deze bindingen (in fig. 4.8 met staafjes aangeduid) zijn ruimtelijk gericht volgens de hoekpunten van een regelmatige tetraëder, m.a.w. ieder koolstofatoom bevindt zich in het centrum van een regelmatige tetraëder met telkens een koolstofatoom op elk van de vier hoekpunten.

Naast de weinige mineralen met uitsluitend covalente bindingen, zijn er heel wat **ionkristallen waarin ook covalente bindingen voorkomen**. Dit is het geval wanneer in het kristal meeratomige anionen (bijvoorbeeld: sulfaat  $\text{SO}_4^{2-}$ , carbonaat  $\text{CO}_3^{2-}$ ) aanwezig zijn. In een dergelijk ion zijn de atomen dan covalent gebonden, terwijl het geheel als anion fungeert.

Zo bestaat het carbonaat uit een koolstofatoom dat omringd is door drie zuurstofatomen die zich op de hoekpunten van een regelmatige driehoek bevinden (fig 4.9). De zuurstofatomen zijn covalent gebonden aan het koolstofatoom terwijl de gehele  $\text{CO}_3$ -groep in een kristalstructuur als anion fungeert.

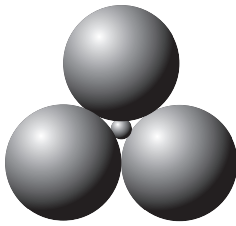


fig 4.9 carbonaation

het centrale koolstofatoom is covalent gebonden met de drie zuurstofatomen maar in een kristalstructuur fungeert de gehele  $\text{CO}_3$ -groep als anion

Een laatste groep kristallen waarin covalente bindingen voorkomen zijn de **molecuulkristallen**. In dergelijke kristallen komen moleculen voor binnen de welke de atomen covalent gebonden zijn terwijl de moleculen zelf door zwakke van der Waals-krachten worden bijeengehouden.

Zwavel is zo een voorbeeld; het bestaat uit  $\text{S}_8$ -moleculen waarbinnen covalente bindingen optreden terwijl in een zwavelkristal deze moleculen door van der Waals-krachten worden bijeengehouden.

#### 4.4 DE VAN DER WAALS-BINDING

Wanneer men de edelgassen met hun zeer stabiele buitenste elektronenschil beschouwt, dan ziet men geen enkele reden waarom zij zich met elkaar zouden verbinden. Nochtans kunnen de edelgassen bij zeer lage temperaturen kristallijn zijn. De edelgasatomen worden dan bij elkaar gehouden door **van der Waals-krachten**. Genoemd naar de Nederlander Diderik **van der Waals** (1837-1923) die reeds in 1873 het bestaan van een tussen alle atomen en moleculen werkzame, aantrekkende kracht postuleerde.

Moleculen zoals  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{S}_8$  kunnen zich eveneens door van der Waals-krachten verenigen. In dergelijke **molecuulkristallen** zijn de krachten binnen de moleculen van covalente aard terwijl de moleculen onderling door van der Waals-krachten bij elkaar gehouden worden.

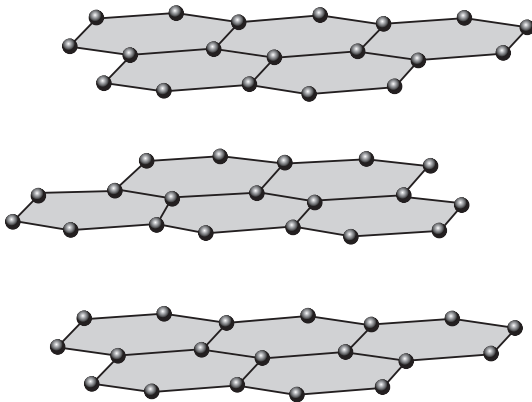
Net zoals bij de ionbinding en de covalente binding berusten de van der Waals-krachten op de aantrekking tussen tegengestelde elektrische ladingen. Hoewel de edelgasatomen en de genoemde moleculen elektrisch neutraal zijn, kunnen er toch elektrische ladingen optreden. Deze ladingen ontstaan wanneer de elektronen op een gegeven moment niet symmetrisch verdeeld zijn rond de atoomkern, zodat het atoom, respectievelijk molecule, zich als dipool met positieve en negatieve kanten voordoet. Wanneer zich op een dergelijk moment een ander atoom of molecule in de nabijheid bevindt, dan wordt hierin eveneens een dipool geïnduceerd.

van der Waals-krachten zijn niets anders dan **elektrostatische krachten** tussen dergelijke **dipolen**. Aangezien de elektronen constant in beweging zijn, verandert de ladingsverdeling in atomen en moleculen voortdurend. Deze aantrekkingskrachten zijn daarom vrij zwak.

Er zijn slechts een klein aantal mineralen waarvan de kristalstructuur bestaat uit moleculen die uitsluitend door van der Waals-krachten worden gebonden. Typische voorbeelden zijn: zwavel ( $S_8$ ) en realgar ( $As_4S_4$  maar meestal als  $AsS$  geschreven).

Toch treden van der Waals-krachten op tussen alle atomen in alle mogelijke kristallen, maar in combinatie met de veel sterkere ionbinding of covalente bindingen wordt hun invloed meestal niet onderkend.

Een voorbeeld waar van der Waals-krachten wel een duidelijke rol spelen is grafiet (fig.4.10). Net zoals diamant bestaat grafiet uit koolstof, maar beide mineralen hebben verschillende kristalstructuren. Het is opgebouwd uit lagen waarbinnen de koolstofatomen via covalente bindingen met elkaar verbonden zijn. De lagen zelf worden door van der Waals-krachten bij elkaar gehouden. Omdat deze van der Waals-krachten eerder zwak zijn, kan men de lagen heel gemakkelijk van elkaar halen; een kenmerk dat de perfecte splijting (zie 7.4) verklaart.



*fig 4.10 kristalstructuur van grafiet  
de structuur is opgebouwd uit lagen koolstofatomen die via covalente bindingen met elkaar zijn verbonden. De lagen zelf worden door van der Waals-krachten bijeen gehouden.*

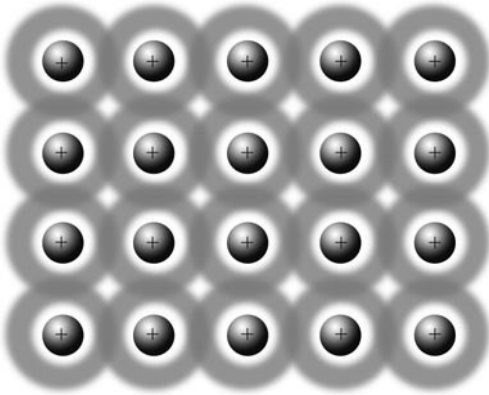
## 4.5 DE METAALBINDING

Metalen en legeringen onderscheiden zich van andere vaste stoffen door kenmerken zoals **hoge elektrische geleidbaarheid**, **metallisch glanzend uiterlijk**, **smeedbaarheid** en **ductiliteit**.

Elementen die een typisch **metaalkarakter** hebben, vindt men **links in de tabel van Mendeleev**. Atomen van deze elementen hebben slechts een klein aantal elektronen in hun buitenste schil. Dit is het geval voor de elementen in de groepen I, II en III, de overgangselementen (B-kolommen) en de zeldzame aarden. Het zijn allemaal elementen met een kleine elektronegativiteit die **gemakkelijk hun buitenste elektron(en) afstaan** om positieve ionen te vormen.

In het metaal kunnen deze elektronen zich vrij bewegen zonder dat ze tot één bepaald atoom behoren. Een metaal kan men daarom opvatten als bestaande uit positieve ionen die als het ware zijn “ondergedompeld in een zee van elektronen” (men spreekt ook wel van elektronengas). (fig.4.11). Een metaal kan men daarom gemakkelijk vervormen zonder bindingen te verbreken. De vrij bewegende elektronen verklaren overigens de sterke elektrische geleidbaarheid van metalen.

Hoewel deze theorie, die rond 1900 door Drude en Lorentz werd ontwikkeld, reeds lang heeft plaats gemaakt voor meer gesofistikeerde beschouwingen over de metaalbinding, is ze voor een eerste kennismaking voldoende.



*fig 4.11 metaalstructuur*

*In een metaal kunnen de elektronen zich vrij bewegen zonder dat ze tot één bepaald atoom behoren. De positieve metaalionen zijn als het ware “ondergedompeld in een zee van elektronen”*

## 4.6 KRISTALSTRUCTUUR EN KRISTALROOSTER

De geordende structuur van kristallen is een direct gevolg van de bindingskrachten tussen de atomen en van de relatieve afmetingen van de atomen waaruit het kristal is opgebouwd. Kristallijne materie onderscheidt zich van amorse (niet-kristallijne) materie door die geordende structuur. Per definitie kan men zeggen dat een **kristal** bestaat uit **atomen** die zijn **gerangschikt** volgens een **zich in de ruimte herhalend driedimensionaal patroon**.

Dit driedimensionaal patroon waarvan in de definitie sprake is, kan bestaan uit één enkele atoomsoort, een groep atomen of ionen, een molecule enz. Het voornaamste kenmerk van het kristal is de periodiciteit of regelmatigheid van dit patroon.

Een schoolvoorbeeld van een kristalstructuur, de structuur van NaCl (haliet) werd reeds eerder getoond (fig 4.2). In paragraaf 4.2 werd verklaard dat dit kristal bestaat uit positieve en negatieve ionen die door elektrostatische aantrekkingskrachten bijeen worden gehouden. Hoe deze structuur in elkaar zit, heeft te maken met een uitbalanceren tussen aantrekkings- en afstotingskrachten waarbij tevens de relatieve afmetingen van de betrokken ionen een rol spelen. In het geval van de halietstructuur ziet men dat ze bestaat uit een geordend patroon van ionen. Het is zelfs een eenvoudig patroon. In andere kristallen kan dat patroon echter weer heel ingewikkeld zijn en uit veel atomen, ionen of ionengroepen bestaan. Het hele patroon herhaalt zich opnieuw en opnieuw en dat in drie dimensies.

Om het inzicht in het zich herhalende ruimtelijk patroon te vergemakkelijken, kan men een structuur in plaats van in drie dimensies te beschouwen, eerst even tot twee dimensies herleiden.

Figuur 4.12 is een voorbeeld van een eenvoudige, ingebeelde, structuur in twee dimensies. Hoewel een kristalstructuur gelijk welke graad van complexiteit kan hebben, zal zich telkens eenzelfde patroon herhalen.

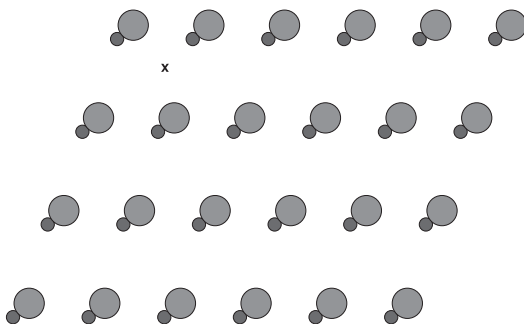


fig 4.12 een ingebeelde kristalstructuur in twee dimensies

In deze structuur kiest men ergens een willekeurig referentiepunt (in fig. 4.12 door een kruisje aangegeven). Eenmaal dit punt gekozen, kan men een oneindig aantal gelijkaardige punten in de structuur aanduiden (fig. 4.13). Al deze punten hebben exact dezelfde omgeving en hebben eenzelfde ligging ten opzichte van het zich herhalende patroon of motief. Deze verzameling identieke punten in twee dimensies noemt men een **net**. In drie dimensies spreekt men van een **rooster** en van **roosterpunten**. In het geval van één dimensie spreekt men van een **rij**.

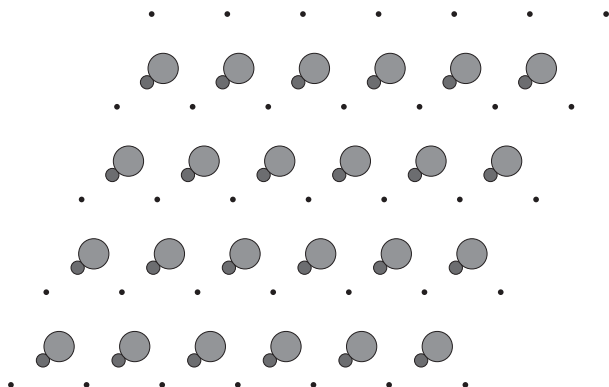


fig. 4.13

Wanneer men nu de roosterpunten door rechte lijnen verbindt, dan verdeelt men de tweedimensionale ruimte in gelijke parallellogrammen (fig. 4.14). In drie dimensies kan men de roosterpunten door stellen van evenwijdige vlakken met elkaar verbinden en op die manier de ruimte in parallellepipeda (zeg maar blokjes) verdelen. Herhaling van deze parallellogrammen respectievelijk parallellepipeda door translatie van één roosterpunt naar een ander genereert het net respectievelijk het rooster.

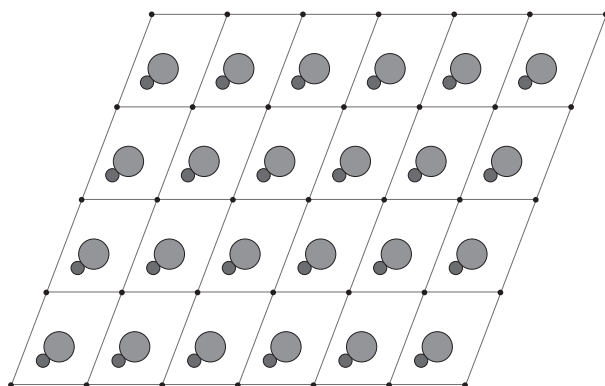
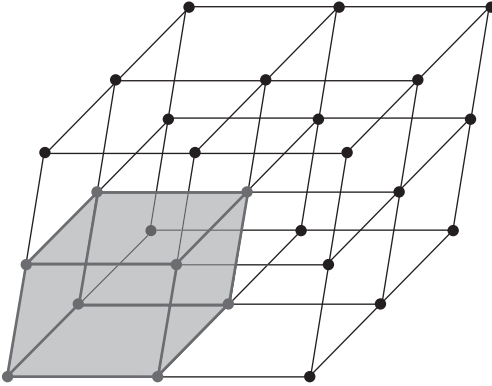


fig 4.14



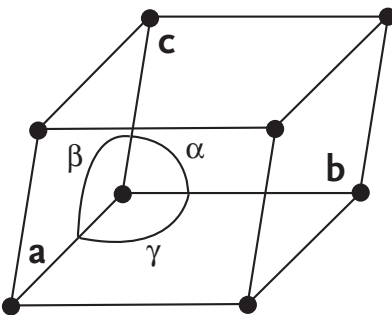
Het hele kristal kan men dus opbouwen door een aaneenschakeling (translatie) van telkens hetzelfde elementaire patroon (elementair parallellepipedum). In drie dimensies noemt men dit elementaire patroon, de **elementaire cel**. De elementaire cel kan men opvatten als een soort bouwsteen. Het kristal is dan een regelmatige opeenstapeling van identieke bouwstenen (elementaire cellen) (fig. 4.15).



*fig 4.15 de elementaire cel als bouwsteen van een kristal  
een kristal kan men beschouwen als een opeenstapeling van identieke bouwstenen*

De vorm en afmetingen van een elementaire cel worden gespecificeerd door de lengten  $a$ ,  $b$  en  $c$  van de ribben en door de hoeken  $\alpha$ ,  $\beta$  en  $\gamma$  (alfa, bèta, gamma) tussen de ribben (fig. 4.16). Deze specificaties van de elementaire cel worden ook de celparameters genoemd.

De assen  $a$ ,  $b$  en  $c$  definiëren een **coördinatenstelsel** dat eigen is aan het betreffende kristal.



*fig 4.16 elementaire cel en celparameters  
de afmetingen van de elementaire cel worden gespecificeerd door de lengten  $a$ ,  $b$  en  $c$  van de ribben en door de hoeken  $\alpha$ ,  $\beta$  en  $\gamma$  tussen de ribben*

De keuze van de elementaire cel is overigens niet uniek. Elk parallellepipedum waarvan de ribben roosterpunten verbinden is in principe geschikt om als elementaire cel te worden gekozen. In figuur 4.17 zijn enkele mogelijkheden aangegeven, maar in feite kan men er een oneindig aantal bedenken. Zoals uit de figuur blijkt is het zelfs toegelaten om roosterpunten (hier werden de roosterpunten gekozen in het centrum van de grotere atomen) binnen een elementaire cel te hebben.

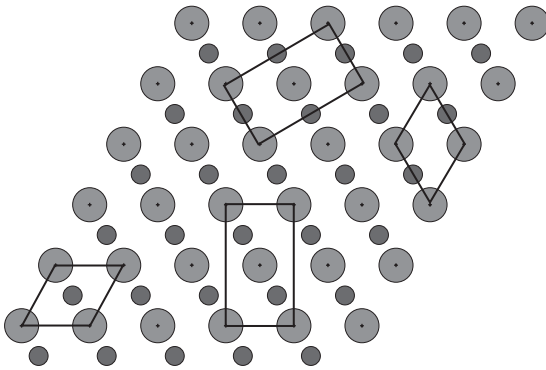


fig 4.17 de keuze van de elementaire cel is niet uniek

Om de **structuur van een kristal te beschrijven** volstaat het om de **afmetingen en de vulling van de elementaire cel** te kennen. De afmetingen van de elementaire cel worden gegeven door  $a$ ,  $b$ ,  $c$  en door  $\alpha$ ,  $\beta$  en  $\gamma$ . Onder de vulling van de elementaire cel verstaat men de ruimtelijke posities die de atomen, ionen of moleculen in de cel innemen. Deze posities zijn de coördinaten (volgens  $a$ ,  $b$  en  $c$ ) van de atomen binnen de elementaire cel en ze worden meestal in breukdelen aangegeven. Het aantal atomen binnen de elementaire cel bepaalt ook het aantal **formule-eenheden per elementaire cel** (symbool  $Z$ ); dit is het aantal atomen dat in de elementaire cel voorkomt, gedeeld door het aantal atomen in de chemische formule.

*Voorbeeld:* de kristalstructuur van haliet (NaCl): de afmetingen van de elementaire cel zijn:  $a = b = c = 0,5640$  nm met  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  de elementaire cel is dus een submicroscopisch kubusje (waarvan de vulling reeds in figuur 4.2 werd weergegeven). Elk kubusje bevat 4 natrium- en 4 chloorionen en bijgevolg is  $Z = 4$  (de elementaire cel bevat dus 4 maal NaCl). De atoomcoördinaten zijn voor natrium:  $0\ 0\ 0$ ,  $0\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{2}\ 0\ \frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ 0$  en voor chloor zijn ze:  $0\ 0\ \frac{1}{2}$ ,  $0\ \frac{1}{2}\ 0$ ,  $\frac{1}{2}\ 0\ 0$ ,  $\frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}$ .

**Iedere mineraalsoort** heeft zijn **eigen kristalstructuur** en elke mineraalsoort wordt bijgevolg gekenmerkt door zijn celparameters, door de aard van de atomen in de kristalstructuur (chemische samenstelling) en door de posities van die atomen binnen die elementaire cel (celvulling).

## 4.7 POLYMORFISME

Eerder in dit hoofdstuk was al sprake van diamant en grafiet. Beide mineralen bestaan uit koolstof, maar ze hebben verschillende kristalstructuren. Diamant heeft een compacte structuur (fig. 4.8) waarbij de koolstofatomen door covalente bindingen bijeen worden gehouden. Bij grafiet is de structuur (fig. 4.10) echter opgebouwd uit lagen koolstofatomen die via covalente bindingen met elkaar zijn verbonden terwijl de lagen zelf door van der Waals-krachten worden bijeen gehouden.

Wanneer een element of chemische verbinding in **meer dan één kristalstructuur** kan voorkomen dan spreekt men van **polymorfisme**. Enkele typische voorbeelden worden samengevat in tabel 4.4.

tabel 4.4 polymorfe mineralen

chemische formule	polymorfe mineralen
C	diamant, grafiet
FeS <sub>2</sub>	pyriet, marcasiet
TiO <sub>2</sub>	rutil, anataas, brookiet
CaCO <sub>3</sub>	calciet, aragoniet
Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>	kyaniet, andalusiet, sillimaniet

Welke polymorfe vorm ontstaat, hangt af van de vormingsomstandigheden (zoals temperatuur en/of druk) van het mineraal. Bij verandering van temperatuur en/of druk kan de ene polymorfe vorm in de andere overgaan. Polymorfen kunnen toch soms op eenzelfde specimen voorkomen, bijvoorbeeld wanneer ze op verschillende tijdstippen onder verschillende omstandigheden ontstaan zijn.

## 4.8 ISOSTRUCTURELE KRISTALLEN

Dat haliet (NaCl) en sylviet (KCl) een gelijkaardige structuur hebben is op het eerste gezicht niet zo verwonderlijk. Het zijn tenslotte beide chloriden van alkali-metalen met een gelijkaardige chemische formule. De bindingen zijn in beide gevallen ionisch van karakter en de stralenverhoudingen (0,54 voor Na/Cl en 0,73 voor K/Cl) voldoen aan de voorwaarden voor een octaëdrische coördinatie van het kation door de chloor-anionen. De elementaire cellen zijn kubusjes die enkel nog van elkaar verschillen door hun afmetingen; zo is voor NaCl  $a = 0,5640$  nm en voor KCl is  $a = 0,6293$  nm.

Naast een hele reeks halogeniden (chloriden, fluoriden, bromiden en jodiden) die ook een NaCl-structuur hebben zijn er ook heel andere verbindingen die deze structuur vertonen. Een voorbeeld is galeniet, PbS (lood sulfide). De Pb-S binding is overduidelijk covalent van karakter en toch heeft PbS een zelfde structuur als NaCl (de Pb-atomen bevinden zich op de Na-plaatsen en de S-atomen nemen de posities van Cl in). Galeniet is geen alleenstaand geval; in totaal zijn er meer dan tweehonderd verbindingen gekend die een NaCl-structuur hebben.

Wanneer mineralen een **gelijkaardige structuur** hebben dan zegt men dat ze **isostructureel** zijn. Strikt genomen is de definitie van isostructurele kristallen iets ingewikkelder dan hier geschetst, maar een meer uitgebreide behandeling valt echter buiten het bestek van deze tekst.

Mineralen die een zelfde anion bevatten, zijn dikwijls isostructureel. Men zegt ook wel dat ze tot een **isostructurele groep** behoren. Zo hebben de mineralen calciet  $\text{CaCO}_3$ , magnesiet  $\text{MgCO}_3$ , smithsoniet  $\text{ZnCO}_3$ , sideriet  $\text{FeCO}_3$  en rhodochrosiet  $\text{MnCO}_3$  een gelijkaardige structuur en men zegt dat ze tot de calcietgroep behoren.

Figuur 4.18 stelt de kristalstructuur van calciet voor. De elementaire cel die hier wordt afgebeeld heeft de vorm van een romboëder en de calciumionen bevinden zich op de hoekpunten en de middenpunten van de vlakken van de cel. De driehoekige  $\text{CO}_3$ -groepjes bevinden zich op het midden van de ribben en in het centrum van de cel. Alle mineralen uit de calcietgroep hebben eenzelfde structuur; zo heeft magnesiet net dezelfde structuur als calciet, maar dan met  $\text{Mg}^{2+}$ -ionen op de plaats waar in calciet  $\text{Ca}^{2+}$ -ionen zitten.

Het enige verschil tussen de structuren van de mineralen uit de calcietgroep is in de afmetingen van de elementaire cel. Deze overigens kleine verschillen in afmetingen zijn het gevolg van de verschillen in ionstraal van de kationen

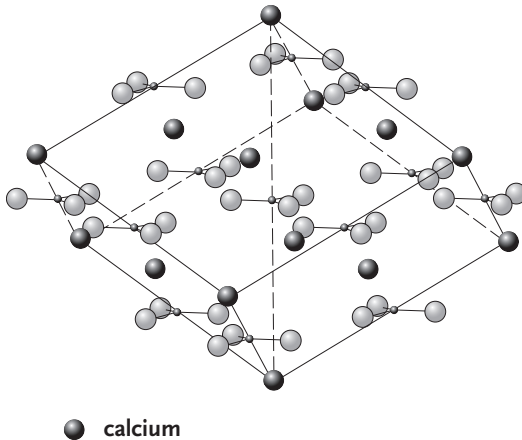


fig 4.18 de calcietstructuur

## 4.9 SUBSTITUTIE

Mineralen bevatten heel dikwijls variabele hoeveelheden aan elementen die geen wezenlijk onderdeel van de (ideale) chemische samenstelling van de betreffende mineraalsoort uitmaken. Mineralen ontstaan nu eenmaal niet onder de gecontroleerde omstandigheden van een laboratorium, maar vormen zich in de natuur uit een oplossing of een smelt die dikwijls een grote variatie aan elementen kan bevatten. Deze niet-essentiële elementen kunnen de plaats van atomen in de kristalstructuur van het mineraal innemen.

De gedeeltelijke **vervanging van atomen in een kristal door atomen van een andere atoomsoort** noemt men **substitutie**. Voorwaarde voor substitutie is een vergelijkbare ion- of atoomstraal en een vergelijkbaar bindingskarakter binnen de kristalstructuur. Het aantal mineralen waarin substitutie kan optreden is enorm. Soms kan substitutie beperkt zijn tot sporenhoeveelheden van een andere atoomsoort. Zo bevat saffier (edelsteenvariëteit van korund) steeds sporen van ijzer en titaan.

In andere gevallen kan een belangrijker gedeelte van een atoomsoort door een andere vervangen worden. Een typisch voorbeeld is het mineraal sfaleriet dat in zuivere toestand ZnS (zink sulfide) is. Zuiver ZnS komt in de natuur niet voor. Meestal bevat sfaleriet een bepaalde hoeveelheid ijzer (tot ongeveer 26%) ter vervanging van zink. De chemische formule van sfaleriet schrijft men daarom meestal als (Zn,Fe)S.

Soms is een grenzenloze substitutie mogelijk en men spreekt dan van **mengkristallen**. Mengkristallen zijn kristallen waarvan de chemische samenstelling ergens tussen de samenstelling van twee uitersten in kan liggen. Voorbeelden zijn de mineralen forsteriet  $Mg_2SiO_4$  (magnesium silicaat) en fayaliet  $Fe_2SiO_4$  (ijzer silicaat) die gezamenlijk bekend zijn onder de naam olivijn. In het geval van olivijn kunnen  $Fe^{2+}$ - en  $Mg^{2+}$ -ionen elkaar vervangen in de kristalstructuur, m.a.w. waar zich een  $Mg^{2+}$ -atoom bevindt kan evengoed een  $Fe^{2+}$ -ion plaatsnemen en omgekeerd. Het gevolg is een mengkristal met een samenstelling die intermediair is tussen forsteriet  $Mg_2SiO_4$  en fayaliet  $Fe_2SiO_4$ . De chemische formule van een dergelijk mengkristal schrijft men dan als:  $(Mg,Fe)_2SiO_4$ . Mengkristallen zijn enkel mogelijk wanneer er een nauwe chemische verwantschap bestaat tussen isostructurele kristallen. Men spreekt in dit verband ook van **isomorfisme**. Van dergelijke mineralen (zoals forsteriet en fayaliet) zegt men dat ze tot een **isomorfe reeks** behoren.

Substitutie blijft niet beperkt tot kationen, want het is evengoed mogelijk dat anionen elkaar in een structuur vervangen. Zoals in wavelliet waar het OH-groepje gedeeltelijk door F kan vervangen worden. De formule schrijft men dan ook als:  $Al_3(PO_4)_2(OH,F)_3 \cdot 5H_2O$

In silicaten treedt regelmatig substitutie van  $\text{Si}^{4+}$  door  $\text{Al}^{3+}$  op. Omdat beide kationen een verschillende valentie hebben is bij substitutie de globale formule niet meer elektrisch neutraal. Daarom is aan de substitutie van  $\text{Si}^{4+}$  door  $\text{Al}^{3+}$  nog een andere substitutie gekoppeld; namelijk de substitutie van een eenwaardig kation (zoals  $\text{Na}^+$ ) door een tweewaardig kation (bijvoorbeeld  $\text{Ca}^{2+}$ ). Dit treedt onder andere op bij de veldspaten albiet  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  en anorthiet  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  waartussen een complete mengkristalvorming mogelijk is. De chemische formule van een dergelijk mengkristal kan men schrijven als:  $\text{Na}_{1-x}\text{Ca}_x(\text{Si}_{3-x}\text{Al}_{1+x})\text{O}_8$ , waarbij  $x$  varieert tussen 0 en 1.

## 4.10 INSLUITSELS

Naast substitutie is er ook nog de mogelijkheid dat een mineraal vreemde elementen bevat zonder dat de atomen ervan een plaats in de structuur van dat mineraal innemen. Het gastmineraal bevat dan insluitsele van andere mineraal-soorten.

Mineralen bevatten vrijwel altijd insluitsele. Deze, soms minuscule, insluitsele (kleine kristalletjes, gasballetjes enz.) bevatten heel wat informatie over de vormingsgeschiedenis van een mineraal.

Op grond van hun oorsprong worden insluitsele in drie klassen ingedeeld:

- protogenetische insluitsele
- syngenetische insluitsele
- epigenetische insluitsele

**Protogenetische** insluitsele waren reeds voor de vorming van het gastmineraal aanwezig. Actinoliet naalden in kwartskristallen zijn er een voorbeeld van. Protogenetische insluitsele zijn dikwijls afgerond of gecorrodeerd.

Insluitsele die tegelijk met het gastmineraal ontstaan, noemt men **syngenetisch**. Deze insluitsele zijn meestal veelhoekig en goed gevormd; bv. rutielnaalden in kwarts. Syngenetische vloeistofinsluitsele zijn eveneens frequent. Meestal bevat de vloeistof een gasbel of kleine kristallen.

**Epigenetische** insluitsele zijn ontstaan na de vorming van het gastmineraal. Dergelijke insluitsele kunnen ontstaan door chemische verwerking, door het indringen van vreemd materiaal, door ontmenging enz. Voorbeelden zijn onder andere de dendrieten die in sommige agaten (zogenaamde mosagaat) voorkomen en rutielnaalden in robijn.

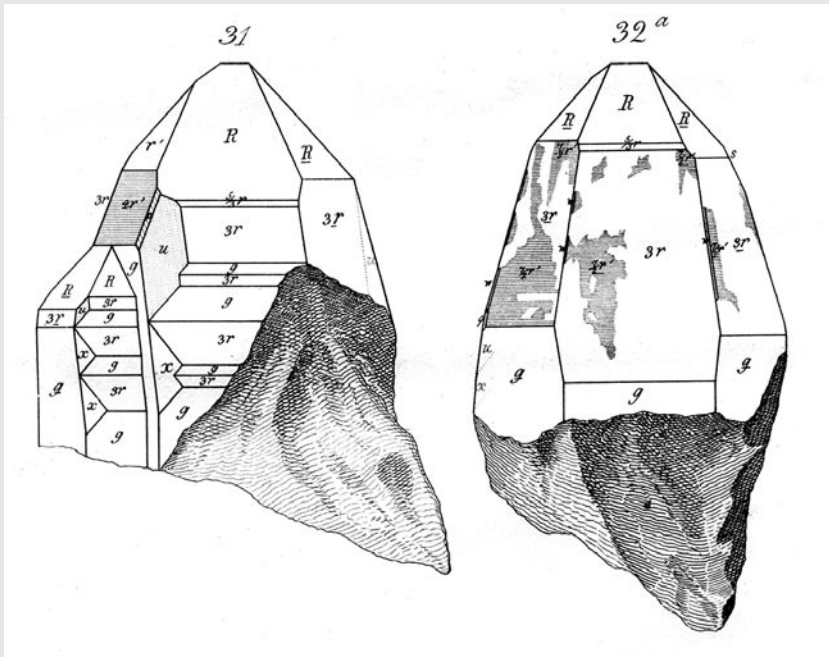
De studie van insluitsele is een wetenschap op zich en vooral de edelsteenkundige maakt er gebruik van om zijn edelstenen te determineren.



# MORFOLOGIE VAN KRISTALLEN

*In vorig hoofdstuk werd nagegaan hoe atomen zich kunnen verenigen en groeperen tot kristallijne materie. In een kristal zijn de atomen, ionen of moleculen gerangschikt volgens een zich in de ruimte herhalend driedimensionaal patroon. De periodiciteit of regelmaat van dit patroon is het voornaamste kenmerk van kristallen.*

*De meeste bijdragen uit het beginstadium van de kristallografische wetenschap zijn echter gebaseerd op waarnemingen aan de morfologie van kristallen. Ook voor het herkennen en determineren van mineraalspecimens is de kristalmorfologie van zeer groot belang. In dit hoofdstuk wordt aandacht besteed aan de wetmatigheden in de morfologie van kristallen. De waargenomen wetmatigheden worden verklaard aan de hand van de kristalstructuur.*





KWARTSKRISTALLEN

*Gustav Rose, Ueber das Krystallisationssystem des Quarzes, Berlin, 1846*

## 5.1 WETMATIGHEDEN IN DE MORFOLOGIE VAN KRISTALLEN

Het meest opvallende aan een kristal is dat het begrensd wordt door platte, meestal vrij gladde oppervlakken; men spreekt van de **vlakken** van een kristal (fig. 5.1). De snijlijnen tussen de diverse vlakken noemt men **ribben**.

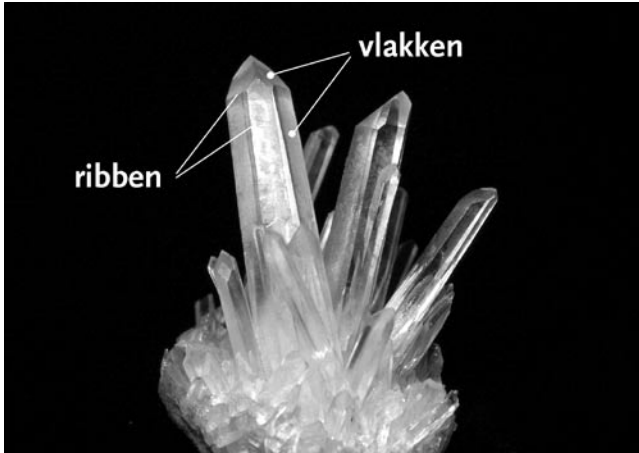


fig. 5.1 kwartskristallen  
de snijlijnen van de vlakken noemt men ribben

In het mineralenrijk is de **verscheidenheid in het uiterlijk van kristallen** enorm. Zelfs de kristallen van één mineraalsoort kunnen er heel verschillend uitzien. Omdat het uiterlijk van een kristal mede bepaald wordt door de vormingsomstandigheden, kan de morfologie van de kristallen van één mineraalsoort van vindplaats tot vindplaats verschillen. Bij wijze van voorbeeld zijn in figuur 5.2 enkele kwartskristallen afgebeeld. Ondanks de verscheidenheid in het uiterlijk van de afgebeelde kwartskristallen zal in dit hoofdstuk blijken dat er een duidelijke systematiek in de schikking van de vlakken aanwezig is.

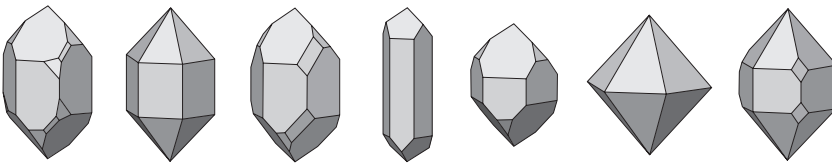


fig. 5.2 kristallen van één mineraalsoort (in dit geval kwarts) kunnen er heel verschillend uitzien

Een **eerste wetmatigheid** die men in principe aan ieder kristal van gelijk welk mineraal kan waarnemen, is het **voorkomen van vlakken in zones**. Onder **zone** verstaat men de verzameling van vlakken die evenwijdig zijn met een bepaalde

richting die men **zone-as** noemt. De vlakken die tot één bepaalde zone behoren snijden elkaar, of elkaars verlengde, volgens richtingen die evenwijdig zijn met de zone-as. Kristalvlakken die tot eenzelfde zone behoren, noemt men **tautozoonaal** (van het Grieks *tautos* = hetzelfde). In een kristal kan men meerdere zones onderscheiden en één vlak kan van meerdere zones deel uit maken.

In figuur 5.3 is eenzelfde kwartskristal driemaal naast elkaar afgebeeld terwijl telkens een ander stel tautozonale vlakken grijs gekleurd werd. In dat kristal kan men overigens nog méér zones waarnemen. Een vlak zal tot een bepaalde zone behoren wanneer minstens één van zijn ribben evenwijdig is met de betreffende zone-as. Omdat de zone-as een ingebeelde as is, kan men ze evenwijdig met zichzelf verplaatsen en gelijk waar in het kristal tekenen. Meestal stelt men zich de zone-as voor als lopende door het centrum van het kristal.

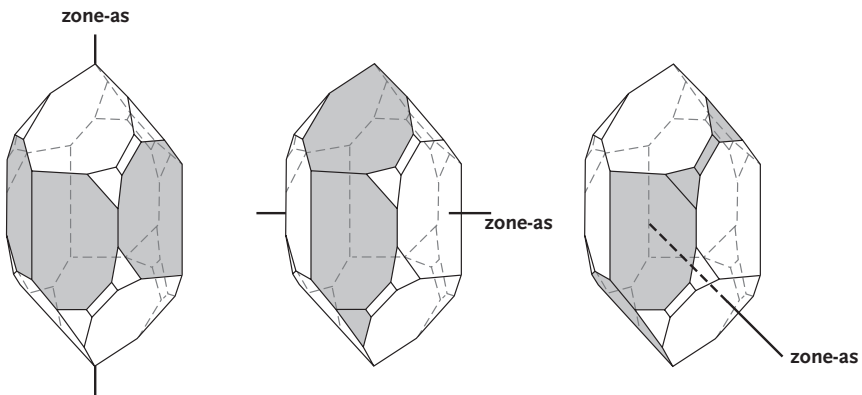


fig. 5.3 afbeeldingen van een kwartskristal met telkens een ander stel tautozonale vlakken grijs gekleurd

Om de morfologie van kristallen te illustreren wordt in teksten over kristallografie gebruik gemaakt van **kristaltekeningen**. Deze tekeningen zijn zodanig gemaakt dat lijnen (bijvoorbeeld ribben) die in werkelijkheid evenwijdig met elkaar zijn, op de tekening ook als evenwijdige lijnen worden afgebeeld. Het is de bedoeling van dergelijke afbeeldingen om de zonerelaties goed tot uiting te doen komen. Men noemt dit soort tekeningen een **clinografische projectietekening**.

Bij een gewone **perspectieftekening** daarentegen zullen evenwijdige lijnen samenkomen in een vluchtpunt. Beide projectiemethodes worden in figuur 5.4 geïllustreerd aan de hand van een kubus. In de clinografische projectietekening van de kubus (links in fig. 5.4) zijn de ribben die in werkelijkheid evenwijdig met elkaar zijn, ook evenwijdig met elkaar getekend. In het geval van de perspectieftekening zijn de evenwijdige ribben waarlangs men kijkt, zodanig getekend dat hun verlengden samenkomen in een vluchtpunt. Een dergelijke projectie is veel minder geschikt voor een kristallografische interpretatie.

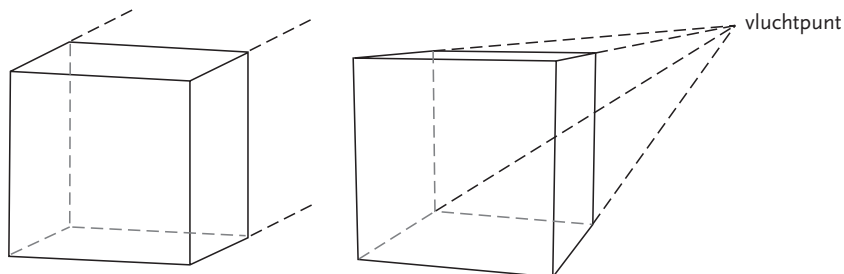


fig. 5.4 clinografische projectietekening versus perspectieftekening

Een **tweede wetmatigheid** in de morfologie van kristallen heeft telkens betrekking op de kristallen van één mineraalsoort.

Verschillende kristallen van één mineraalsoort kunnen weliswaar een ander uiterlijk hebben (zie bijvoorbeeld fig. 5.2), maar in de regel kan men vlakken onderscheiden die op de diverse kristallen terug te vinden zijn. Wanneer men over verschillende kristallen van eenzelfde mineraal beschikt, dan is het mogelijk om ze ruimtelijk zo te oriënteren dat bepaalde vlakken evenwijdig met elkaar komen te liggen. Dergelijke vlakken noemt men **overeenkomstige vlakken**. In figuur 5.2 zijn alle kwartskristallen op eenzelfde manier georiënteerd zodat overeenkomstige vlakken, mede door de verschillen in schaduwing, onmiddellijk te herkennen zijn.

Bij wijze van voorbeeld zijn in figuur 5.5 enkele overeenkomstige vlakken van twee kwartskristallen van letters voorzien.

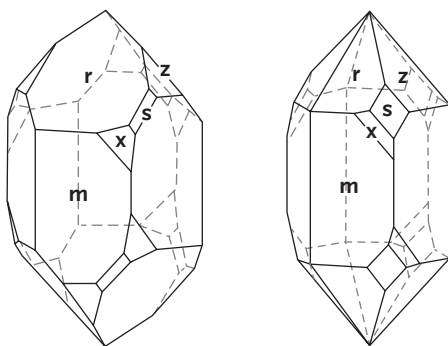


fig. 5.5 kwartskristallen waarbij de overeenkomstige vlakken van letters werden voorzien

De wetmatigheid die betrekking heeft op die overeenkomstige kristalvlakken staat bekend als de eerste hoofdwet van de kristallografie, als de wet van de constante tweevlakshoek of als de wet van Stensen en luidt:

Voor verschillende kristallen van eenzelfde mineraal geldt dat de hoek tussen overeenkomstige vlakken constant is.

M.a.w. wanneer men aan een kristal de hoek tussen twee vlakken (=tweevlakshoek) meet en men meet aan een ander kristal van dezelfde mineraalsoort (eventueel zelfs van een andere vindplaats) de hoek tussen de overeenkomstige vlakken, dan zullen beide hoeken gelijk zijn. Dus voor de twee kwartskristallen in figuur 5.5 geldt bijvoorbeeld dat de hoek tussen het vlakje met de letter m en het vlakje met de letter r in het linker kristal gelijk is aan de hoek tussen het vlakje m en het vlakje r in het rechter kristal (namelijk  $38,17^\circ$ )

Strikt genomen is deze wet enkel geldig als de hoekmetingen bij dezelfde temperatuur en druk gebeuren. De grootte van het kristal en de relatieve afmetingen van de betrokken vlakken hebben geen invloed op deze wetmatigheid.

De wet van de constante tweevlakshoek in kristallen is heel accuraat. Afwijkingen in chemische samenstelling, de aanwezigheid van onzuiverheden, enz. kunnen de hoeken echter lichtjes wijzigen.

Deze wetmatigheid werd voor het eerst waargenomen door de Deen Nils Stensen (1638-1686). In 1669 stelde hij vast dat de hoeken tussen overeenkomstige vlakken in kwartskristallen steeds dezelfde zijn, ongeacht het uiterlijk van het kristal. Stensen tekende de omtrekken van kwartskristallen en kon op die manier de hoeken tussen de vlakken meten. (zie reproductie in fig. 5.6).

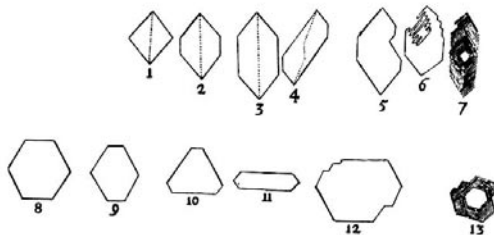


fig. 5.6 enkele afbeeldingen uit het werk van Stensen (1669)  
(schetsmatige doorsneden door verschillende kwartskristallen)

Er zou echter nog meer dan een eeuw over heen gaan vooraleer de waarnemingen van Stensen door de Fransman Louis Romé de l'Isle (1736-1790) in 1772 als een wet geformuleerd werden. Een grote hoeveelheid van hoekmetingen die door zijn medewerker Arnould Carrangeot op kristallen van diverse mineralen werden uitgevoerd, toonden aan dat deze wet algemeen geldig was. Deze veralgemening werd door de l'Isle in 1783 gepubliceerd, maar staat bekend als de wet van Stensen.

Bij hoekmetingen aan kristallen werkt men niet met de hoek  $\omega$  (omega) tussen de twee kristalvlakken maar wel met de **hoek  $\psi$  (psi) tussen de normalen** op die kristalvlakken. Een **normaal** op een vlak is een rechte loodrecht op dat vlak. In figuur 5.7 zijn de normalen (= loodlijnen)  $N_1$  en  $N_2$  op de vlakken a respectievelijk b afgebeeld, evenals de hoeken  $\omega$  en  $\psi$ . In de kristallografie is de hoek tussen vlak a en vlak b:  $a \wedge b = \psi$

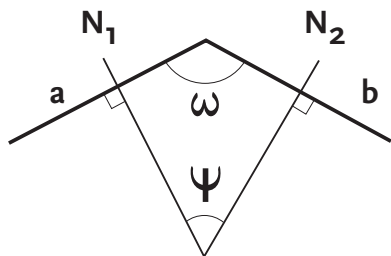


fig. 5.7 de kristalvlakken a en b, de normalen  $N_1$  en  $N_2$  op die vlakken en de hoek  $\psi$  tussen de normalen

De relatie tussen beide hoeken is:

$$\psi = 180^\circ - \omega$$

Wanneer men in de literatuur spreekt over de hoeken tussen kristalvlakken, dan bedoelt men in feite de hoeken tussen de vlakkennormalen.

*Voorbeeld:*

bij kwartskristallen (fig. 5.5) kan men volgende hoeken ( $\psi$ ) meten:

$$\begin{array}{lll} m \wedge x = 12,00^\circ & m \wedge s = 37,94^\circ & m \wedge r = 38,17^\circ \\ m \wedge z = 66,85^\circ & r \wedge z = 46,29^\circ & x \wedge s = 25,94^\circ \\ r \wedge s = 28,91^\circ & z \wedge s = 28,91^\circ & \end{array}$$

Uit deze paragraaf blijkt dat de wetmatigheden, zone-ontwikkeling en constante hoeken tussen overeenkomstige vlakken, aantonen dat de **ligging van de vlakken in een kristal niet willekeurig** is. De verklaring van deze wetmatigheden ligt in de structuur van het kristal.

## 5.2 KRISTALSTRUCTUUR EN MORFOLOGIE

Wanneer men zegt dat een mineraal kristallijn is, dan denkt men al gauw aan de mooie kristallen met effen oppervlakken zoals die in de vorige paragraaf aan bod kwamen. Dit is echter maar één aspect van de werkelijkheid, want een massief brokje kwarts bijvoorbeeld is ook kristallijn, evenwel zonder dat er kristalvlakjes te zien zijn.

Wat een kristallijn materiaal kenmerkt, is dat de atomen waaruit het is opgebouwd volgens een bepaald ruimtelijk patroon gerangschikt zijn. Zo een geordend driedimensionaal bouwwerk van atomen noemt men een kristalstructuur (zie ook vorig hoofdstuk). Kristallijne materie onderscheidt zich van amorfe (niet-kristallijne) materie door die geordende structuur.

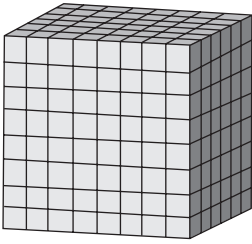
De morfologie van kristallen is een direct gevolg van de interne structuur. Een kristalstructuur kan men opvatten als opgebouwd uit een aaneenschakeling van identieke minuscule eenheden die men elementaire cellen noemt (zie ook 4.6). Men kan zich nu ook voorstellen dat deze bouwsteentjes het uiterlijk van het kristal zullen bepalen.

Neemt men bijvoorbeeld het mineraal fluoriet; kristallen van dit mineraal zijn meestal kubussen (fig. 5.8).



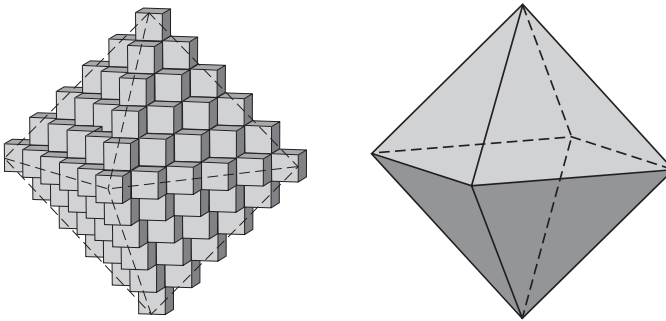
*fig. 5.8 fluorietkristallen hebben meestal de vorm van een kubus  
(foto: Chauncey Walden)*

De elementaire cel van fluoriet is eveneens een kubus en het is nu niet moeilijk om zich een fluorietkristal voor te stellen als een opeenstapeling van kubusvormige “bouwsteentjes” (fig. 5.9).

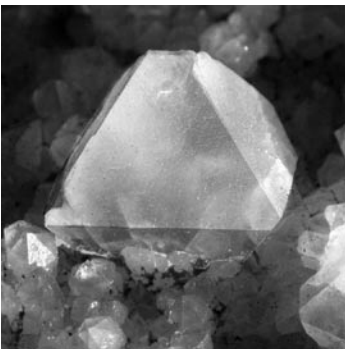


*fig. 5.9 een kubusvormig fluorietkristal kan men opvatten als opgebouwd uit een opeenstapeling van uiterst kleine kubusvormige bouwsteentjes*

Door in bepaalde richtingen minder kubusjes te stapelen krijgt het kristal een ander uiterlijk. Dit wordt geïllustreerd in figuur 5.10 en men herkent er een kristal (octaëder) in dat men eveneens bij fluoriet kan waarnemen (fig. 5.11). Dat deze kristallen in uiterlijk verschillen met de kubus van figuur 5.9 hangt in feite af van de groeisnelheid (of hier de aanbouwsnelheid van de kubusblokjes) in verschillende richtingen.



*fig. 5.10 een octaëder kan men opvatten als opgebouwd uit een opeenstapeling van uiterst kleine kubusvormige bouwsteentjes*



*fig. 5.11 een octaëdrisch fluorietkristal*



Samengevat kan men zeggen dat de kristalstructuur de ruimtelijke ligging van de kristalvlakken bepaalt. Bij een gegeven kristalstructuur zijn er maar een beperkt aantal vlakken die als mogelijk kristalvlak kunnen optreden. Om zich dit voor te stellen, denkt men de atomen weer even weg en behoudt men het ingebeeld kristalrooster. Ter verdere vereenvoudiging wordt deze situatie in figuur 5.12 in twee dimensies voorgesteld. In deze figuur stellen de zwarte stippen de roosterpunten voor. Doorheen de roosterpunten kan men nu een aantal rechten trekken die zich enkel van elkaar onderscheiden door het aantal punten dat ze per lengte-eenheid bevatten. De oriëntatie van de rechten wordt bepaald door de posities van de roosterpunten in het platte vlak.

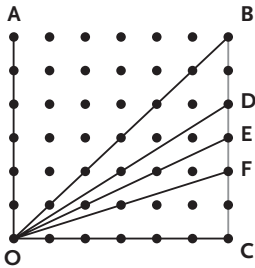


fig. 5.12 roosterpunten doorheen dewelke men een aantal rechten kan trekken die zich enkel van elkaar onderscheiden door het aantal punten die ze per lengte-eenheid bevatten

In de ruimte krijgt men iets analoog, maar dan met vlakken in plaats van rechten. De ligging van de kristalvlakken wordt nu bepaald door de ruimtelijke positie van de roosterpunten.

Bij een kristal komen er van alle mogelijke vlakken slechts een beperkt aantal voor en sommige dan nog zeer zelden. De frequentie van voorkomen van een vlak is ruwweg evenredig met het aantal roosterpunten dat in dat vlak ligt (m.a.w. het aantal roosterpunten per oppervlakte-eenheid).

Men kan figuur 5.12 ook opvatten als een doorsnede van een kristal en de rechten als snijlijnen van verschillende mogelijke tautozonale vlakken die zich loodrecht op het vlak van de tekening bevinden. In de praktijk zou men dan vaststellen dat de **vlakken die het meeste voorkomen**, deze zijn **die het grootste aantal roosterpunten bevatten**; of zoals op de tekening, de vlakken met als snijlijnen OA, OC en OB. Deze wetmatigheid staat bekend als de **wet van Bravais** (Auguste Bravais, 1811-1863).

Aangezien de kristalstructuur van een bepaald mineraal een vast gegeven is en omdat de ligging van de kristalvlakken van deze structuur afhangt, moet dus ook de onderlinge ligging van de verschillende vlakken constant zijn. Dit is een andere formulering van de eerste hoofdwet van de kristallografie (zie 5.1: wet van Stensen). De onderlinge ligging van kristalvlakken kan men bepalen door de hoeken tussen die vlakken te meten. Hebben de vlakken bij diverse kristallen

van een mineraalsoort een identieke ligging, dan zijn ook de hoeken tussen de vlakken constant.

De zone-ontwikkeling van kristalvlakken die reeds in 5.1 werd besproken, vindt eveneens zijn verklaring in de structuur van kristallen. Wanneer twee kristalvlakken elkaar snijden, dan is de ribbe steeds evenwijdig met een voor beide kristalvlakken gemeenschappelijke rij roosterpunten. M.a.w. tautozonale vlakken (zoals in fig. 5.12) liggen alle evenwijdig met eenzelfde rij roosterpunten.

### 5.3 KRISTALLISATIE

Kristallen kunnen zich vormen uit een oplossing, uit een smelt of uit een gas.

Lost men bijvoorbeeld NaCl (haliet of keukenzout) op in water, dan is er aan die oplosbaarheid een grens; bij een bepaalde concentratie kan men niet méér NaCl oplossen. Deze oplosbaarheidsgrens ligt hoger bij toenemende temperatuur. Overschrijdt men die oplosbaarheidsgrens, hetzij door het water te laten verdampen, hetzij door de temperatuur van de oplossing te laten afnemen, dan zal het NaCl uitkristalliseren.

Vertrekt men van een smelt, dan treedt kristallisatie op wanneer men de smelt afkoelt tot beneden het smeltpunt. Bijvoorbeeld bij afkoeling van water tot 0°C vormen zich ijskristallen. Wanneer men een gas voldoende afkoelt, dan kan eveneens kristallisatie optreden; men spreekt hier ook wel van sublimatie. Het bekendste voorbeeld is de vorming van sneeuw kristallen uit waterdamp.

Kristallisatie gebeurt telkens in twee stadia. In een eerste stadium vormen zich kristalkiemen die reeds de geordende kristalstructuur bezitten (fig. 5.13). In het tweede stadium groeien deze kiemen aan tot (eventueel macroscopische) kristallen.

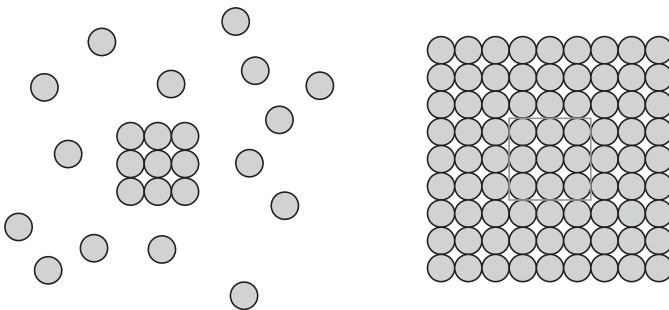


fig. 5.13 In het eerste stadium van de kristallisatie vormen zich kristalkiemen die reeds de geordende kristalstructuur bezitten. De kristalkiem groeit verder aan tot een kristal.

Kristallen groeien door toevoeging van hetzij atomen, moleculen of ionen aan de oppervlakte van het kristal. Tijdens de groei blijven de hoeken tussen de diverse kristalvlakken constant. Praktisch komt dit neer op een parallelverschuiving van de kristalvlakken; men spreekt van de groeisnelheid van een kristalvlak. De relatieve groeisnelheid van de diverse vlakken bepaalt het uiterlijk van het kristal.

In figuur 5.14 wordt het effect van de groeisnelheid van de bij de kristalkiem aanwezige vlakken geïllustreerd.

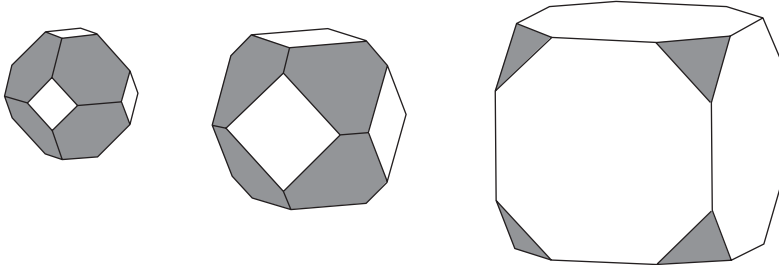


fig. 5.14 effect van de groeisnelheid van kristalvlakken op de morfologie  
langzaam groeiende vlakken worden tijdens de kristalgroei steeds groter ten opzichte van de sneller groeiende vlakken (grijs gekleurd)

Als de groeisnelheid van alle kristalvlakken even groot is dan blijft het globale uiterlijk van het kristal tijdens de groei behouden. In figuur 5.14 is echter de groeisnelheid van de grijs gekleurde vlakken groter dan de groeisnelheid van de overige vlakken.

Langzaam groeiende vlakken worden tijdens de kristalgroei steeds groter ten opzichte van de sneller groeiende vlakken die steeds maar kleiner worden om tenslotte te verdwijnen (fig. 5.15). Welke vlakken uiteindelijk aan een kristal optreden, hangt dus af van de relatieve groeisnelheid van de diverse mogelijke kristalvlakken. Zowel kristalstructuur als groeiomstandigheden spelen hierbij een rol.

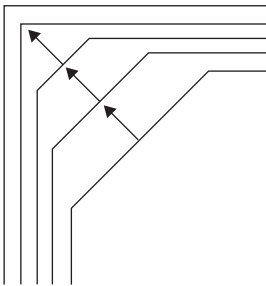


fig 5.15 snel groeiende kristalvlakken (aangeduid met pijl)  
worden tijdens de groei steeds kleiner om tenslotte te verdwijnen

## 5.4 SYMMETRIE-ELEMENTEN

Kristallijne materialen hebben een geordende structuur en deze orde brengt symmetrie teweeg. Omdat de kristalstructuur van een mineraal een bepaalde symmetrie heeft, zal een kristal (waarvan de vorm door de kristalstructuur wordt bepaald) ook een bepaalde symmetrie vertonen. Het is de symmetrie van deze uitwendige vorm van een kristal die voor het mineralen herkennen / determineren van belang is.

Om symmetrie te beschrijven heeft men een aantal begrippen, **symmetrie-elementen**, ingevoerd waarvan de voornaamste (symmetrieas, symmetriecentrum, symmetrievlak) hier beknopt worden toegelicht.

### DE SYMMETRIEAS

Om het begrip 'symmetrieas' te begrijpen neemt men in gedachten een van de kwartskristallen uit figuur 5.5 met de 'punten' tussen duim en wijsvinger. Wanneer men het kristal op die manier vasthoudt (fig. 5.16), bekijkt men aandachtig de ruimtelijke ligging van de verschillende vlakken (in de figuur is één vlak grijs gekleurd om de rotatie op de tekening te kunnen volgen). Draait men nu in gedachten het kristal rond zijn lengteas dan zal men na een rotatie van  $120^\circ$  een situatie tegenkomen die geometrisch gelijk is met de uitgangspositie. Bij een verdere rotatie van  $120^\circ$  komt men weer in een vergelijkbare situatie terecht om tenslotte na een volledige omwenteling ( $360^\circ$ ) terug in de beginstand uit te komen. Tijdens een volledige omwenteling heeft men driemaal een geometrisch gelijkwaardige situatie gezien.

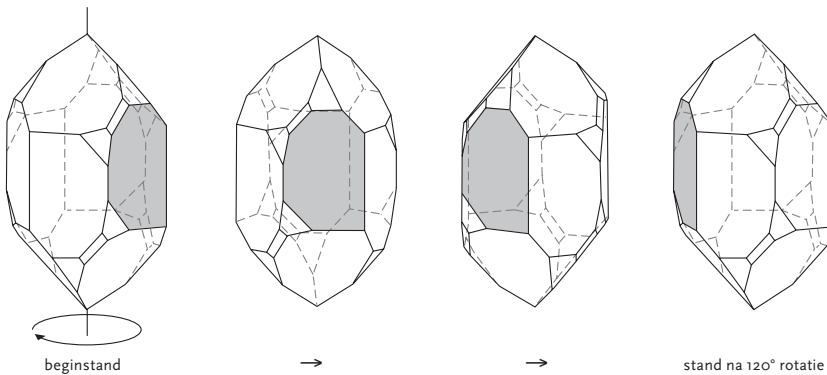


fig. 5.16 rotatie van een kwartskristal over  $120^\circ$  rond zijn lengteas brengt het in een positie die geometrisch niet van de uitgangspositie te onderscheiden is (één vlak is grijs gekleurd om de rotatie vanuit de beginstand via tussenstanden tot de eindstand op de tekening te kunnen volgen)

Een kristal bevat een symmetrieas indien men een ingebeelde rechte in het kristal kan vinden, zó dat bij  $360^\circ$  draaien van het kristal om deze rechte, het uiterlijk van het kristal tweemaal of meermaals met zichzelf samenvalt. Het aantal maal dat het uiterlijk herhaald wordt (identiek is aan het uiterlijk vóór het draaien en er niet van te onderscheiden) tijdens een volledige omwenteling (van  $360^\circ$  om de as) noemt men de **talligheid** van de as.

In het geval van het kwartskristal in figuur 5.16 wordt het uiterlijk tijdens een volledige rotatie driemaal herhaald; de betreffende symmetrieas is dan ook een drietallige as.

Symmetrieassen gaan altijd door het centrum van het kristal. Zone-assen zijn soms ook symmetrieassen.

**In kristallen kan men uitsluitend 2-, 3-, 4- en 6-tallige symmetrieassen aantreffen. Voorbeelden:**

**de tweetallige as, voorgesteld door het symbool:  $\perp$**

In het geval van een tweetallige as wordt bij een totale rotatie het uiterlijk tweemaal herhaald. Een rechthoek heeft 3 tweetallige assen; twee in het vlak van de rechthoek en een derde, loodrecht erop (fig. 5.17). Een kubus heeft 6 tweetallige assen die in figuur 5.18 zijn weergegeven.

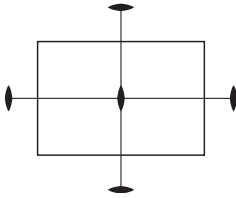


fig. 5.17 tweetallige assen in een rechthoek

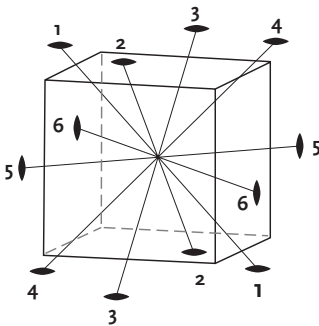


fig. 5.18 de zes tweetallige assen van een kubus

de drietallige as, symbool: ▲

Een gelijkzijdige driehoek (fig. 5.19) heeft één drietallige as loodrecht op het vlak van de driehoek (en drie tweetallige assen in het vlak van de driehoek gelegen). Figuur 5.20 geeft de vier drietallige assen van een kubus weer.

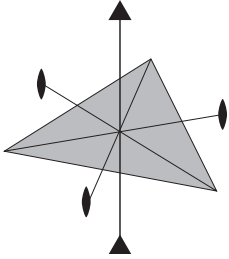


fig. 5.19 symmetrieassen in een gelijkzijdige driehoek: één drietallige as loodrecht op het vlak van de driehoek en drie tweetallige assen in het vlak van de driehoek

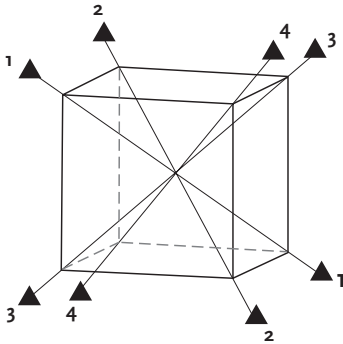


fig. 5.20 de vier drietallige assen van een kubus

de viertallige as, symbool: ■

In figuur 5.21 zijn de drie viertallige assen van een kubus weergegeven

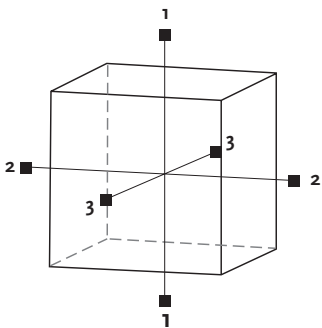


fig. 5.21 de drie viertallige assen van een kubus

### de vijftallige as

De vijftallige as kan in kristallen niet voorkomen. Men moet het zich zo voorstellen dat het onmogelijk is om met regelmatige vijfhoeken een oppervlaktevullend regelmatig patroon op te bouwen (met rechthoeken, driehoeken, vierkanten en zeshoeken is dat wel mogelijk) (fig. 5.22).

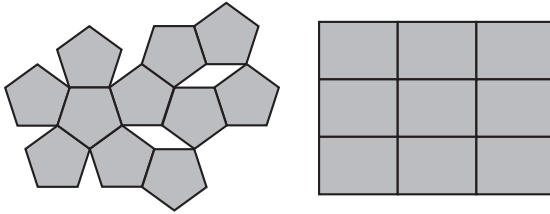


fig. 5.22 met regelmatige vijfhoeken (links) is het onmogelijk om een regelmatig patroon op te bouwen met rechthoeken (rechts) is dat wel mogelijk

Een regelmatige (gelijkzijdige) vijfhoek heeft een vijftallige as. Het mineraal pyriet komt dikwijls voor in kristallen die vijfhoekige vlakken vertonen. Deze vijfhoeken zijn echter geen regelmatige (gelijkzijdige) vijfhoeken (fig. 5.23), want één van de ribben is altijd langer dan de overige vier die gelijk zijn. In een pyrietkristal kan men evenmin vijftallige assen terugvinden (wel 3- en 2-tallige assen).

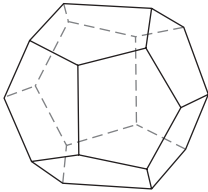


fig. 5.23 een pyrietkristal met uitsluitend vijfhoekige vlakken

### de zestallige as, symbol:

Voorbeelden zijn een regelmatige zeshoek, een regelmatig zeshoekig prisma of het berylkristal in figuur 5.24.

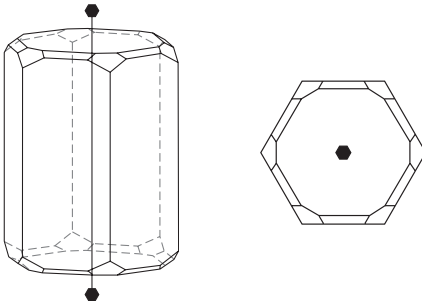


fig. 5.24 berylkristal (zij- en bovenaanzicht) met aanduiding van de zestallige as

## HET SYMMETRIECENTRUM

Wanneer een voorwerp een symmetriecentrum heeft, dan vindt men voor elk punt in dat voorwerp een gelijkaardig punt dat zodanig gelegen is dat de verbindingslijn tussen beide punten door het centrum van het voorwerp gaat. Het symmetriecentrum, symbool  $i$  (van inversie), ligt dan in het midden van een ingebeelde rechte die beide punten verbindt. Zo vindt men in figuur 5.25 voor het 'grijze' vlakje een vergelijkbaar vlakje diametraal t.o.v. het eerste.

De aanwezigheid van een symmetriecentrum kan men gemakkelijk herkennen omdat evenwijdig met ieder vlak een vlak ligt aan de andere kant van het kristal.

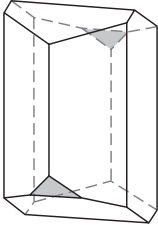


fig. 5.25 een orthoklaaskristal met een symmetriecentrum evenwijdig met ieder vlak (bijvoorbeeld het grijs gekleurde) ligt een vlak aan de andere kant van het kristal (eveneens grijs gekleurd)

De zwaartepunten van een rechthoek, een cirkel of een kubus zijn alle symmetriecentra (fig. 5.26).

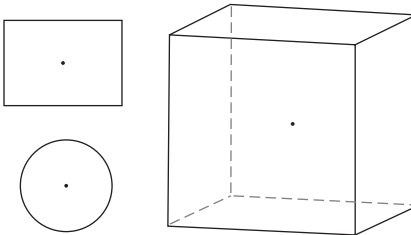


fig. 5.26 De zwaartepunten van een rechthoek, een cirkel of een kubus zijn alle symmetriecentra



## HET SYMMETRIEVLAK:

Wanneer men in een figuur een ingebeeld vlak kan aanbrengen dat deze figuur in twee helften verdeelt die elkaars spiegelbeeld zijn, dan noemt men dit vlak een symmetrievlak (symbool:  $m$ ). Een symmetrievlak is dus een spiegelvlak. In fig. 5.27 zijn enkele spiegelvlakken van een kubus getekend.

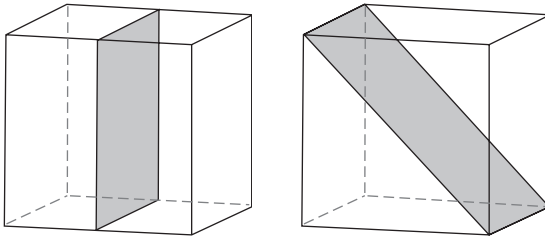


fig. 5.27 enkele spiegelvlakken in een kubus

## COMBINATIES VAN SYMMETRIE-ELEMENTEN

Uit wat voorafging bleek reeds dat een kristal meerdere symmetrie-elementen kan bevatten. De kubus bijvoorbeeld heeft een symmetriecentrum, 9 symmetrievlakken, 6 tweetallige, 4 drietallige en 3 viertallige assen.

Wanneer twee of meer symmetrie-elementen aanwezig zijn, dan kan dat leiden tot een complex geheel van verschillende symmetrie-elementen.

Wanneer een kristal bijvoorbeeld twee symmetrieassen bevat, dan bevat het kristal in ieder geval nog een derde symmetrieas die equivalent is met de combinatie van de eerste twee.

Wanneer een symmetrievlak niet loodrecht staat op een symmetrieas dan zal dat symmetrievlak door die symmetrieas ‘vermenigvuldigd’ worden zoals in figuur 5.28.

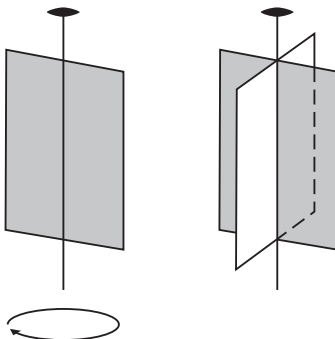


fig. 5.28 combinatie van symmetrie-elementen  
de tweetallige as die in het symmetrievlak ligt (linkse figuur)  
zorgt ervoor dat het symmetrievlak herhaald wordt (rechts)

## 5.5 KRISTALSTELSELS EN KRISTALKLASSEN

In 5.2 werd reeds aangehaald dat het mineraal fluoriet uitkristalliseert in kubusvormige of in octaëdrische kristallen. Een dergelijke kubus heeft zomaar eventjes 23 symmetrie-elementen (1 symmetriecentrum, 9 symmetrievlakken, 6 tweetallige, 4 drietallige en 3 viertallige assen). Dezelfde combinatie van symmetrie-elementen kan men terugvinden bij de octaëder. De kubus en de octaëder zijn dan ook hoogsymmetrische objecten.

Een kwartskristal heeft echter weer een heel andere symmetrie die gekenmerkt wordt door een drietallige as met loodrecht daarop nog 3 tweetallige assen. Er zijn echter ook minder symmetrische kristallen met slechts enkele symmetrie-elementen, of met uitsluitend een symmetriecentrum.

Op basis van de **aanwezige symmetrie-elementen** (meer specifiek, van de symmetrieassen) zal men kristallen in **kristalstelsels** onderbrengen.

Er zijn **7 verschillende kristalstelsels** die in tabel 5.1 worden samengevat in volgorde van toenemende symmetrie van hun kenmerkende symmetrieassen.

*tabel 5.1 de 7 kristalstelsels en hun kenmerkende symmetrieassen*

kristalstelsel	typische symmetrieas*
triklien	geen symmetrieassen
monoklien	één tweetallige as
orthorombisch	drie tweetallige assen loodrecht op elkaar
trigonaal	één drietallige as
tetragonaal	één viertallige as
hexagonaal	één zestallige as
kubisch	vier drietallige assen

*\* deze tabel is een vereenvoudigde voorstelling omdat rotatie-inversie-assen die soms de plaats van een gewone symmetrieas kunnen innemen in deze tekst niet behandeld worden.*

Elk kristal, iedere mineraalsoort behoort tot een bepaald kristalstelsel; zo behoren pyriet en fluoriet tot het kubisch stelsel, gips tot het monoklien, kwarts is trigonaal, enz.

Voorbeelden van kristallen uit de verschillende stelsels met aanduiding van de kenmerkende symmetrieas(en) worden in volgende figuren weergegeven.

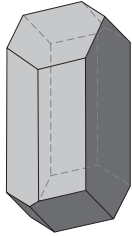


fig. 5.29 triklien

geen symmetrieas (mineraal: albiet)

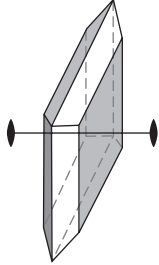


fig. 5.30 monoklien

één tweetallige as (mineraal: gips)

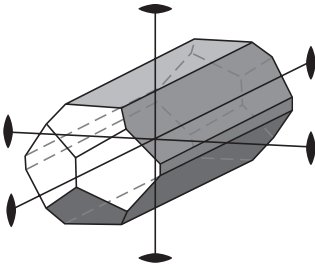


fig. 5.31 orthorombisch

drie tweetallige assen (mineraal: celestien)

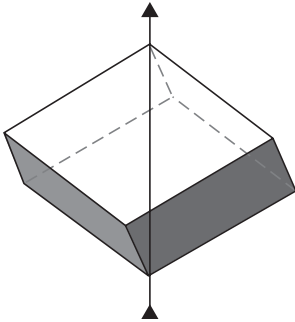


fig. 5.32 trigonaal

één drietallige as (mineraal: calciet)

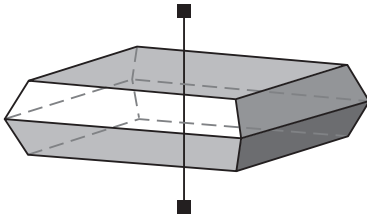


fig. 5.33 tetragonaal één viertallige as (mineraal: wulfeniet)

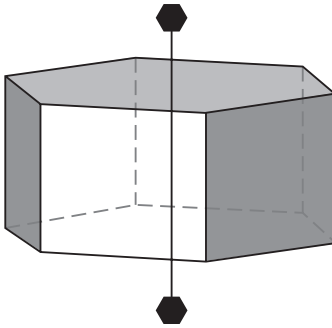


fig. 5.34 hexagonaal één zestallige as (mineraal: vanadinit)

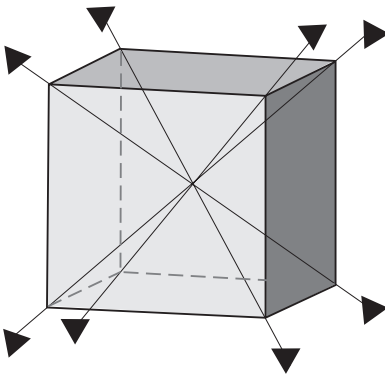


fig. 5.35 kubisch vier drietallige assen (mineraal: fluoriet)

Op grond van de typische symmetrieas(sen) in een kristal kan men dat kristal in één van de zeven kristalstelsels onderbrengen. Uit wat voorafging (5.4) blijkt echter dat kristallen meerdere symmetrie-elementen in combinatie met elkaar kunnen bevatten. Op grond van die **combinaties van symmetrie-elementen** zal men ieder kristalstelsel verder onderverdelen in **kristalklassen**.

Zo zal men bijvoorbeeld het minst symmetrische stelsel (= het triklien stelsel) onderverdelen in twee klassen; een klasse waar helemaal geen symmetrie-elementen aanwezig zijn en een klasse met uitsluitend een symmetriecentrum als symmetrie-element. Het tetragonale stelsel kan men daarentegen op grond van de combinatie van de viertallige as met andere symmetrie-elementen (tweetalige assen, symmetrievlakken,..) in zeven klassen onderverdelen (waarvan er overigens slechts een tweetal echt van belang zijn).

Men kan aantonen dat aan de combinaties van symmetrie-elementen in kristallen grenzen zijn en dat slechts een beperkt aantal combinaties van symmetrie-elementen mogelijk is. In totaal zijn er 32 verschillende mogelijkheden en bijgevolg onderscheidt men **32 kristalklassen**.

## 5.6 VORM

In de kristallografie heeft het begrip ‘vorm’ een heel andere betekenis dan in het dagelijks leven.

Een **kristalvorm**, of kortweg **vorm** is een verzameling van fysisch gelijkaardige (zeg maar equivalente) kristalvlakken. Dergelijke vlakken hebben een **verband met elkaar door symmetrie-elementen**. Bij reële kristallen zijn de vlakken die tot één vorm behoren gelijkwaardig in die zin dat ze eenzelfde glans vertonen of voorzien zijn van identieke striaties (zie 6.2 blz. 126) of etsputjes. Ze hoeven echter niet even groot te zijn of een gelijkaardig geometrisch uiterlijk te hebben.

Het aantal vlakken dat een vorm bevat hangt af van de aanwezige symmetrie elementen.

Een vorm is dus een verzameling kristalvlakken die door een symmetrie-element, of door een combinatie van symmetrie-elementen, vertrekkende van één vlak gevormd worden.

In figuur 5.36 vertrekt men bijvoorbeeld van één vlak dat evenwijdig is met een zestallige as. Deze zestallige as vermenigvuldigt het vlak tot er uiteindelijk een geheel van zes vlakken ontstaat. De ontstane vorm noemt men een zeshoekig prisma.

Alle mogelijke kristalvormen hebben een naam. De namen zijn afgeleid van Griekse woorden zoals *hedron* (vlak), *gonia* (hoek) en *romb* (ruit). Verder wordt gebruik gemaakt van de Griekse namen voor de cijfers: *mono* (1), *di* (2), *tri* (3), *tetra* (4), *penta* (5), *hexa* (6), *octa* (8) en *dodeca* (12). In totaal zijn er **47 verschillende kristalvormen**.

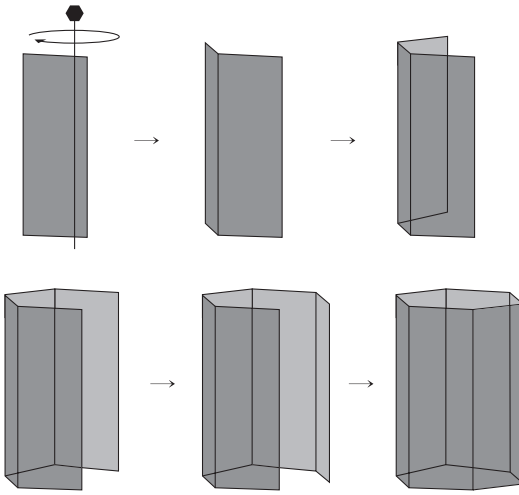


fig. 5.36 een vorm is een verzameling kristalvlakken die door een symmetrie-element, of door een combinatie van symmetrie-elementen, uitgaande van één vlak gevormd worden. Een zestallige as vermenigvuldigt een vlak evenwijdig met die as tot er uiteindelijk een geheel van zes vlakken ontstaat. De ontstane vorm noemt men een zeshoekig prisma.

Het kristal in figuur 5.36 is echter nog niet af. Aan de boven- en onderkant is het nog open. Men zegt dan ook dat het zeshoekig prisma een **open vorm** is. Een vorm is open wanneer hij de ruimte niet omvat. M.a.w. een kristal kan niet uitsluitend uit één open vorm bestaan.

Om het kristal van figuur 5.36 ‘af te sluiten’ dient het aan de boven- en onderkant nog bedekt met een andere vorm. De eenvoudigste vorm die daarvoor in aanmerking komt is een basaalvlak, of basispinacoïd, maar het kristal kan evengoed door een hexagonale piramide beëindigd worden (fig. 5.37).

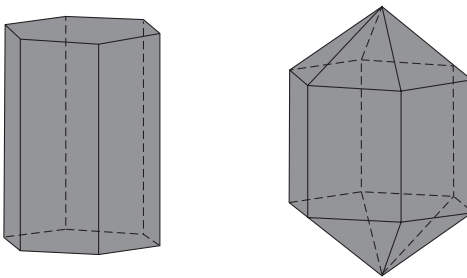


fig. 5.37 een hexagonaal prisma is een open vorm in het linkse kristal is hij beëindigd door een basispinacoïd en in het kristal rechts door een hexagonale piramide

Een **gesloten** vorm omsluit de ruimte wel. Bijvoorbeeld een hexagonale dipiramide (fig. 5.38) of een octaëder. Een kristal kan dus wel uitsluitend uit één gesloten vorm bestaan.

Enkel niet-kubische vormen kunnen open vormen zijn. Alle kubische vormen (kubus, octaëder, enz.) zijn gesloten vormen.

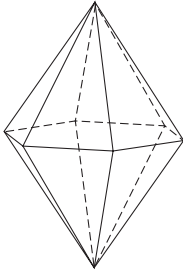


fig. 5.38 een gesloten vorm omsluit de ruimte (hier een hexagonale dipiramide)

Een vorm kan **variabel** of **invariabel** zijn. Bij een invariabele vorm (bijvoorbeeld een octaëder of een kubus) hebben de vlakken altijd dezelfde ruimtelijke ligging. Bij een variabele vorm (bijvoorbeeld de piramide) kan die ligging verschillend zijn; er zijn dus verschillende soorten piramidevlakjes aan een kristal mogelijk. In figuur 5.39 zijn twee verschillende hexagonale piramiden (een spitse en een stompe) afgebeeld.

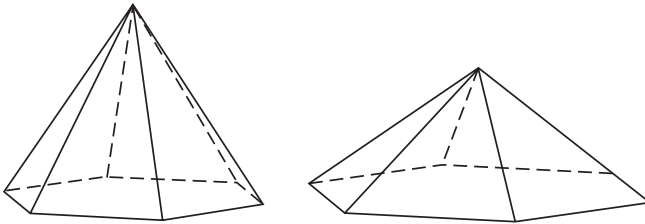


fig. 5.39 een hexagonale piramide is een variabele vorm

Sommige vormen hebben een verschillende beëindiging zoals bij de piramide (fig. 5.39) die aan de ene kant een punt heeft en weer niet aan de andere kant. Een dergelijke vorm noemt men **polair**. De dipiramide (fig. 5.38) echter heeft twee punten die identiek zijn en bijgevolg noemt men een dergelijke vorm **homopolair**.

Bij de meeste kristallen die men in de natuur aantreft zijn meerdere vormen in combinatie met elkaar aanwezig. Een typisch voorbeeld werd reeds in figuur 5.5 getoond; het kwartskristal in deze figuur bestaat uit 5 verschillende vormen die elk met een letter worden aangeduid. De combinatie van vormen die men in één kristal kan terugvinden noemt men de **dracht**.

Nu zullen bij een bepaalde dracht de verschillende vormen niet noodzakelijk even groot zijn. Sommige vormen zullen als vrij grote vlakken aan het kristal aanwezig zijn terwijl andere vormen door kleinere of zelfs minuscule vlakjes vertegenwoordigd worden.

Een typische dracht bij kubische kristallen is de combinatie van de kubus met de octaëder die reeds in figuur 5.14 werd getoond. Afhankelijk of de kubusvlakjes, dan wel de octaëdervlakjes het uiterlijk bepalen zal men van een kubische habitus (fig. 5.14 rechts) of van een octaëdrische habitus (fig. 5.14 links) spreken.

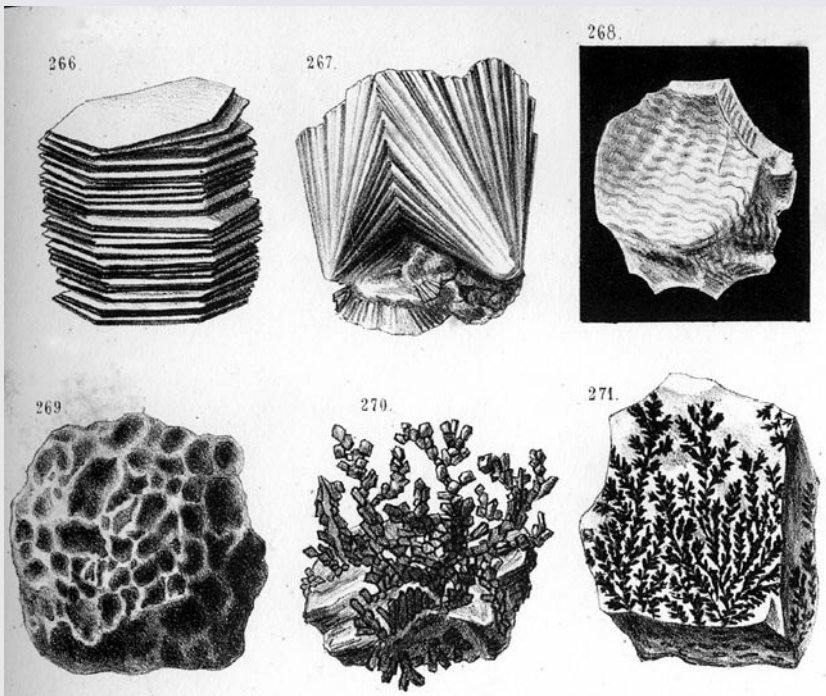
Onder **habitus** verstaat men de **dominante kristalvorm** die het **globale uiterlijk** van het kristal bepaalt. De habitus wordt dus bepaald door de relatieve afmetingen van de vlakken van een kristal.





## MORFOLOGISCHE KENMERKEN

*In vorig hoofdstuk werden de wetmatigheden in de morfologie van kristallen beschreven. Er werd aangetoond hoe zowel het voorkomen van kristalvlakken in zones als de wet van de constante tweevlakshoek een direct gevolg zijn van de kristalstructuur. Die kristalstructuur zorgt er ook voor dat in de morfologie van kristallen een bepaalde symmetrie optreedt. Aan de hand van die symmetrie kan men kristallen in 7 kristalstelsels en zelfs verder in 32 klassen onderverdelen. In dit hoofdstuk wordt de nadruk gelegd op de beschrijving van de morfologie van kristallen als een belangrijk hulpmiddel voor het determineren en herkennen van mineralen.*



VOORBEELDEN VAN DIVERSE AGGREGAATVORMEN

*Luigi Bombicci, Corso di mineralogia, Bologna, 1862*

## 6.1 KRISTALSTELSELS EN HUN VOORNAAMSTE VORMEN

Het uiterlijk van een kristal en de manier waarop kristallen samengroeien (aggregaat) zijn heel belangrijke hulpmiddelen om mineralen te herkennen en te determineren. Sommige kristallen hebben een zodanig typisch uiterlijk dat de identiteit van het betreffende mineraal onmiddellijk vast staat. Anderzijds moet men er wel rekening mee houden dat de kristallen van één mineraalsoort, naargelang de ontwikkeling van de aanwezige vormen, er ook heel verschillend kunnen uitzien.

Een volledige beschrijving van een kristal omvat de vermelding van:

- **kristalstelsel**
- **kristalklasse**
- **dracht** (aanwezige vormen)
- **habitus** (dominante vorm)

In vorig hoofdstuk (5.5) werd reeds gezegd dat men kristallen in 7 kristalstelsels kan onderbrengen. Tot welk kristalstelsel een kristal behoort, hangt af van de aanwezige symmetrie-elementen en in het bijzonder van de aanwezige symmetrieassen.

In deze paragraaf worden de verschillende **kristalstelsels**, hun symmetrie en hun voornaamste vormen behandeld. Met die informatie is het dan in de meeste gevallen mogelijk om het kristalstelsel van een gegeven kristal te bepalen. Het vaststellen van de **kristalklasse** kan een veel lastiger opgave zijn en is zelfs niet altijd uitsluitend aan de hand van de kristalmorfologie mogelijk. De verschillende kristalklassen worden in deze tekst niet behandeld.

## KUBISCH STELSEL

Kristallen die tot het kubisch stelsel behoren, hebben de **grootst mogelijke symmetrie** met een maximum van:

- 9 symmetrievlakken
- drie 4-tallige assen
- vier 3-tallige assen
- zes 2-tallige assen
- een symmetriecentrum

Het kubisch stelsel is in dat opzicht uniek omdat dit het enige stelsel is met meer dan één n-tallige as, met  $n > 2$ .

Binnen het kubisch stelsel onderscheidt men vijf verschillende kristalklassen. Typisch voor al deze klassen is de aanwezigheid van **vier 3-tallige assen**. De 4-tallige assen daarentegen zijn niet typisch voor het kubisch stelsel! Bij sommige kubische kristallen zijn deze 4-tallige assen afwezig en komen er 2-tallige assen voor in de plaats (kristallen van pyriet zijn daar een voorbeeld van).

**Typische voorbeelden** van kristallen die tot het kubisch stelsel behoren, zijn: fluoriet, haliet, pyriet, granaten, diamant, spinel, galeniet, sfaleriet, magnetiet.

Alle vormen van het kubisch stelsel zijn gesloten vormen. M.a.w. iedere vorm van het kubisch stelsel kan de ruimte omvatten en bijgevolg kan een kubisch kristal uit slechts één enkele vorm bestaan. Dit is in de praktijk bekend voor kristallen met als enig aanwezige vorm de kubus, de octaëder, de dodecaëder enz. De overige, minder frequente vormen of deze die beperkt zijn tot één enkele klasse in het kubisch stelsel, komen meestal in combinatie met andere, meer frequente vormen voor.

Het is in teksten over kristallografie de gewoonte om **kristalvlakken** van **lettersymbolen** te voorzien. In principe kan men gelijk welk symbool kiezen, maar in de loop der jaren is een soort stilzwijgende conventie ontstaan over de meest gangbare symbolen. De meest gebruikelijke symbolen worden ook in deze tekst vermeld.

Naast deze lettersymbolen vindt men in de meeste handboeken ook numerieke symbolen zoals (100), (110), (111) enz. Deze symbolen, die men **Miller indices** noemt (W.H. Miller, 1801-1880), geven informatie over de ruimtelijke ligging van een kristalvlak met betrekking tot een bij dat kristal gekozen assenstelsel. De bespreking ervan valt buiten het bestek van deze tekst.

De voornaamste vormen zijn:

***kubus:***

deze vorm (fig. 6.1) bestaat uit zes vierkante vlakken die loodrecht op elkaar staan. Vanwege de zes vlakken, noemt men deze vorm ook hexaëder. Kubusvlakken worden door het lettersymbool **a** aangeduid. De drietallige assen lopen vanuit het centrum door de hoekpunten van de kubus (zie ook fig. 5.20).

De kubus is bijvoorbeeld een heel frequente vorm bij fluoriet, haliet, pyriet en galeniet.

***octaëder:***

deze vorm (fig. 6.2) bestaat uit acht gelijkzijdige driehoek vlakken. De drietallige assen staan loodrecht op de octaëdervlakken. Het symbool is **o**.

Een voorname vorm bij o.a. fluoriet, diamant, spinel, magnetiet.

***dodecaëder:***

de dodecaëder (fig. 6.3), symbool **d**, bestaat uit twaalf ruitvormige vlakken en vanwege de ruitvorm (rombus) wordt deze vorm ook wel rombendodecaëder genoemd. Een vorm die typisch is voor granaatkristallen.

***trapezoëder:***

deze vorm (fig. 6.4) bestaat uit 24 trapeziumvormige vlakken. Het gebruikelijke symbool is **n**. Men kan een dergelijk kristal ook opvatten als een octaëder waarbij elk octaëdervlak door drie vierhoekige vlakken is vervangen; vandaar de officiële benaming: tetragontrioctaëder. Ook deze vorm komt veel bij granaat voor.

***pentagondodecaëder:***

de pentagondodecaëder (fig. 6.5), symbool **e**, bestaat uit twaalf onregelmatige vijfhoeken waarvan één van de ribben langer is dan de overige vier. Omdat deze vorm typisch is voor het mineraal pyriet wordt hij soms ook pyritoëder genoemd.

***tetraëder:***

de tetraëder (fig. 6.6), symbool **o**, bestaat uit vier vlakken die ieder een gelijkzijdige driehoek zijn. Meestal komt deze vorm voor in combinatie met de kubus. De vlakken van de tetraëder hebben dezelfde ruimtelijke ligging als octaëdervlakken, maar het zijn er slechts 4 i.p.v. 8, wat te wijten is aan een lagere symmetrie (2-tallige i.p.v. 4-tallige assen).

De tetraëder vindt men bij mineralen zoals sfaleriet en tetraëdriet.

Al deze vormen kunnen alleen voorkomen of in **combinatie** met elkaar. Enkele veel voorkomende combinaties zijn in figuren 6.7 tot 6.11 afgebeeld.

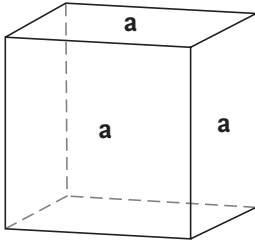


fig. 6.1 kubus (a)

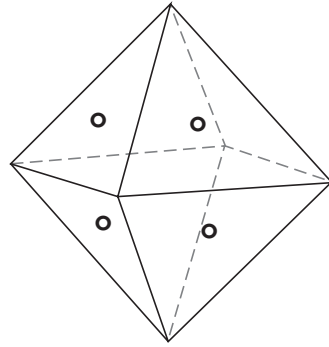


fig. 6.2 octaëder (o)

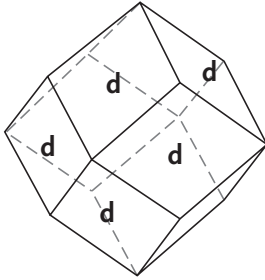


fig. 6.3 dodecaëder (d)

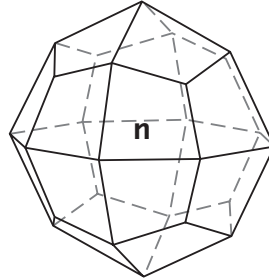


fig. 6.4 trapezoëder (n)

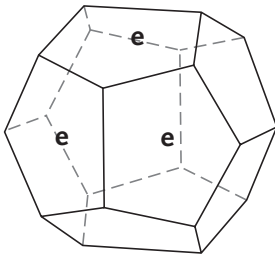


fig. 6.5 pentagondodecaëder (e)

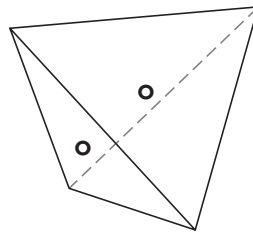


fig. 6.6 tetraëder (o)

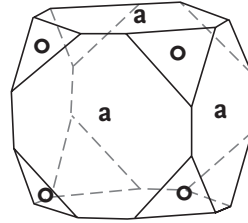
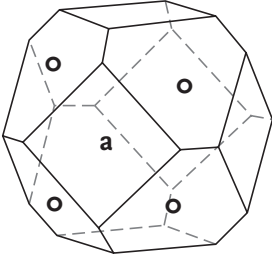


fig. 6.7 kubus (a) + octaëder (o); het verschil in uiterlijk tussen beide kristallen is enkel te wijten aan de verschillende afmetingen van overeenkomstige vlakken

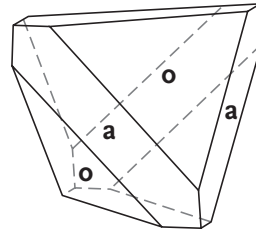
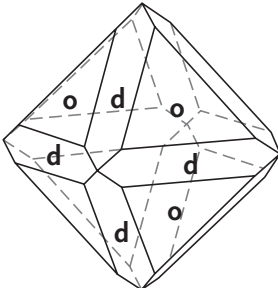


fig. 6.8 octaëder (o) + dodecaëder (d)

fig. 6.9 tetraëder (o) + kubus (a)

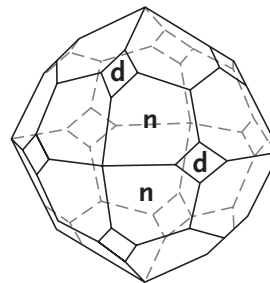
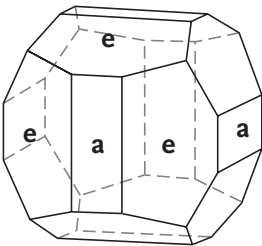


fig. 6.10 kubus (a) + pentagondodecaëder (e)

fig. 6.11 dodecaëder (d) + trapezoëder (n)



## HEXAGONAAL STELSEL

Alle kristallen die tot het hexagonaal stelsel behoren hebben één **6-tallige as**. Deze 6-tallige as is het meest opvallende kenmerk van dit stelsel. Verder kunnen er maximaal nog volgende symmetrie elementen aanwezig zijn:

- zes 2-tallige assen (loodrecht op de 6-tallige as)
- zeven symmetrievlakken (zes evenwijdig aan de 6-tallige as en het zevende loodrecht er op)
- een symmetriecentrum

Afhankelijk van de combinatie en de al of niet aanwezigheid van bovengenoemde symmetrie elementen, kan men in het hexagonaal stelsel zeven kristalklassen onderscheiden.

Hexagonale kristallen beeldt men altijd af met de 6-tallige as in verticale positie.

**Typische voorbeelden** van mineralen die tot het hexagonaal stelsel behoren, zijn onder andere beryl, apatiet, pyromorfiet, vanadinit.

De **voornaamste vormen** zijn:

### *hexagonaal prisma:*

een prisma is een vorm die bestaat uit drie of meer vlakken waarvan de snijlijnen evenwijdig aan elkaar zijn. Het hexagonaal prisma (fig. 6.12) bestaat uit zes vlakken die evenwijdig zijn aan de 6-tallige as. Men onderscheidt eerste orde prismavlakken (symbool **m**) en tweede orde prismavlakken (symbool **a**). De tweede orde prismavlakken zijn t.o.v. de eerste orde prismavlakken 30° gedraaid rond de 6-tallige as.

Omdat prisma's open vormen zijn komen ze altijd voor in combinatie met andere vlakken. Tweede orde prismavlakken komen veel minder voor dan eerste orde prismavlakken. Als beide soorten prismavlakken op eenzelfde kristal aanwezig zijn (fig. 6.13) dan zijn in de regel de tweede orde prismavlakken kleiner dan de eerste orde prismavlakken.

### *hexagonale piramiden en dipiramiden:*

een piramide definieert men als een vorm die bestaat uit drie of meer vlakken die elkaar snijden in een punt. Een dipiramide is een vorm die bestaat uit twee piramiden die met de basissen tegen elkaar liggen. De hexagonale piramide bestaat uit 6 vlakken, de dipiramide (fig. 6.14) uit 12. Ook hier onderscheidt men een eerste orde (symbool **p**) en een tweede orde hexagonale dipiramide (symbool **s**), die elk uit twaalf vlakken bestaan. Het onderscheid tussen eerste en tweede orde is vergelijkbaar met dat bij de prismavlakken.

*pinacoïd:*

de pinacoïd (symbool *c*) of paralleloëder is een vorm die bestaat uit twee evenwijdige vlakken. In het hexagonaal stelsel treft men de basispinacoïd (fig. 6.12) aan die bestaat uit twee vlakken loodrecht op de 6-tallige as.

De vormencombinatie die een prismatisch (meestal langgerekt) kristal afsluit, noemt men **terminatie**. Bij hexagonale kristallen is dat meestal de basispinacoïd, al dan niet in, soms complexe, combinatie met (di)piramidevlakjes (fig. 6.15).

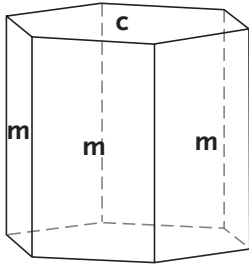


fig. 6.12 eerste orde prisma (*m*) + basispinacoïd (*c*)

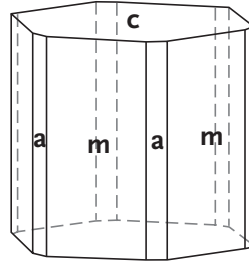


fig. 6.13 eerste orde prisma (*m*) + tweede orde prisma (*a*) + basispinacoïd (*c*)

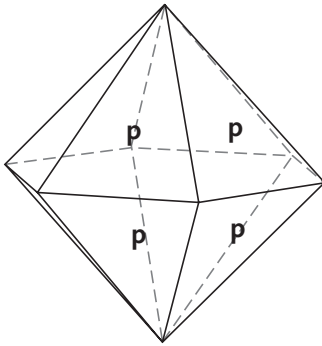


fig. 6.14 eerste orde dipiramide (*p*)

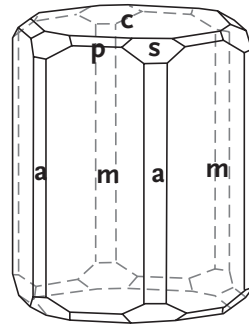


fig. 6.15 eerste orde prisma (*m*) + tweede orde prisma (*a*) + basispinacoïd (*c*) + eerste orde dipiramide (*p*) + tweede orde dipiramide (*s*)

## TRIGONAAL STELSEL

Alle kristallen die tot het trigonaal stelsel behoren hebben één **3-tallige as**. Men kan een trigonaal kristal dus vergelijken met een hexagonaal kristal, maar dan met een 3-tallige in plaats van een 6-tallige symmetrieas. Vandaar dat men in sommige studieboeken dit stelsel onder het hexagonaal stelsel behandelt.

Verder kunnen er maximaal nog volgende symmetrie-elementen aanwezig zijn:

- drie 2-tallige assen (loodrecht op de 3-tallige as)
- drie symmetrievlakken (loodrecht op de 2-tallige assen)
- een symmetriecentrum

Afhankelijk van de combinatie en de al of niet aanwezigheid van de genoemde symmetrie elementen, kan men in het trigonaal stelsel vijf kristalklassen onderscheiden.

**Typische voorbeelden** van mineralen die tot het trigonaal stelsel behoren, zijn kwarts, calciet, dolomiet, toermalijn, korund en hematiet.

De **voornaamste vormen** zijn:

### *romboëder:*

de romboëder (fig. 6.16) is een vorm die uit zes ruitvormige vlakken bestaat. Hij is op te vatten als een kubus die men in de richting van een 3-tallige as heeft samengedrukt of uitgerekt. Er bestaan heel wat romboëders en afhankelijk van de hoeken tussen de kristalvlakken zal men van spitse (fig. 6.17) of van stompe romboëders (fig. 6.18) spreken. Afhankelijk van hun ligging in het kristal zal men ook over positieve (symbool  $r$ ) en negatieve romboëders (symbool  $z$ ) spreken. Deze beide vormen komen frequent bij kwartskristallen voor (zie o.a. fig. 5.5).

### *ditrigonale scalenoëder:*

deze vorm (fig. 6.19) die men meestal kortweg scalenoëder noemt, lijkt wat op een dipiramide. Elk van de twaalf vlakken van de scalenoëder heeft echter de vorm van een onregelmatige driehoek en de snijlijn van de zes bovenste vlakken met de zes onderste, verloopt op en neer.

### *prisma:*

In kristallen die tot het trigonaal stelsel behoren, kunnen zowel het trigonaal als het hexagonaal prisma voorkomen.

### *piramide en dipiramiden:*

deze vormen zijn te vergelijken met de (di)piramiden die bij hexagonale kristallen voorkomen, maar het aantal vlakken waaruit de vorm bestaat is bij trigonale kristallen gehalveerd.

*pinacoïd:*

Net zoals in het hexagonaal stelsel treft men de basispinacoïd aan die bestaat uit twee vlakken loodrecht op de 3-tallige as.

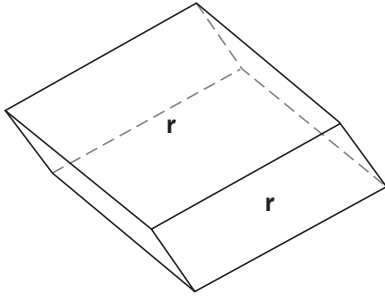


fig. 6.16 romboëder

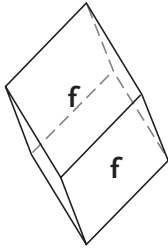


fig. 6.17 spitse romboëder (f)

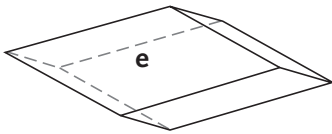


fig. 6.18 stompe romboëder (e)

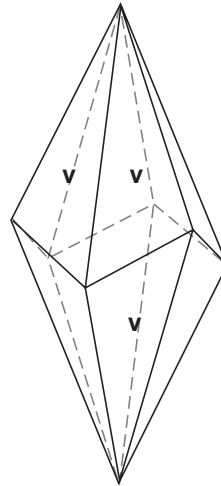


fig. 6.19 scalenoëder (v)

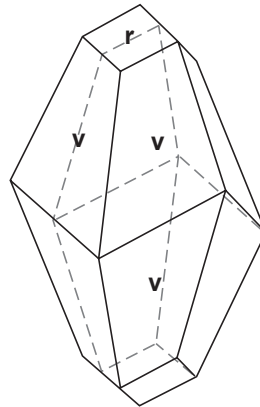


fig. 6.20 scalenoëder (v) + romboëder (r)

## TETRAGONAAL STELSEL

Kenmerkend voor kristallen die tot het tetragonaal stelsel behoren, is de aanwezigheid van één **4-tallige as**.

Verder kunnen nog volgende symmetrie elementen voorkomen:

- vier 2-tallige assen (loodrecht op de 4-tallige as).
- vijf symmetrievlakken (vier verticaal evenwijdig aan de 4-tallige as en het vijfde loodrecht daarop)
- een symmetriecentrum

Afhankelijk van de combinatie van de aanwezige symmetrie elementen wordt het tetragonaal stelsel nog onderverdeeld in zeven verschillende kristalklassen. Tetragonale kristallen beeldt men altijd af met de 4-tallige as in verticale positie.

**Typische voorbeelden** van mineralen die tot het tetragonaal stelsel behoren zijn onder andere zirkoon, vesuvianiet, wulfeniet, rutiel, chalcopyriet, cassiteriet, apofylliet, en anataas.

De **voornaamste vormen** zijn:

### *tetragonaal prisma:*

het tetragonaal prisma (fig. 6.21) bestaat uit vier vlakken die loodrecht op elkaar staan en evenwijdig zijn aan de 4-tallige as.

Ook in het tetragonaal stelsel heeft men prismavlakken van eerste orde (symbool *m*) en van tweede orde (symbool *a*). Deze vlakken kunnen slechts van elkaar onderscheiden worden als ze in combinatie met elkaar voorkomen (fig. 6.22); men kiest de voornaamste prismavlakken dan als eerste orde vlakken.

Omdat het tetragonaal prisma een open vorm is, komen prismavlakken altijd samen met andere vlakken voor.

### *tetragonale piramide en dipiramide:*

de tetragonale dipiramide bestaat uit acht vlakken en ook hier onderscheidt men (fig. 6.23) zowel een eerste orde dipiramide (symbool *p*) als een tweede orde dipiramide (symbool *e*).

### *disfenoïd:*

de disfenoïd (fig. 6.24) is een vorm (symbool *r*) die uit vier vlakken bestaat en die te vergelijken is met een tetraëder maar dan met gelijkbenige in plaats van gelijkzijdige driehoeken. Vandaar overigens de officiële naam: tetragonale tetraëder. Chalcopyrietkristallen vertonen dikwijls disfenoïden die bij dit mineraal overigens erg op tetraëders lijken.

### *pinacoïd:*

net zoals bij hexagonale en trigonale kristallen komt de basispinacoïd voor; een vorm die bestaat uit twee horizontale vlakken (= loodrecht op de 4-tallige as).

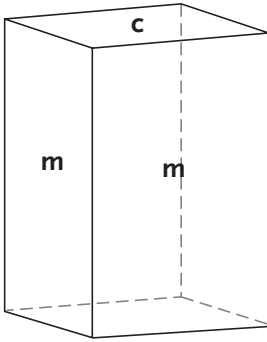


fig. 6.21 tetragonaal prisma (m)  
+ basispinacoïd (c)

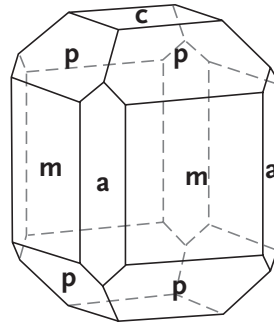


fig. 6.22 1<sup>ste</sup> orde tetragonaal prisma (m)  
+ 2<sup>de</sup> orde tetragonaal prisma (a)  
+ 1<sup>ste</sup> orde tetragonale dipiramide (p)  
+ basispinacoïd (c)

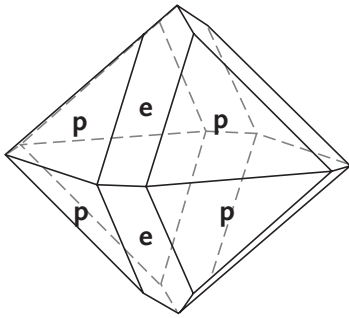


fig. 6.23 1<sup>ste</sup> orde dipiramide (p)  
+ 2<sup>de</sup> orde dipiramide (e)

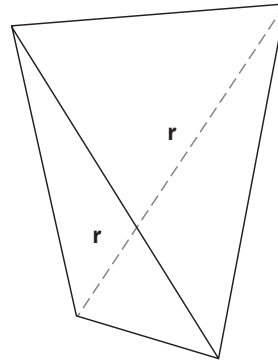


fig. 6.24 disfenoïd (r)

## ORTHOROMBISCH STELSEL

Kenmerkend voor kristallen die tot het orthorombisch stelsel behoren, is de aanwezigheid van **2-tallige assen** en de afwezigheid van 3-, 4- of 6-tallige assen. De meeste kristallen die in het orthorombisch stelsel uitkristalliseren hebben drie 2-tallige assen die loodrecht op elkaar liggen.

Binnen het orthorombisch stelsel onderscheidt men drie kristalklassen. Eén van die klassen heeft slechts één 2-tallige as die echter de snijlijn is van twee, loodrecht op elkaar staande symmetrievlakken.

**Typische voorbeelden** van mineralen die tot het orthorombische stelsel behoren zijn onder andere aragoniet, cerussiet, bariet, marcasiet, stibniet, en topaas.

De **voornaamste vormen** zijn:

### *orthorombisch prisma:*

orthorombische prisma's hebben vier vlakken die evenwijdig zijn aan één van de drie 2-tallige assen. Afhankelijk van aan welke 2-tallige as een prismavlak evenwijdig is, spreekt men van 1<sup>ste</sup>-, 2<sup>de</sup>- of 3<sup>de</sup>-orde prismavlak (fig. 6.25).

### *orthorombische dipiramide:*

deze vorm (fig. 6.26) bestaat uit acht driehoekige vlakken die telkens alle drie de 2-tallige assen snijden.

### *orthorombische pinacoïd:*

ook bij de pinacoïdvlakjes (fig. 6.27) onderscheidt men drie types, front-, zij- en basispinacoïd (symbolen respectievelijk a, b, c) die telkens loodrecht staan op één van de 2-tallige assen, en evenwijdig zijn aan de overige twee.

Welke pinacoïd men als front- als zij- of als basispinacoïd zal kiezen hangt o.a. af van de relatieve afmetingen van de betreffende kristalvlakken. Deze problematiek wordt hier echter niet behandeld.

Van het orthorombisch prisma en van de dipiramide zijn er per mineraalsoort uiteraard verschillende oriëntatievarianten mogelijk. M.a.w. een kristal kan bijvoorbeeld uit meerdere soorten prisma- en dipiramidevlakken bestaan, zoals het topaaskristal in fig. 6.28.

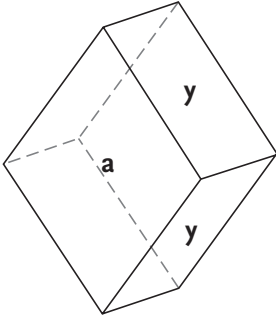


fig. 6.25 frontpinacoïd (a)  
+ 1ste orde prisma (y)

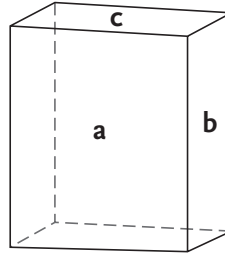


fig. 6.27 frontpinacoïd (a)  
zijpinacoïd (b) basispinacoïd (c)

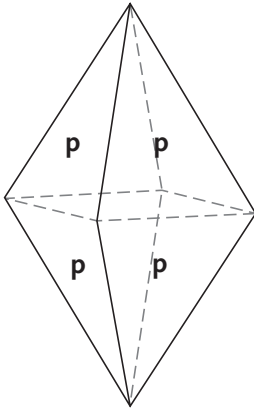


fig. 6.26 orthorombische dipiramide (p)

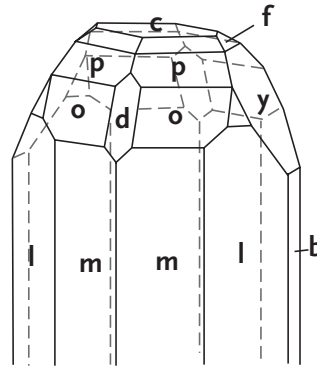


fig. 6.28 topaaskristal met 1<sup>ste</sup> orde  
prisma's (y, f) 2<sup>de</sup> orde prisma (d)  
3<sup>de</sup> orde prisma's (m, l) dipiramiden  
(o, p) zijpinacoïd (b) basispinacoïd (c)



## MONOKLIEN STELSEL

Kristallen die tot het monoklien stelsel behoren hebben één **2-tallige as**.

Er is één klasse binnen het monoklien stelsel waar die 2-tallige as ontbreekt maar in de plaats daarvan is er dan een symmetrievlak loodrecht op waar normaal de 2-tallige as ligt.

Verder kunnen nog volgende symmetrie elementen voorkomen:

- symmetrievlak (indien aanwezig, loodrecht op de 2-tallige as)
- symmetriecentrum

Binnen het monoklien stelsel onderscheidt men drie klassen.

**Typische voorbeelden** van mineralen die tot het monoklien stelsel behoren, zijn o.a. augiet, azuriet, titaniet, epidoot, orthoklaas, nefriet, diopsiet, gips, enz.

De **voornaamste vormen** zijn:

### *monoklien prisma:*

monokliene prisma's zijn vormen die uit vier vlakken bestaan en die gedeeltelijk te vergelijken zijn met de prismavlakken in het orthorombisch stelsel.

### *monokliene pinacoïden:*

Net zoals in het orthorombisch stelsel treft men bij monokliene kristallen pinacoïd vlakken aan en men gebruikt dezelfde nomenclatuur van front-, zij- en basispinacoïd. De zijpinacoïd staat loodrecht op de 2-tallige as.

Gezien de lagere symmetrie komt de achtvakkige dipiramide niet voor (men treft die wel aan in het orthorombisch stelsel).

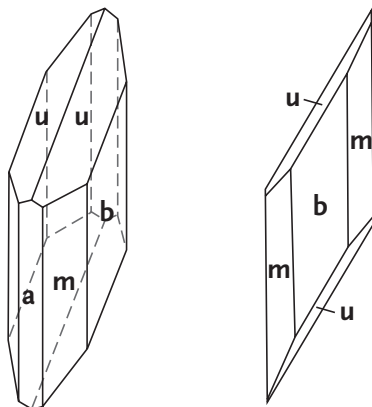


fig. 6.29 gipskristal (voor- en zijaanzicht) pinacoïden (a, b) prisma's (m, u).

## TRIKLIEN STELSEL

Het trikliën stelsel wordt in twee klassen onderverdeeld; een van de klassen heeft een symmetriecentrum als enige symmetrieoperatie, de andere klasse heeft geen symmetrie. Van symmetrieassen of symmetrievlakken is in het trikliën stelsel geen spraak.

**Typische voorbeelden** van mineralen die tot het trikliën stelsel behoren, zijn kyaniet, rhodoniet en albiet.

De voornaamste vormen zijn:

### *trikliene pinacoïd:*

deze vorm bestaat telkens uit twee aan elkaar evenwijdige vlakken aan tegenovergestelde kanten van het kristal.

### *trikliën pedion:*

voor de kristallen waar zelfs het symmetriecentrum ontbreekt heeft een kristalvlak geen overeenkomstig vlak aan de andere kant van het kristal. M.a.w. een pinacoïd reduceert zich tot een pedion (of monoëder); een vorm die slechts uit één vlak bestaat. Dergelijke kristallen zijn dan opgebouwd uit een hele reeks verschillende pedion vlakken.

Gezien de lage symmetrie van trikliene kristallen zijn het aantal mogelijke vormen beperkt tot pinacoïden en pedions. Dit sluit evenwel niet uit dat een aantal trikliene kristallen best vlakkenrijk (en erg complex) kunnen zijn.

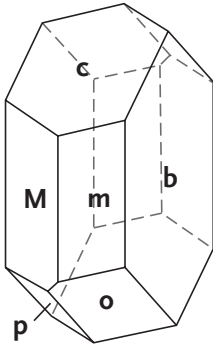


fig. 6.30 een albietkristal bestaande uit diverse pinacoïdvlakken

## 6.2 MORFOLOGIE VAN REËLE KRISTALLEN

Van kristallen die hun **eigen, ideale vorm** vertonen zegt men dat ze **idiomorf** zijn. De kristalafbeeldingen in de vorige paragraaf zijn allemaal afbeeldingen van ideale kristallen. In de natuur zijn idiomorfe kristallen heel zeldzaam en strikt genomen zelfs onbestaande. Kristallen met goed, tot bijna volmaakt ontwikkelde kristalvlakjes komen meer voor; dergelijke kristallen noemt men **ehedrisch**.

De meeste kristallen vertonen wel een of ander defect en zelden zullen ze de ideale vorm hebben. Deze ‘defecten’ kan men grotendeels in twee categorieën onderbrengen:

- afwijkingen in de relatieve afmetingen van de kristalvlakken
- defecten aan de oppervlakte van kristalvlakken

Afwijkingen in de relatieve afmetingen van de kristalvlakken treden regelmatig op.

De relatieve afmetingen van **diverse vormen** in één kristal wordt door het begrip habitus aangeduid. In vorig hoofdstuk werd er, in de paragraaf 5.3 over kristalgroei, reeds op gewezen dat de habitus van een kristal het gevolg is van de kristalstructuur en van de groeiomstandigheden.

Toch zijn de kristallen zoals in figuur 5.14 afgebeeld niet als afwijkingen te aanzien. Men spreekt slechts van een afwijking wanneer één of meerdere vlakken van één vorm zich verschillend hebben ontwikkeld.

Men kan dit illustreren aan de hand van een eenvoudige octaëder. In figuur 6.31 vertrekt men links boven van een ideaal ontwikkelde octaëder. Wanneer nu één of meerdere vlakjes een afwijkende afmeting (in feite een verschillende groeisnelheid) hebben, dan kan het uiterlijk van het kristal zodanig veranderd zijn dat de octaëdervorm nog maar moeilijk te herkennen is. Het herkennen van de vlakken is in figuur 6.31 geen probleem omdat de vlakken genummerd zijn en omdat alle octaëders op identiek dezelfde manier georiënteerd zijn. Wanneer men echter een dergelijk kristal (bijvoorbeeld van magnetiet) zonder verdere aanwijzingen in handen krijgt, dan is het herkennen ervan niet altijd even vanzelfsprekend.

Afwijkingen zoals geïllustreerd in figuur 6.31, zijn vrijwel uitsluitend een gevolg van de groeiomstandigheden en niet zozeer van de kristalstructuur.

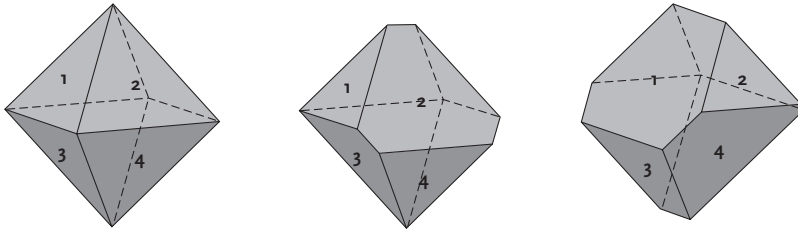
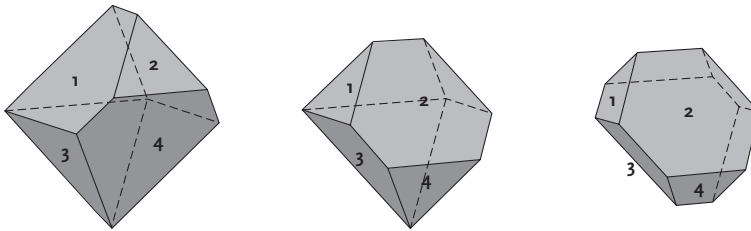


fig. 6.31 links boven een ideaal ontwikkelde octaëder. Wanneer nu één of meerdere vlakjes een afwijkende afmeting (in feite een verschillende groeisnelheid) hebben, dan kan het uiterlijk van het kristal zodanig veranderd zijn dat de octaëdervorm nog maar moeilijk te herkennen is.



Hoewel de relatieve afmetingen van de kristalvlakken gewijzigd zijn, blijven de **hoeken** tussen de verschillende vlakken **steeds constant** (eerste hoofdwet van de kristallografie).

De **symmetrie** daarentegen kan ogenschijnlijk wel gewijzigd worden. Als voorbeeld neemt men een kubus die in één richting sneller is gegroeid (fig. 6.32) en die daardoor een tetragonale symmetrie doet uitschijnen. Bij het vaststellen van de symmetrie van reële kristallen moet men daar terdege rekening mee houden. Dit is een van de redenen waarom men in de morfologische kristallografie graag werkt met de normalen op een vlak omdat dan abstractie gemaakt wordt van de relatieve afmetingen van de betreffende kristalvlakken.

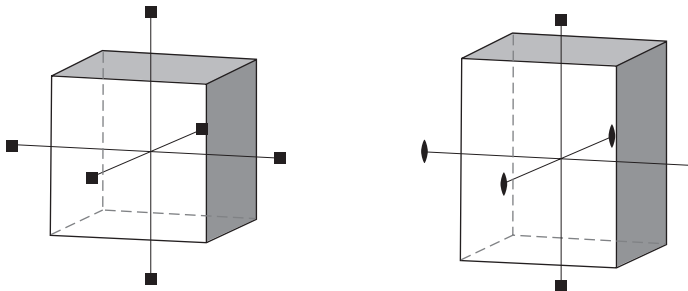


fig. 6.32 een kubus die in één richting sneller is gegroeid (rechts) en die daardoor een tetragonale symmetrie doet uitschijnen

Bij vele mineralen is het globale uiterlijk van hun kristallen zó karakteristiek dat het als een belangrijk kenmerk voor het determineren van die mineralen kan gebruikt worden. Bij het beschrijven van de kristalmorfologie past men meestal een aan de kristallografie eigen terminologie toe zoals die reeds in de vorige hoofdstuk en aan het begin van dit hoofdstuk werd uiteengezet. Om aan te duiden hoe de aanwezige vlakken door hun relatieve afmetingen het totale uiterlijk van het kristal bepalen, kan men echter ook gebruik maken van een aantal eenvoudige (triviale) termen. Deze eenvoudige termen duiden op het algemene uiterlijk van het kristal wat tegelijkertijd soms ook de habitus van het kristal is.

Gebruik makende van die vereenvoudigde terminologie kan men de kristallen eenvoudig als volgt beschrijven:

- **kristallen die sterk uitgegroeid zijn in één richting** beschrijft men als kolom- of zuilvormig. Afhankelijk van de lengte / dikte verhouding spreekt men van stengelig, naaldvormig, haarvormig (capillair) enz. Soms gebruikt men de term prismatisch als synoniem voor zuilvormig en al naargelang het uiterlijk van het kristal spreekt men van kort- tot langprismatisch
- **kristallen die sterk uitgegroeid zijn in twee richtingen** noemt men tafelig (dun- tot diktafelig), plaatvormig of bladerig
- **kristallen die in alle richtingen in gelijke mate ontwikkeld zijn**. Men spreekt hier soms van isometrische kristallen (wat echter ook als benaming voor kubische kristallen wordt gebruikt). Van een dergelijk kristal zijn lengte, breedte en hoogte min of meer gelijk.

Deze terminologie wordt zowat in alle mineralenbeschrijvingen in boeken en tijdschriften toegepast.

Naast de eerder genoemde afwijkingen in de relatieve afmetingen van de kristalvlakken zijn er de defecten aan de oppervlakte van kristalvlakken.

Ideale kristallen hebben mooie gladde oppervlakken. Bij reële kristallen is dat niet altijd het geval. Kristalvlakken kunnen er enigszins oneffen uitzien, ze kunnen uit verschillende kleinere vlakjes zijn opgebouwd of hun oppervlakte kan fijne lijntjes (striaties of streping) vertonen of met putjes bezaaid zijn. De meeste van deze afwijkingen ontstaan tijdens de groei zelf, terwijl er enkele ook na het beëindigen van de kristalgroei kunnen optreden.

De meest opmerkelijke oppervlaktedefecten van kristallen zijn de **striaties** of **streping**. Striaties (ook wel streping genoemd) zijn, meestal fijne, lijntjes op de kristalvlakken. Hun aanwezigheid kan soms heel waardevol zijn bij het determineren van mineralen.

Zo hebben bijvoorbeeld kwartskristallen (fig. 6.33a) meestal striaties op hun prismavlakken. Bij kwarts staan deze striaties altijd loodrecht op de richting van de drietallige as. Toermalijnkristallen hebben eveneens striaties op de prismavlakken maar dan altijd evenwijdig aan de lengterichting (richting van de 3-tallige as) van de kristallen (fig. 6.33b).

Als kubusvormige pyrietkristallen striaties vertonen dan staan de striaties van één kubusvlak loodrecht op de striaties van de nevenliggende kubusvlakken (fig. 6.34). Op die manier verraden de striaties de lagere symmetrie van de pyrietkubussen (drie 2-tallige assen in de plaats van de drie 4-tallige assen).



fig. 6.33a de striaties op de prismavlakken van kwartskristallen zijn altijd loodrecht op de lengterichting van de kristallen

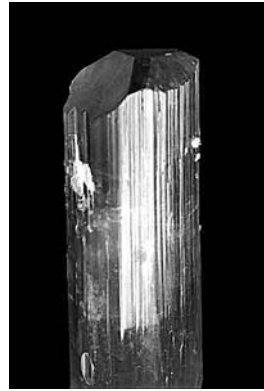


fig. 6.33b de striaties op de prismavlakken van toermalijnkristallen zijn altijd evenwijdig aan de lengterichting van de kristallen

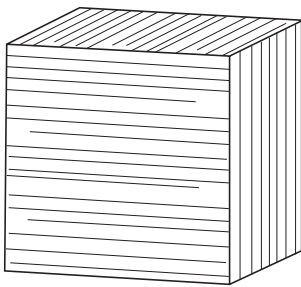


fig. 6.34 als kubusvormige pyrietkristallen striaties vertonen dan staan de striaties van een kubusvlak loodrecht op de striaties van de nevenliggende kubusvlakken

Niet elk mineraal specimen vertoont kristallen. Dikwijls vindt men mineralen als massieve brokken. Het specimen in kwestie is dan evengoed nog wel kristallijn, en het zijn enkel de kristalvlakken die ontbreken. Het zijn immers de vormingsomstandigheden die er verantwoordelijk voor zijn of de kristallijne natuur van een mineraal tot uiting komt onder de vorm van kristallen. Een **kristallijn** materiaal waaraan **kristalvlakken ontbreken**, noemt men **anhedrisch** (en NIET amorf).

Bepaalde kristallijne substanties zijn opgebouwd uit zulke kleine kristalletjes dat men een microscoop nodig heeft om ze te kunnen onderscheiden. Men noemt ze dan **microkristallijn**. Zijn de kristallen zo klein dat ze zelfs met een lichtmicroscoop niet kunnen waargenomen worden, dan is het mineraal **cryptokristallijn** (van het Grieks *kryptós* = verborgen) zoals agaat.

Bij het beschrijven van kristallen of wanneer men een mineraal van een label voorziet, dan worden voor het woord 'kristal' dikwijls het symbool **XL** of **xl** gebruikt. 'Kristallen' worden verkort genoteerd als **XX** of **xx** (of **xls** in de Engelstalige literatuur).

## 6.3 MORFOLOGIE VAN AGGREGATEN

Mineralen vindt men meestal niet als losse kristallen, maar als vergroeiingen van kristallen. Een dergelijke vergroeiing noemt men een **aggregaat**. Een aggregaat kan uit één of meerdere mineralen bestaan. De vorm en het uiterlijk van een aggregaat is dikwijls kenmerkend voor een bepaald mineraal. Voor het beschrijven van aggregaten is een hele terminologie ontwikkeld die in de meeste gevallen voor zich spreekt.

Enkele veel voorkomende aggregaatvormen worden hier opgesomd en in figuren 6.35 tot 6.41 geïllustreerd:

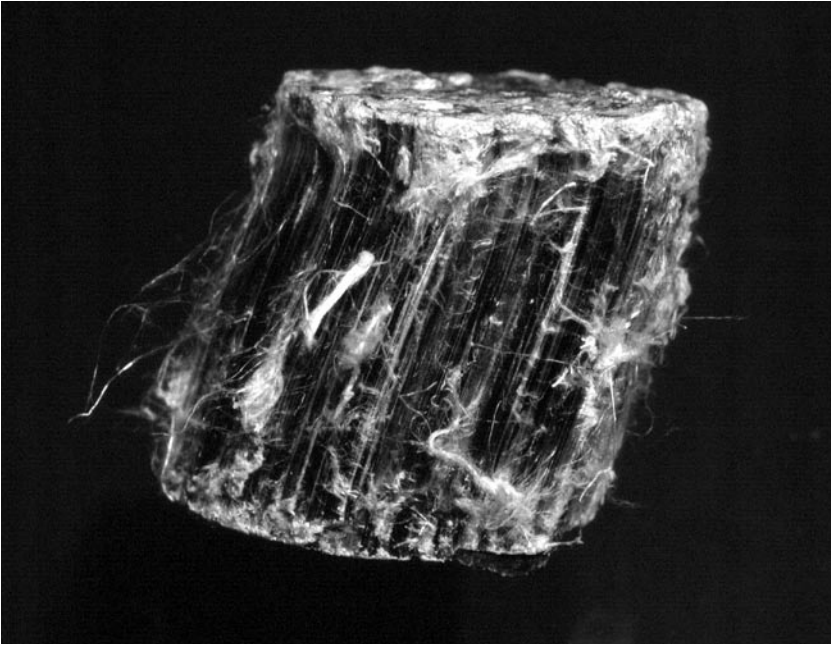
- **bladerig**: een aggregaat bestaande uit vele bladvormige kristallen, kan voorkomen bij mica's, auripigment, aurtuniet, hematiet, molybdeniet, talk.  
Varianten op 'bladerig' zijn termen zoals **lamellair** en **plaatvormig**.
- **vezelig**: aggregaat van dunne radiaalstralige of parallelle vezels, kan voorkomen bij actinoliet, calciëet, gips, goethiet, hematiet, riebeckiet, serpentijn, stibniet
- **geband** (gezoneerd): het mineraal komt voor in dunne lagen die zich van elkaar onderscheiden door verschillen in kleur, kleurintensiteit of textuur. Kan voorkomen bij malachiet, cassiteriet, fluoriet, kwarts (agaat), rhodochrosiet, smithsoniet
- **bolvormig** (globulair, sferisch): het aggregaat heeft in meer of mindere mate de vorm van een bol of halve bol. Dergelijke aggregaten kunnen ook **radiaalstralig** zijn, dat wil zeggen dat alle kristallen vanuit het middelpunt van de bol vertrekken, wat kan voorkomen bij pyriet, aragoniet, erythrien, fluoriet, malachiet, wavelliet. Wanneer een bolvormig aggregaat geband is en opgebouwd uit lagen rond het centrum, dan gebruikt men daarvoor de term **concentrisch**
- **botryoïdaal** (Grieks *bótrys* = druif): het specimen ziet er uit als een groep van globulaire aggregaten en lijkt daarvoor wat op een druiventros. Kan voorkomen bij hematiet, arseen, cassiteriet, goethiet, malachiet, rhodochrosiet, smithsoniet



- **korrelig:** het aggregaat bestaat uit aaneengekitte korreltjes of kristalletjes van het mineraal. Dergelijke aggregaten kan men soms met de vingers verpulveren. Heel wat mineralen vindt men wel eens onder die vorm.
- **oölietisch** (Grieks *óon* = ei; *lithos* = steen): opgebouwd uit kleine afzonderlijke aan elkaar gekitte bolletjes, komt soms voor bij bauxiet, calciet, goethiet
- **dendrieten** (Grieks *déndron* = boom): aggregaten die dikwijls op plantjes of mos gelijken. bijvoorbeeld pyrolusiet dendrieten, en kan verder voorkomen bij de metalen goud, koper en zilver
- **stalactieten:** ontstaan o.a. in grotten of holten door afzetting uit mineraalhoudend water. Kan voorkomen bij aragoniet, calciet, goethiet, hemimorfiet, malachiet, marcasiet, pyriet, smithsoniet
- **geode:** een holte waarvan de binnenwand al dan niet bezet is met kristallen
- **concretie:** gevormd door afzetting van een mineraal rond een kern (van een ander materiaal). Concreties kunnen rond zijn, maar kunnen evengoed een onregelmatige vorm aannemen. Kan voorkomen bij bariet, gips, marcasiet, turkoois.



fig. 6.35 een bladerig aggregaat (hematiet)



*fig. 6.36 vezelig aggregaat (asbest)*



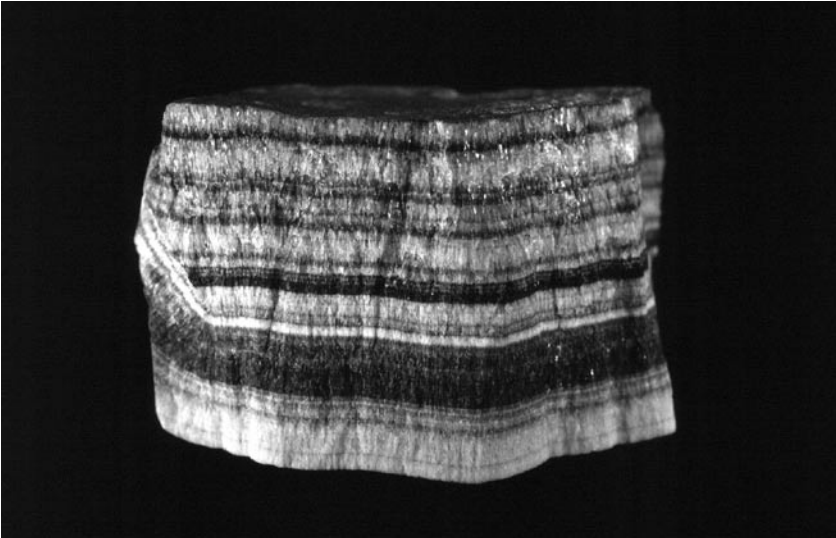
*fig. 6.37 radiaalstralig aggregaat (waveliet)*



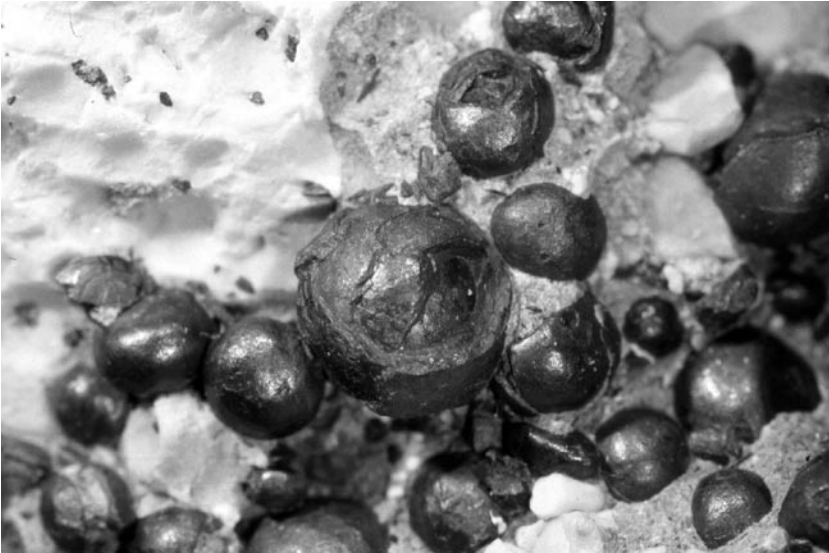
*fig. 6.38 botryoidaal aggregaat (hematiet)*



*fig. 6.39 stalactieten (calciet)*



*fig. 6.40 geband (fluoriet)*

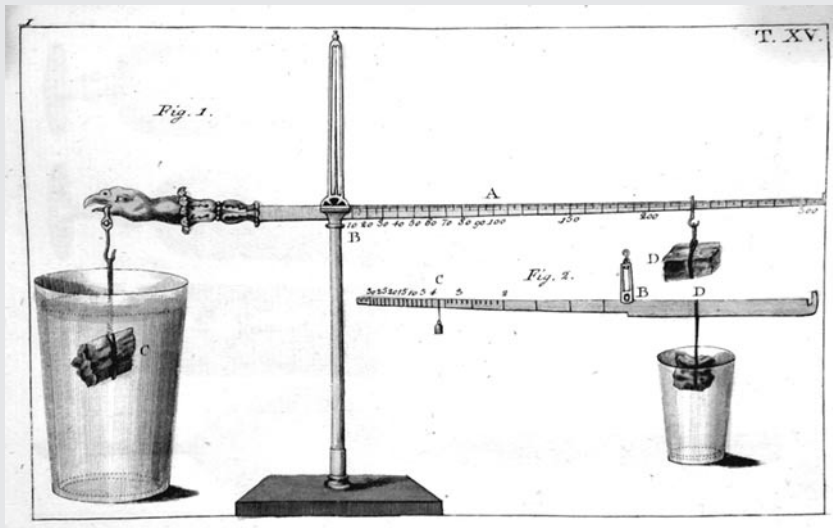


*fig. 6.41 oölitisch (goethiet)*



## FYSISCHE KENMERKEN

*In vorige twee hoofdstukken werd de nadruk gelegd op de kristalmorfologie als resultaat van de geordende structuur van kristallen. De aard van de atomen waaruit een mineraal bestaat (chemische samenstelling), de soorten chemische bindingen en de kristalstructuur bepalen echter nog een hele reeks andere fysische kenmerken. Deze fysische kenmerken zijn belangrijke hulpmiddelen bij het determineren / herkennen van een mineraalsoort. Verder zijn de specifieke fysische kenmerken van bepaalde mineralen van belang voor hun toepassingen in het dagelijks leven en in de industrie.*



BALANSEN VOOR HET BEPALEN VAN DE DICHTHEID

G. T. Wilhelm, *Unterhaltungen aus der Naturgeschichte des Mineralreichs*, Augsburg, 1834

## 7.1 SOORTEN FYSISCHE KENMERKEN

Ruwweg kan men de fysische kenmerken in enkele categorieën indelen:

- **morfologisch:** het uiterlijk van kristallen en hun aggregaten
- **optisch:** kenmerken die het gevolg zijn van de interactie van licht met het mineraal (doorzichtigheid, lichtbreking, glans, kleur, streep, fluorescentie)
- **mechanisch:** kenmerken die te maken hebben met de weerstand dat een mineraal biedt tegen mechanische vervorming (hardheid, stevigheid, slijting, breuk)
- **dichtheid**
- **overige** (radioactiviteit, elektrische en magnetische kenmerken)

Sommige van deze kenmerken worden als vanzelfsprekend waargenomen (kleur, glans), andere vereisen het gebruik van ‘eenvoudige’ hulpmiddelen om ze vast te stellen (Mohs-hardheid, dichtheid). Nog andere kenmerken zijn zonder het gebruik van gespecialiseerde apparatuur onmogelijk te bepalen (elektrische, magnetische en een aantal optische kenmerken).

In deze tekst worden uitsluitend kenmerken besproken die van bijzonder nut kunnen zijn bij het determineren of herkennen van mineralen. De morfologische kenmerken kwamen reeds in vorig hoofdstuk aan bod. De overige fysische kenmerken, met uitzondering van de optische kenmerken, worden in dit hoofdstuk behandeld. De optische kenmerken komen in hoofdstuk 8 aan de orde.



## 7.2 HARDHEID

De weerstand die een mineraaloppervlak biedt tegen krassen noemt men zijn **hardheid**.

Elk mineraal heeft een bepaalde hardheid (symbool H) die kan uitgedrukt worden door een getal. Het was de Duitse mineraloog Friedrich **Mohs** (1773-1839) die tien bekende mineralen rangschikte naar toenemende hardheid. De **schaal van Mohs** ziet er als volgt uit:

tabel 7.1 de hardheidsschaal van Mohs

hardheid	mineraal
1	talk
2	gips
3	calciet
4	fluoriet
5	apatiet
6	orthoklaas
7	kwarts
8	topaas
9	korund
10	diamant

Met behulp van deze schaal is het mogelijk om de relatieve hardheden van mineralen met elkaar te vergelijken. De hardheidsgraad van een mineraal bepaalt men door het te krassen met een ander mineraal of voorwerp. Een mineraal kan elk ander mineraal **krassen** dat een **gelijke of lagere** hardheid heeft.

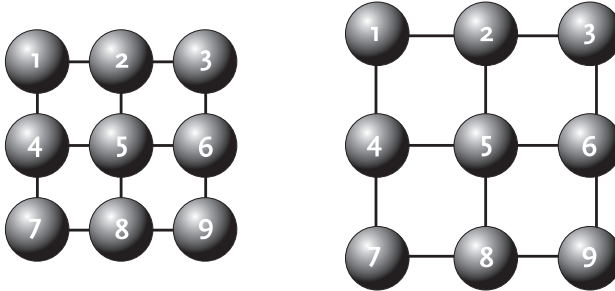
De Mohs-schaal is niet lineair en het verschil in hardheid tussen 8, 9 en 10 is veel groter dan bijvoorbeeld tussen 1, 2 en 3

De **hardheid is afhankelijk van de kristalstructuur** en meer specifiek van de krachten die de atomen (ionen) in de structuur samenhouden. Het **aanbrengen van een kras** is eigenlijk niets anders dan het **verplaatsen van atomen** en dus ook het **breken van bindingen tussen die atomen**.

**Hoe sterker de bindingskrachten tussen de atomen, hoe harder het kristal.** In de regel is het zo dat de bindingskrachten tussen atomen groter zijn naarmate de atomen dichter bij elkaar liggen. Neemt men bijvoorbeeld de twee ingebeelde kristalstructuren van figuur 7.1. Uit het voorgaande volgt nu dat bindingskrachten in structuur a groter zijn dan in structuur b; met andere woorden, kristal a is harder dan kristal b. Er wordt in dit geval wel van uitgegaan dat de ionen in beide structuren een gelijke lading (valentie) hebben.

fig. 7.1 twee ingebeelde kristalstructuren

als de ionen in beide structuren een gelijke lading hebben dan zijn de bindingskrachten in structuur a groter dan in structuur b; m.a.w. kristal a is dan harder kristal b



structuur a

structuur b

In het geval van ionen met gelijke valentie zal de hardheid toenemen naarmate de afstand tussen de ionen kleiner is (tabel 7.2):

tabel 7.2 hardheid in functie van de afstand tussen de ionen in een kristal

chemische formule	ionenaafstand (in nm)	H
BaO	0,270	3,5
CaO	0,257	4,5
BeO	0,155	9

Anderzijds neemt de hardheid toe met de valentie van de betrokken ionen. Zo hebben bijvoorbeeld NaF, MgO, ScN en TiC dezelfde structuur (van het type natriumchloride) en ongeveer dezelfde interatomaire afstand. Omdat de ionen verschillende valenties hebben, zal ook de hardheid van deze kristallen verschillend zijn (tabel 7.3):

tabel 7.3 hardheid in functie van de valentie van de betrokken ionen

chemische formule	valentie van de ionen	celparameter(in nm)	H
NaF	1	0,231	3
MgO	2	0,210	6,5
ScN	3	0,223	8
TiC	4	0,223	9

De **hardheid van een kristal** is een eigenschap die **richtinggevoelig** is. In figuur 7.1 is de afstand tussen de atomen 1 en 3 kleiner dan tussen de atomen 7 en 9; de bindingskrachten zijn verschillend en bijgevolg is de hardheid in beide richtingen ook verschillend. Dergelijke verschillen in hardheid zijn zo klein dat ze

enkel met nauwkeurige apparaten kunnen gemeten worden (met uitzondering voor kyaniet, zie verder).

**De hardheid van een mineraal bepaalt men door het te krassen met een ander mineraal of voorwerp.** Hierbij is men indachtig dat een mineraal elk ander mineraal kan krassen dat een gelijke of lagere hardheid heeft. Zo kan kwarts, kwarts krassen en alle andere mineralen met lagere of gelijke hardheid.

Wanneer men een specimen kan krassen met kwarts ( $H = 7$ ) en niet met orthoklaas ( $H = 6$ ), terwijl het zelf orthoklaas kan krassen, dan heeft dat mineraal een hardheid van 6,5.

Om de hardheid van een mineraal te bepalen zou men in het bezit moeten zijn van de tien mineralen uit de schaal van Mohs. Men kan echter ook gebruik maken van enkele andere hulpmiddelen zoals in tabel 7.4:

*tabel 7.4 hulpmiddelen voor het bepalen van de hardheid*

<b>hulpmiddel</b>	<b>H</b>
vingernagel	2 – 2,5
een stukje messing	3,5
zakmes	5
vensterglas	5,5
stalen vijltje	6,5

Deze hulpmiddelen zijn veel handiger in het gebruik dan stukjes mineraal. Om de hardheid bij benadering te bepalen, kan men deze hulpmiddelen inschakelen in de schaal van Mohs (tabel 7.5).

Met de nodige ervaring kan men de hardheid van zachte mineralen schatten aan de hand van de gemakkelijker dat het mineraal met een zakmes ( $H = 5$ ) kan gekrast worden. Voor hardere mineralen kan men nagaan hoe gemakkelijk ze zelf een stuk glas ( $H = 5,5$ ) krassen.

Voor de nauwkeurige bepaling van hardheden groter dan 5 kan men het best gebruik maken van hardheidsstiften. Hardheidsstiften bestaan uit conisch aangeslepen mineraalpunten die op een metalen stift zijn gemonteerd (fig. 7.2).

tabel 7.5 hulpmiddelen bij het bepalen van de hardheid

	1	talk		
	2	gips	krasbaar met een vingernagel	
	3	calciet	krasbaar met messing	
	4	fluoriet		
	5	apatiet	krasbaar met een zakmes	
deze mineralen krassen zelf vensterglas	6	orthoklaas	krasbaar met een stalen vijltje	
	7	kwarts		
	8	topaas		
	9	korund		
	10	diamant		

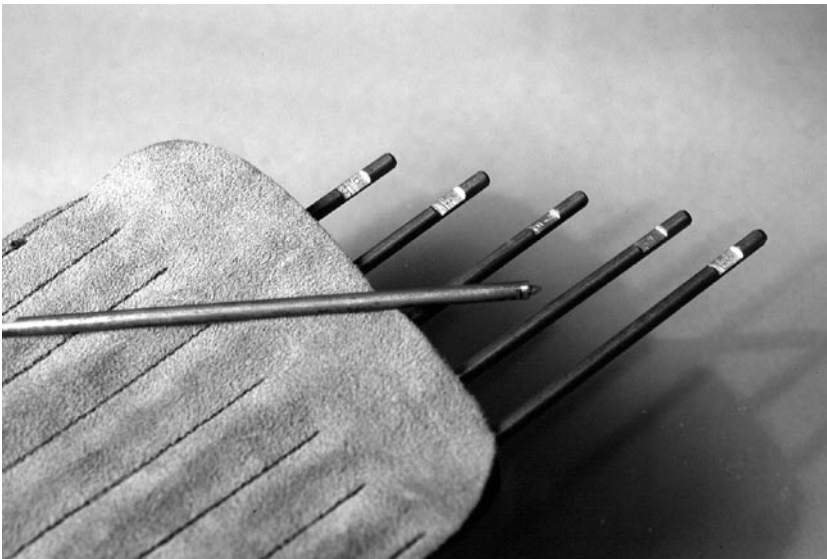


fig. 7.2 hardheidsstiften in etui

## ENKELE PRAKTISCHE WENKEN I.V.M. HARDHEIDSBEPALINGEN:

- Men moet er steeds zorg voor dragen om mooie specimens niet door een hardheidsbepaling te beschadigen.
- Het krassen van een mineraal moet altijd gebeuren met een scherpe punt, te beginnen met het hardste materiaal en vervolgens telkens met zachtere materialen. Het is handig om eerst te proberen of het mineraal een stukje vensterglas kan krassen (het mineraal heeft dan een hardheid groter of gelijk aan 5,5).
- Een mineraal kan gekrast worden door een mineraal met gelijke hardheid en dat kan het beste waargenomen worden door het trachten te krassen met de puntige kant van het referentiespecimen.
- Wanneer men een mineraal tracht te krassen met een zachter materiaal, dan kan het gebeuren dat het zachtere materiaal verpulvert en een schijnbare kras achterlaat. Daarom moet men de kras altijd met een loep bekijken, eventueel gevormd poeder wegwrijven en nagaan of er wel degelijk een kras aanwezig is.
- De hardheid moet men bepalen op een vers (glad) breukvlak, een splijtvlak of een kristalvlak. Een verweerd oppervlak is altijd zachter dan het mineraal zelf.  
Een aggregaat heeft doorgaans ook een (schijnbaar) lagere hardheid. Korrelige aggregaten lijken te worden gekrast terwijl enkel de korrels van elkaar gerukt worden.  
Ook bij zeer gladde oppervlakken moet men voldoende kracht uitoefenen om zeker te zijn dat het mineraal niet te krassen is.
- De hardheid van een kristal kan verschillen met de krasrichting. In de meeste gevallen is dit verschil erg klein en niet waarneembaar.  
Kyaniet vormt hierop echter een grote uitzondering. Evenwijdig aan de lengterichting van een kyanietkristal kan men het krassen met een mes; het mineraal heeft in die richting een hardheid van 4,5. Loodrecht op deze richting heeft het een hardheid 7 en is bijgevolg niet meer met een mes te krassen.

### 7.3 STEVIGHEID

Onder stevigheid verstaat men de weerstand dat een mineraal biedt tegen mechanische vervorming zoals breken, malen, buigen, enz.

Om de stevigheid van een mineraal te beschrijven, worden volgende termen gebruikt:

- bros:** een mineraal is bros wanneer het onder een lichte hamerslag breekt of zelfs vrij gemakkelijk tot een poeder kan gemalen worden.  
De meeste mineralen zijn bros
- taai:** taai is het tegenovergestelde van bros. Een taai mineraal is met de hamer bijna niet stuk te krijgen
- elastisch:** een mineraal is elastisch buigzaam, wanneer het na het ombuigen terug de originele vorm aanneemt (bijvoorbeeld asbest, mica). Een mineraal kan ook beperkt elastisch buigzaam zijn; een blaadje mica kan men beperkt buigen tot het op een gegeven moment zal breken
- flexibel:** betekent onelastisch buigzaam. Blaadjes, naaldjes of vezeltjes van het mineraal laten zich buigen en blijven in de gebogen stand (bijvoorbeeld gips, chloriet)
- smeedbaar:** wanneer een mineraalkorrel tot een plaatje kan gehamerd worden dan zegt men dat het smeedbaar is (vrijwel uitsluitend van toepassing op metalen zoals goud en koper)
- ductiel:** deze term is uitsluitend van toepassing op metalen zoals goud en koper die tot draad kunnen getrokken worden. Voor het determineren van mineralen niet relevant

## 7.4 SPLIJTING

Een mineraal vertoont **splijting** wanneer het breekt volgens **effen, gladde vlakken** die men **splijtvlakken** noemt.

Splijting is afhankelijk van de kristalstructuur en treedt op langsheen bepaalde atoomvlakken in de structuur (fig. 7.3). Wanneer tussen bepaalde atoomvlakken in een kristal slechts zwakke bindingskrachten bestaan dan is de kans groot dat er langs deze vlakken splijting zal optreden. Omdat zwakke bindingskrachten meestal gepaard gaan met grotere bindingsafstanden zal de afstand tussen atoomvlakken waarlangs splijting kan optreden, groter zijn in verhouding tot de onderlinge afstand van de atomen binnen een dergelijk atoomvlak.

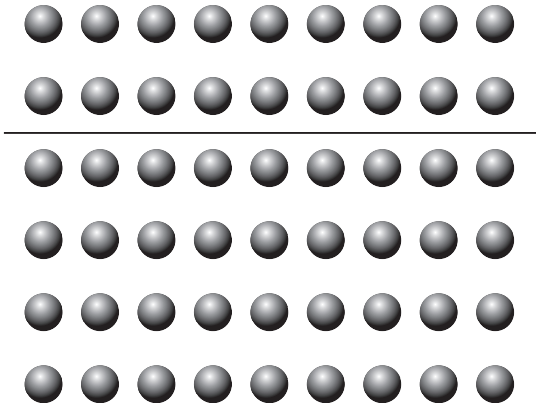


fig. 7.3 splijting is afhankelijk van de kristalstructuur en treedt op langsheen bepaalde atoomvlakken in de structuur. In de tweedimensionale voorstelling stelt de lijn een potentieel splijtvlak voor.

De **splijting is volledig beschreven** wanneer men de **kwaliteit** van de splijting en de kristallografische **ligging** van het splijtvlak aangeeft.

Om de **kwaliteit van de splijting** te beschrijven, maakt men gebruik van volgende termen:

- **perfect:** het is moeilijk om het mineraal in een andere richting te breken dan volgens splijtvlakken (bijvoorbeeld calciet, galeniet, fluoriet, mica's, topaas). De door perfecte splijting ontstane brokjes van een kristal noemt men **splijtfragmenten** (fig. 7.4)
- **goed:** het mineraal breekt gemakkelijk volgens splijtvlakken, maar kan even goed volgens andere richtingen gebroken worden (orthoklaas)

- **redelijk:** breekt iets minder gemakkelijk volgens slijtvlakken, en de slijtvlakken zijn meestal klein en onderbroken door breukvlakken (beryl)
- **slecht:** splijting treedt moeilijk op en is niet duidelijk waar te nemen



fig. 7.4 een slijtfragment van calciet; het resultaat van perfecte splijting

De **ligging van het slijtvlak** noemt men ook de **splijtrichting** en ze wordt aangeduid met de naam van het kristalvlak waaraan het slijtvlak evenwijdig is. Een **slijtvlak is altijd evenwijdig aan een mogelijk kristalvlak** en meestal is dat zelfs een vlak dat tot een veel voorkomende vorm behoort.

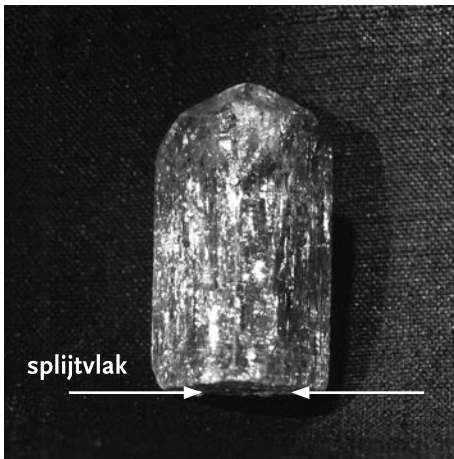


fig 7.5 octaëdrische splijting in fluoriet  
(de octaëders op de afbeelding zijn slijtfragmenten en geen kristallen)



Zo spreekt men bijvoorbeeld in het geval van fluoriet over octaëdrische splijting omdat de splijtvlakken evenwijdig zijn aan de octaëdervlakken (fig. 7.5) van het fluorietkristal.

Omdat de splijting samenhangt met de kristalstructuur is deze eigenschap ook symmetrie-afhankelijk. Afhankelijk van de symmetrie van een kristal zijn er meerdere equivalente splijtvlakken mogelijk (6, 4, 3 of 2). Met andere woorden als een kristal octaëdrische splijting vertoont dan is er niet één splijtrichting, maar zijn er in totaal 4 splijtrichtingen aanwezig. Soms is er slechts één enkele splijtrichting aanwezig zoals bij de pinacoïdale splijting van topaas (fig. 7.6).



*fig. 7.6 pinacoïdale splijting van topaas  
(één splijtvlak loodrecht op de lengterichting van het topaaskristal)*

Niet alle mineralen vertonen splijting en slechts enkele soorten vertonen het erg duidelijk. Doorzichtige mineralen kunnen soms inwendige splijting vertonen; deze splijtvlakken zijn dan evenwijdig aan uitwendige kristalvlakken. Het is mogelijk om kristalvlakken voor splijtvlakken aan te zien. Kristalvlakken zijn normaal mooi glad (of juist duidelijk gestriëerd, of voorzien van putjes) terwijl splijtvlakken dikwijls stapjes of schilfers evenwijdig aan het splijtvlak vertonen.

Soms spreekt men ook van **valse splijting** (in het Engels: **parting**) wanneer een mineraal breekt langs zwakkere vlakken in een kristal. Deze vlakken kunnen bijvoorbeeld te wijten zijn aan tweelingvorming en liggen eveneens evenwijdig aan (potentiële) kristalvlakken; vandaar dat ze erg op splijtvlakken lijken. Omdat deze tweelingvorming niet in ieder kristal van het betreffende mineraal voorkomt, zal men valse splijting niet aan ieder exemplaar van dat mineraal kunnen vaststellen.

Valse splijting kan men soms waarnemen bij korund (romboëdrisch), bij magnetiet (octaëdrisch) en bij pyroxenen (basaal).



*fig. 7.7 striaties ten gevolge van tweelingvlakken in korund  
langs deze vlakken kan valse splijting optreden*

## 7.5 BREUK

Een mineraal breekt niet altijd volgens splijtvlakken. Wanneer het gebroken oppervlak onregelmatig is dan spreekt men van **breuk** en **breukvlakken**. De ligging van een breukvlak heeft geen verband met de kristalstructuur (fig. 7.8).

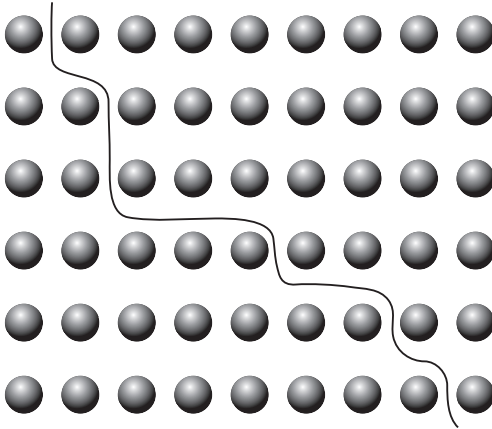


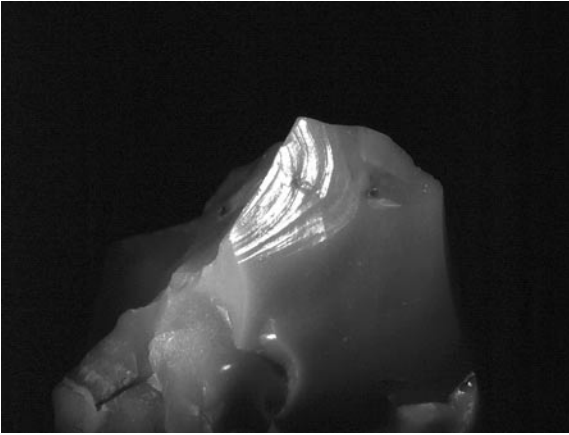
fig. 7.8 De ligging van een breukvlak heeft geen verband met de kristalstructuur

Breukvlakken kan men enkel beschrijven wanneer de individuele kristallen voldoende groot zijn. Zo niet, heeft men een breuk die kenmerkend is voor de aggregaatvorm en niet voor het kristal. Voor meer informatie over aggregaten en hun terminologie, zie paragraaf 6.3.

Er werd een aparte terminologie ontwikkeld om de aard van een breukvlak te specificeren. De volgende benamingen worden veel toegepast:

- **conchoïdaal:** wanneer de breuk gebogen ribbeltjes vertoont die lijken op de ribbels op de buitenkant van een schelp (fig. 7.9). Men spreekt dan ook van **schelpvormige** breuk. Het merendeel van de mineralen vertoont een conchoïdale breuk. Een aggregaat zal slechts zelden een conchoïdale breuk vertonen (uitzonderingen zijn chalcedoon en turkoois).
- **splinterig:** een dergelijke breuk heeft een vezelig uiterlijk en is typisch voor (taai) vezelige mineralen (bijvoorbeeld malachiet, wollastoniet).
- **effen:** een effen breuk evenaart de gladheid van een splijtvlak (bijvoorbeeld turkoois)

- **oneffen:** een dergelijke breuk is onregelmatig en kan puntige uitsteeksels hebben en is kenmerkend voor aggregaten (bijvoorbeeld marcasiet)
- **korrelig:** een breuk die kenmerkend is voor kristallijne aggregaten (zoals een breukvlak van een suikerklontje).
- **hakend:** een breuk die bij sommige metalen voorkomt (bijvoorbeeld koper en zilver)



*fig. 7.9 een conchoïdale of schelpvormige breuk*

Sommige mineralen vertonen zowel splijting als breuk terwijl andere óf breuk óf splijting vertonen.

Splijting, ‘parting’ of breuk kan men vaststellen door een mineraalspecimen zo te draaien tot het te onderzoeken oppervlak het licht naar de waarnemer reflecteert en men op die manier de structuur (vlakheid of ruwheid) van het oppervlak kan beoordelen.

## 7.6 DICHTHEID

De **relatieve dichtheid**, of kortweg de dichtheid, van een stof is de **verhouding van de massa van die stof tot de massa van een gelijk volume water** bij een temperatuur van 4°C en een druk van 1 atm. De dichtheid wordt voorgesteld door het **symbool D** en uitgedrukt door een onbenoemd getal.

*Rekenvoorbeeld:* wanneer men een kwartskristal heeft dat 20 gram weegt en een gelijk volume water weegt 7,52 gram, dan is de dichtheid van dat kwartskristal gelijk aan  $20 / 7,52 = 2,66$

Beter bekend dan de dichtheid is de term “soortelijk gewicht”. Het soortelijk gewicht ( $\gamma$ ) van een stof is haar gewicht per volume-eenheid. Verder is er nog het begrip “soortelijke massa”, wat de massa van een stof per eenheid volume is. De soortelijke massa ( $\rho$ ) wordt meestal uitgedrukt in g/cm<sup>3</sup>. Dichtheid, soortelijk gewicht en soortelijke massa worden soms door elkaar gebruikt, wat strikt genomen onjuist is. Opgelet, de Engelse vertaling van het woord ‘dichtheid’ is ‘specific gravity’ terwijl de vertaling van ‘soortelijk gewicht’, ‘density’ is.

De dichtheid van kristallijne stoffen is in eerste instantie afhankelijk van hun **chemische samenstelling**. In het algemeen geldt dat mineralen die opgebouwd zijn uit atomen met een hoge atoommassa (voor atoommassa’s zie tabel 3.1) een hogere dichtheid zullen hebben dan mineralen die voornamelijk uit atomen met lage atoommassa’s bestaan.

Bij mineralen met **vergelijkbare kristalstructuur** neemt de dichtheid toe bij **toenemend formulegewicht**. Het formulegewicht (symbool F) is de som van de atoomgewichten van alle in de chemische formule aanwezige atomen.

*Rekenvoorbeeld:* het formulegewicht van CaCO<sub>3</sub> is gelijk aan  $40,08 + 12,011 + 3 \times 15,999 = 100,09$  (afgerond op twee cijfers na de komma)

Wanneer men bijvoorbeeld de mineralen uit de aragonietgroep (tabel 7.6) rangschikt naar toenemend formulegewicht (F), dan staan ze gelijktijdig gerangschikt naar toenemende dichtheid (D):

*tabel 7.6 mineralen uit de aragonietgroep gerangschikt naar toenemend formulegewicht (F) en toenemende dichtheid (D)*

mineraal	formule	F	D
aragoniet	CaCO <sub>3</sub>	100,09	2,95
strontianiet	SrCO <sub>3</sub>	147,63	3,7
witheriet	BaCO <sub>3</sub>	197,35	4,3
cerussiet	PbCO <sub>3</sub>	267,20	6,55

Bij mineralen met variabele chemische samenstelling, zoals bij mengkristallen, varieert de dichtheid in functie van de chemische samenstelling.

Een mooi voorbeeld is olivijn,  $(\text{Mg,Fe}^{2+})_2\text{SiO}_4$  een mengkristal tussen de mineralen forsteriet en fayaliet (tabel 7.7):

tabel 7.7 olivijnmineralen met formulegewicht (F) en dichtheid (D)

mineraal	formule	F	D
forsteriet	$\text{Mg}_2\text{SiO}_4$	140,71	3,2
fayaliet	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	203,78	4,4

Afhankelijk van de chemische samenstelling van de olivijn, zal de dichtheid van het mineraal ergens tussen 3,2 en 4,4 in liggen.

Naast de chemische samenstelling is de dichtheid van een mineraal ook afhankelijk van zijn **kristalstructuur**. Hoe dichter de stapeling, hoe hoger de dichtheid van een kristal.

Meestal is het zo dat de bindingskrachten de structuur beïnvloeden; hoe sterker de bindingskrachten, hoe compacter de structuur. Aangezien de hardheid van een mineraal meestal toeneemt met toenemende bindingskrachten tussen de atomen waaruit dat mineraal bestaat, mag men enigszins veralgemenen dat kristallen met een **hogere hardheid** ook een **hogere dichtheid** hebben. Een typisch voorbeeld zijn de mineralen grafiet en diamant. Beide bestaan ze uit zuivere koolstof, maar door een verschil in kristalstructuur (diamant heeft in vergelijking met grafiet een heel compacte stapeling en bijzonder sterke bindingskrachten tussen de atomen) hebben ze heel verschillende waarden voor hardheid en dichtheid (tabel 7.8).

tabel 7.8 verband tussen hardheid (H) en dichtheid (D) bij diamant en grafiet

mineraal	H	D
grafiet	1,5	2,2
diamant	10	3,5

De relatie tussen dichtheid, chemische samenstelling en kristalstructuur kan men ook kwantitatief in een wiskundige vergelijking uitdrukken.

De **dichtheid** (of hier eigenlijk het soortelijk gewicht) wordt dan **berekend** met behulp van volgende vergelijking:

$$\gamma = \frac{Z \times F}{N \times V}$$

Hierin zijn:  $\gamma$  = soortelijk gewicht in g/cm<sup>3</sup>  
 F = formulegewicht (in g)  
 Z = aantal formule-eenheden per elementaire cel  
 N = getal van Avogadro: 6,023 x 10<sup>23</sup>  
 V = volume van de elementaire cel (uitgedrukt in cm<sup>3</sup>)

Om het volume van de elementaire cel te berekenen moeten de celparameters (a, b, c, en  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) gekend zijn. In orthogonale kristalstelsels (waar  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ ) is het volume van de elementaire cel;  $V = a \times b \times c$ . In niet-orthogonale stelsels dient men tevens rekening te houden met de hoeken tussen de kristalassen.

De celparameters a, b en c, worden in de meeste boeken nog aangegeven in Å (Ångström). 1 Å = 10<sup>-8</sup> cm; bijgevolg is 1 Å<sup>3</sup> = 10<sup>-24</sup> cm<sup>3</sup>.

*Rekenvoorbeeld:* fluoriet CaF<sub>2</sub> (kubisch stelsel)

$$a = b = c = 5,46 \text{ Å} \quad (\text{en } \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ)$$

$$Z = 4$$

$$\text{het formulegewicht } F = 40,08 + 2 \times 18,9984 = 78,0768$$

$$\gamma = \frac{Z \times F}{N \times V} = \frac{4 \times 78,0768}{6,023 \times 10^{23} \times (5,46)^3 \times 10^{-24}} = 3,185 \text{ g/cm}^3$$

dit komt overeen met de waarden die men voor de experimenteel bepaalde dichtheid van fluoriet,  $D = 3,18$ , in de literatuur kan terugvinden.

Er bestaan verschillende methodes om de dichtheid van een mineraal vast te stellen. Meestal gebeurt dit met behulp van **aangepaste balansen** en bestaat de meting uit een **weging** van het mineraal in de **lucht** en een weging van het mineraal **ondergedompeld in water**.

Naast een weging kan men de dichtheid van een mineraal ook vergelijken met de dichtheid van **zware vloeistoffen**. Afhankelijk of een mineraal fragment in een dergelijke vloeistof drijft, zweeft of zinkt, is de dichtheid van dat mineraal kleiner dan, gelijk aan of groter dan de dichtheid van de zware vloeistof.

Wil men de dichtheid nauwkeurig bepalen dan moet het mineraal specimen **homogeen en zuiver** zijn (= zonder vreemde mineralen, insluitels of porositeit). Uitsluitend zuivere kristallen of kleine korreltjes zijn in de praktijk geschikt.

**BEPALING VAN DE DICHTHEID MET BEHULP VAN EEN BALANS**

Volgens de definitie van de dichtheid kan deze bepaald worden door het gewicht van een mineraal te delen door het gewicht van een gelijk volume water. Met behulp van een hedendaagse balans is het heel gemakkelijk om het gewicht van een mineraal nauwkeurig te meten. Het vaststellen van het volume van het mineraal, ten einde het gewicht van dat volume aan water te kennen, is minder evident. Dit probleem kan echter omzeild worden door gebruik te maken van de **wet van Archimedes** die stelt dat een voorwerp dat ondergedompeld wordt in een vloeistof (bijvoorbeeld water) een opwaartse kracht ondervindt die gelijk is aan het gewicht van de verplaatste hoeveelheid vloeistof. Met andere woorden een voorwerp ondergedompeld in water weegt minder dan wanneer men het in de lucht weegt en het gewichtsverlies is het gewicht van het verplaatste volume water.

De dichtheid kan men dan eenvoudig berekenen door volgende vergelijking:

$$D = \frac{\text{gewicht mineraal in de lucht}}{\text{gewichtsverlies bij onderdompeling in water}}$$

*Rekenvoorbeeld:* het kwartskristal van exact 20 gram dat eerder al als voorbeeld fungeerde, weegt ondergedompeld in water nog slechts 12,48 gram. De dichtheid wordt nu als volgt berekend:

$$D = \frac{20,00}{20,00 - 12,48} = \frac{20,00}{7,52} = 2,66$$

Voor het uitvoeren van dichtheidsbepalingen kan men gebruik maken van een **twearmige balans**, waar nog met gewichtjes wordt gewerkt. Aan de kant waar men het mineraal plaatst, wordt een houdertje of korfje bevestigd dat in een bekerglas met water hangt (fig. 7.10). Het mineraal wordt eerst droog gewogen en vervolgens wordt een weging gedaan met het mineraal ondergedompeld in water. Uit deze twee metingen wordt dan de dichtheid berekend.

Als ophangstelsel gebruikt men het best een dunne metaaldraad die aan het uiteinde spiraalvormig is omgebogen. Het spiraalvormige gedeelte bevindt zich midden in een bekerglas vol water. Het bekerglas zelf staat op een soort bruggetje over de balansschaal. Voor de meting onder water plaatst men het mineraal dan in het spiraalvormige houdertje. Het spreekt voor zich dat men de balans met het opzetstuk (de metaaldraad) eerst in evenwicht brengt vóór beide metingen worden uitgevoerd. Het is ook mogelijk om het houdertje te wegen en met dit gewicht rekening te houden, want het maken van een tegengewicht is soms niet zo eenvoudig.



Verder dient men er op te letten dat er zich geen luchtbelletjes op de draad of op het mineraal afzetten die een totaal foutieve meting zouden veroorzaken. Men gebruikt daarom gedistilleerd water of gekookt leidingwater. Verder kan de opstelling hinder ondervinden van de oppervlaktespanning van het water. Om dat te vermijden kan men een minuscuul druppeltje detergent toevoegen.

Bij deze metingen wordt er van uitgegaan dat het water een dichtheid heeft die gelijk is aan 1. Dit is echter uitsluitend het geval bij 4°C. Bij kamertemperatuur (22°C) heeft water een dichtheid die gelijk is aan 0,998. Bij heel nauwkeurige metingen moet men hiermee rekening houden. Voor het bepalen van de dichtheid van wateroplosbare mineralen kan men bijvoorbeeld gebruik maken van een lichtvloeibare olie. Het is dan wel noodzakelijk om eerst de dichtheid van die olie nauwkeurig te bepalen en die waarde bij het berekenen van de dichtheid van het mineraal te gebruiken.

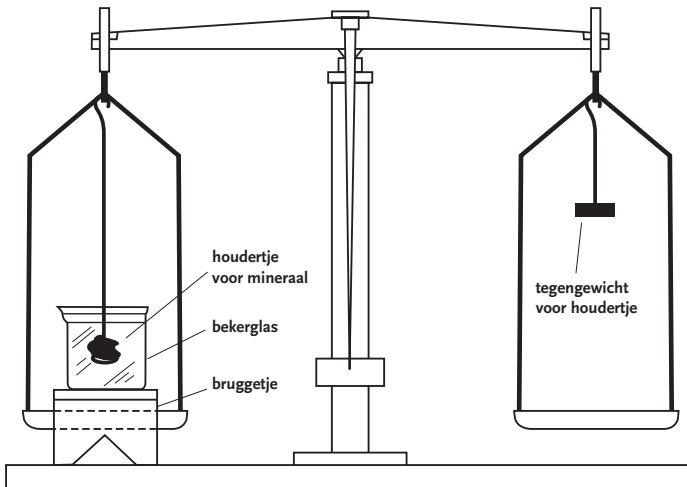


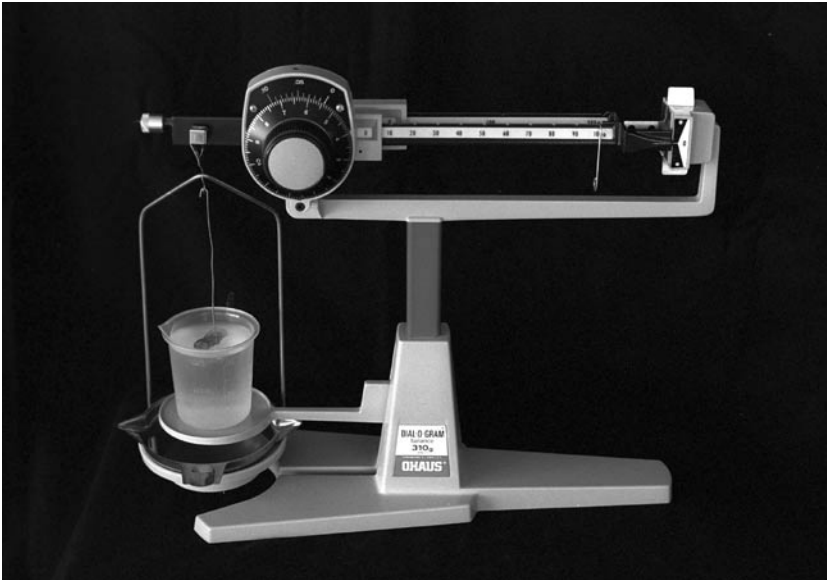
fig. 7.10 tweearmige balans

voor het bepalen van de dichtheid wordt, aan de kant waar men het mineraal plaatst, een houdertje bevestigd dat in een bekglas met water hangt

Wanneer men werkt met een **eenarmige balans met digitale uitlezing**, dan moet men eerst een weging doen van het opzetstuk ondergedompeld in water maar zonder mineraal. Deze gemeten waarde moet men dan achteraf van beide wegen van het mineraal (in de lucht en onder water) aftrekken.

Er bestaan ook **eenarmige balansen met ruiters** om het gewicht vast te stellen (fig. 7.11). De balans heeft twee schaaltes onder elkaar. Afhankelijk van de constructie zal het onderste of bovenste schaalte ook hier in water worden ondergedompeld. Men kan ook gebruik maken van een metaaldraad met twee, zich onder elkaar bevindende spiraalvormige korfjes. Ook met dit systeem wordt het mineraal eerst in de lucht en vervolgens ondergedompeld in water gewogen

en tenslotte de dichtheid berekend. Voorafgaand aan beide metingen wordt de opstelling (met het tweede korfje ondergedompeld in water) met behulp van tegengewichtjes in de nulpositie gebracht.



*fig. 7.11 een eenarmige balans met ruiters, uitgerust voor het bepalen van de dichtheid ook met dit systeem wordt het mineraal eerst in de lucht en vervolgens ondergedompeld in water gewogen [bron: Mineralab, Prescott, Arizona]*

### **BEPALING VAN DE DICHTHEID MET BEHULP VAN ZWARE VLOEISTOFFEN**

Zeer geschikt voor het (bij benadering) bepalen van de dichtheid van mineralen zijn de zogenaamde zware vloeistoffen. Afhankelijk of een mineraal in een dergelijke vloeistof drijft, zweeft of zinkt, is de dichtheid van dat mineraal kleiner dan, gelijk aan of groter dan de dichtheid van de zware vloeistof. Zware vloeistoffen zijn vloeistoffen met een hoge dichtheid zoals:

- bromoform                                 2,88
- methyleeniodide                         3,33
- Clerici oplossing                         4,65

De eerste twee vloeistoffen kunnen verdund worden met toluen ( $D=1,496$ ) of xyleen ( $D=1,497$ ) om op die manier een reeks vloeistoffen met verschillende dichtheden te krijgen. De Clerici-vloeistof is een waterige oplossing van thalliumformaat en thalliummalonaat en kan met gedestilleerd water verdund

worden. Deze oplossing is echter erg giftig en corrosief zodat gebruik ervan ten sterkste wordt ontraden. Men kan de dichtheid van de mengsels nauwkeurig bepalen met behulp van balansen die speciaal zijn uitgerust voor het meten van de dichtheid van vloeistoffen. In de praktijk is het echter gemakkelijker (en voldoende nauwkeurig) om gebruik te maken van **indicatoren**; dat zijn zuivere fragmentjes van een aantal mineralen waarvan de dichtheid bekend is. Het vloeistofmengsel wordt dan tot op de juiste dichtheid gebracht door het te verdunnen tot de indicator in het mengsel blijft zweven. Er bestaan ook uit glas vervaardigde indicatoren waarvan de dichtheid nauwkeurig bekend is.

Een **voordeel** bij het gebruik van **zware vloeistoffen** is dat ze toegepast kunnen worden op **heel kleine kristalletjes of mineraalfragmentjes** waarvan de dichtheid zelfs met behulp van een nauwkeurige balans moeilijk kan bepaald worden. In dergelijk geval kan men zelfs de zware vloeistof verdunnen (dichtheid verlagen) tot de dichtheid van de vloeistof en die van het te meten mineraalfragment exact overeenstemmen (het mineraalfragment blijft dan zweven). Het is dan enkel nog kwestie om de dichtheid van de zware vloeistof nauwkeurig vast te stellen (met behulp van een speciaal daarvoor uitgeruste balans).

Bij het gebruik van zware vloeistoffen voor het meten van dichtheden moet men met een aantal punten rekening houden:

- Wanneer men verdunde vloeistoffen gebruikt, dan heeft de verdunner (bijvoorbeeld xyleen) de neiging om sneller te verdampen dan de zware vloeistof zelf. In dat geval zal de dichtheid van het mengsel in de loop van het gebruik toenemen. Het is dus kwestie om na te gaan of de indicator zweeft, en zoniet dient men de dichtheid van het mengsel, door druppelsgewijs toevoegen van verdunner, te corrigeren.
- Sommige poreuze mineralen kunnen zware vloeistoffen absorberen en op die manier kunnen deze specimens zelfs verkleuren.
- Zowel bromoform en methyleeniodide zijn lichtgevoelig en worden op de duur donker gekleurd. Deze vloeistoffen moeten dan ook in het donker bewaard worden. Zowel bromoform en methyleeniodide zijn **giftig** en dienen dus met voorzichtigheid behandeld te worden.
- Deze producten (in het bijzonder methyleeniodide) zijn vrij prijzig.

## SCHATTEN VAN DE DICHTHEID

Voor de praktijk van het mineralen determineren en herkennen volstaat in de meeste gevallen een ruwe benadering van de dichtheid. Het is dan ook van belang om gevoel aan te kweken voor het **schatten van de dichtheid** van mineralen. Door het oefenen met specimen van mineralen met bekende dichtheid krijgt men op de duur gevoel voor wat een relatief zwaar of relatief licht mineraal is. Om dat gevoel aan te kweken zijn dan wel relatief grote specimen noodzakelijk.

Bij het schatten van de dichtheid maakt men onderscheid tussen metallisch- en niet-metallisch glanzende mineralen (het begrip glans wordt in het volgende hoofdstuk behandeld).

Voor **niet-metallisch glanzende** mineralen neemt men als referentiedichtheid 2,65 tot 2,75. Deze dichtheidsrange is zo gekozen omdat de dichtheden van de veel voorkomende mineralen kwarts ( $D = 2,65$ ), calciet ( $D = 2,72$ ) en veldspaat ( $D = 2,6 - 2,75$ ) in dit gebied liggen. Is de dichtheid van een mineraal lager of hoger dan de genoemde waarden, dan spreekt men van een mineraal met een lage, respectievelijk een hoge dichtheid.

Niet metallisch glanzende mineralen met een lage dichtheid zijn o.a. borax (1,7), bauxiet (2,0 - 2,55), zwavel (2,05 - 2,09). Men spreekt van een hoge dichtheid bij mineralen zoals malachiet (3,9 - 4,03), bariet (4,5), crocoiet (5,9 - 6,1), wulfeniet (6,8), vanadinit (6,7 - 7,1).

Bij de **metallisch glanzende** mineralen neemt men pyriet ( $D = 5,0$ ) als referentie.

Metallisch glanzende mineralen met een relatief lage dichtheid zijn bijvoorbeeld chalcopyriet (4,1 - 4,3) en rutiel (4,18 - 4,25). Hoge dichtheden hebben mineralen zoals arsenopyriet (6,07), skutterudiet (6,5), wolframiet (7,0 - 7,5), galeniet (7,4 - 7,6), goud (19,3).

## 7.7 MAGNETISME

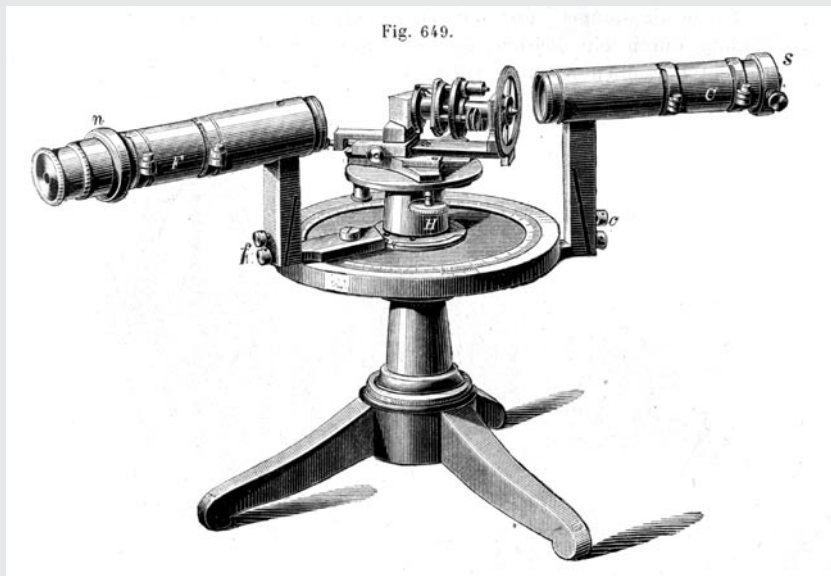
Enkele mineralen hebben de eigenschap om door een magneet (een eenvoudige permanente magneet) te worden aangetrokken. Magnetisch zijn magnetiet en in mindere mate pyrrhotiet. Sommige exemplaren van magnetiet zijn op zich magnetisch en kunnen kleine stukjes ijzer aantrekken.

Het magnetisme van magnetiet kan men bijvoorbeeld gebruiken om het te onderscheiden van hematiet en van ilmeniet (dat zelf echter heel zwak magnetisch kan zijn). Pyrrhotiet (of pyrrhotietpoeder) is zwak magnetisch en daardoor kan men het onderscheiden van mineralen zoals pyriet, chalcopyriet, nikkelen en borniet.



## OPTISCHE KENMERKEN

*In vorige twee hoofdstukken werden een aantal fysische kenmerken besproken die van belang zijn bij het determineren en herkennen van mineralen. De optische kenmerken die het gevolg zijn van de interactie tussen licht en mineraal worden in dit hoofdstuk behandeld. Een erg in het oog springende optische eigenschap is de kleur van een mineraal. Omdat de kleur zo gemakkelijk kan worden waargenomen, wordt er dikwijls een overdreven determinatiewaarde aan toegekend. Enige achtergrondkennis over deze optische kenmerken is dan ook noodzakelijk om ze naar juiste waarde te schatten.*



APPARAAT VOOR HET BEPALEN VAN DE BREKINGSINDEX VAN KRISTALLEN

*Paul Heinrich Groth, Physikalische Krystallographie, Leipzig, 1895*

## 8.1 LICHT

Om de optische eigenschappen van mineralen te begrijpen, is het van belang te weten wat licht eigenlijk is.

Zichtbaar licht (zonnlicht, kaarslicht, licht van een gloeilamp of een TL-buis) is een vorm van **stralingsenergie**. Naast zichtbaar licht zijn er een aantal andere soorten straling die het menselijk oog evenwel niet kan waarnemen; ultraviolette straling, x-stralen (= Röntgenstralen), infraroodstraling, radiogolven enz....

Licht kan men zich op twee manieren voorstellen, hetzij als **golven**, hetzij als **deeltjes**. Afhankelijk van het verschijnsel dat men bestudeert, zal men in de huidige natuurkunde gebruik maken van de **golftheorie** of van de **kwantumtheorie**.

In de **kwantumtheorie** beschouwt men licht als bestaande uit discontinue energiepakketjes (deeltjes) die zich door de ruimte voortplanten. Deze energiepakketjes noemt men **fotonen**. De diverse soorten straling verschillen van elkaar door hun energie. X-stralen hebben bijvoorbeeld een veel grotere energie dan zichtbaar licht, dat op zijn beurt weer meer energie heeft dan infrarood licht.

In de **golftheorie** beschouwt men licht als **elektromagnetische golven** die zich door de ruimte voortplanten. Alle soorten straling hebben een zelfde voortplantingssnelheid in vacuüm, zijnde 300000 km/sec. Ze verschillen echter van elkaar in **golflengte** (voorgesteld door het symbool  $\lambda$ ); dit is de afstand tussen twee golfbergen (fig. 8.1).

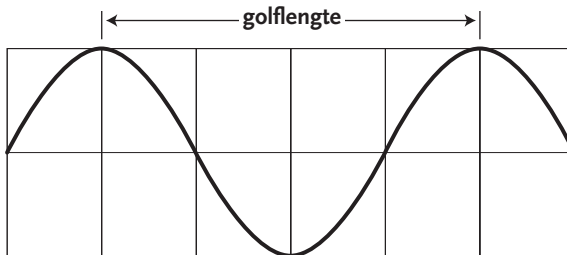


fig. 8.1 de golflengte is de afstand tussen twee golfbergen

Het menselijk oog kan slechts straling waarnemen waarvan de golflengte ligt tussen ongeveer 380 en 780 nm. Afhankelijk van de golflengte zal men zichtbaar licht als **kleuren** waarnemen. Overeenkomstig de verschillende kleuren zoals de combinatie ogen/hersenen ze interpreteren, wordt het zichtbaar licht in een zestal golflengtegebieden ingedeeld (tabel 8.1). Men noemt dit het **zichtbaar licht spectrum**.



tabel 8.1 het zichtbaar licht spectrum

kleur	golflengtegebied (nm)
violet	380 – 436
blauw	436 – 495
groen	495 – 566
geel	566 – 589
oranje	589 – 627
rood	627 – 780

**Wit licht** is een mengsel van alle golflengten van 380 – 780 nm. Al deze **spectraalkleuren** kan men bijvoorbeeld in een regenboog of met behulp van een prisma waarnemen.

Tussen beide voorstellingswijzen, golven of deeltjes, bestaat de relatie dat hoe korter de golflengte, hoe groter de energie van de daarbij horende fotonen. Zo heeft bijvoorbeeld blauw licht een grotere energie dan rood licht.

Elektromagnetische straling ontstaat door beweging van elektrische ladingen. Zo ontstaat zichtbaar licht door bewegende elektronen. In principe zijn er twee verschillende mechanismen om licht te produceren:

- gloeien
- luminescentie

Wanneer men een materiaal aan het **gloeien** brengt, dan zenden willekeurig door elkaar bewegende elektronen licht uit van verschillende golflengten. Bij een bepaalde temperatuur van het gloeiend voorwerp domineert ook een bepaalde golflengte. Zo spreekt men bijvoorbeeld van rood gloeiend en wit gloeiend. Bij het opwarmen van een materiaal (bijvoorbeeld een metalen gloeidraad) verandert bij toenemende temperatuur de dominerende kleur van rood, over geel, wit, tot blauw. Bij een bepaalde temperatuur hoort een bepaalde gemiddelde kleur, maar het uitgezonden spectrum is continu.

**Luminescentie** vereist daarentegen geen hoge temperaturen. Hier heeft men te maken met welbepaalde energieovergangen van elektronen. Een elektron dat van een hoog naar een laag energieniveau overgaat, zendt licht uit van een bepaalde golflengte die afhangt van het energieverschil van de overgang. Het spectrum van een luminescerend materiaal, **emissiespectrum**, is dan ook discontinu (het vertoont discrete maxima).

Een materiaal kan men op verschillende manieren stimuleren om licht uit te zenden; fluorescentie van mineralen door ze te bestralen met ultraviolet licht is er een voorbeeld van.

## 8.2 LICHTBREKING

Wanneer een lichtbundel op een mineraaloppervlak valt, dan wordt een gedeelte van dat licht door het mineraaloppervlak weerkaatst terwijl het overige gedeelte het mineraal binnendringt (fig. 8.2). Voor de teruggekaatste bundel geldt dat de **terugkaatsingshoek** (t) gelijk is aan de **invalshoek** (i);  $t = i$ . Men spreekt hier van **weerkaatsing** of **reflectie**.

Een gedeelte van de lichtbundel dringt het mineraal binnen. Omdat het licht door het mineraal wordt afgeremd, wordt de invallende lichtbundel gebroken; de **brekingshoek** (b) is kleiner dan de invalshoek (i);  $b < i$ . Men noemt dit verschijnsel **lichtbreking** of **refractie**.

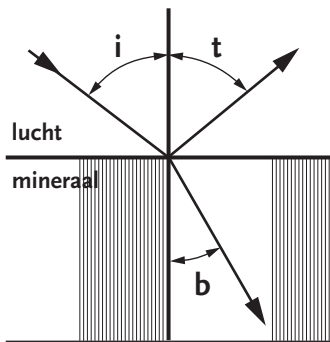


fig. 8.2 wanneer een lichtbundel op een mineraaloppervlak valt, dan wordt een gedeelte van dat licht door het mineraaloppervlak weerkaatst terwijl het overige gedeelte het mineraal binnendringt

Lichtbreking treedt op bij overgang tussen materialen met verschillende **optische dichtheid**. Lucht is optisch ijl terwijl een mineraal optisch dicht is. Optische dichtheid varieert van de ene mineraalsoort tot de andere. Een maat voor de optische dichtheid is de **brekingsindex**. De brekingsindex (symbool, n) van een mineraal is gedefinieerd als de verhouding van de snelheid van het licht in lucht tot de snelheid van het licht in het betreffende mineraal:

$$n = \frac{\text{lichtsnelheid in lucht}}{\text{lichtsnelheid in mineraal}}$$

De brekingsindex van spinel is bijvoorbeeld 1,72 wat betekent dat het licht zich in lucht 1,72 maal sneller voortbeweegt dan in spinel.

Hoe groter de brekingsindex van een mineraal hoe meer de invallende lichtbundel afgeremd en afgebogen wordt.

De brekingsindex van een gegeven mineraalsoort is vrij constant en varieert meestal slechts binnen beperkte grenzen. Het bepalen van de brekingsindex

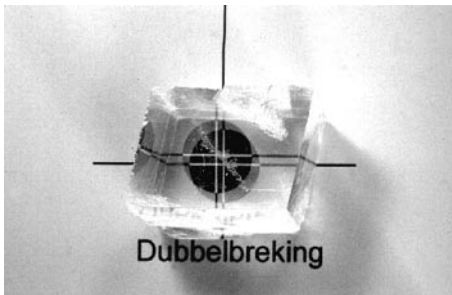
van een mineraal is een belangrijk hulpmiddel voor de determinatie van dat mineraal. Het bepalen van de brekingsindex valt echter buiten het bestek van deze tekst.

Voor de meeste mineralen is het evenwel iets gecompliceerder. Hun kristalstructuur zal ervoor zorgen dat het invallende licht in twee stralen wordt opgesplitst die elk met een verschillende snelheid door het mineraal bewegen. Beide stralen hebben dus een verschillende brekingsindex. Van mineralen die invallend licht in twee stralen opsplijst, zegt men dat ze **optisch anisotroop** zijn. Het verschijnsel van de breking in twee bundels noemt men **dubbelbreking**. Optisch isotrope mineralen daarentegen zijn **enkelbrekend**. In een optisch anisotroop kristal zijn de optische eigenschappen richtingsafhankelijk; dit wil zeggen, afhankelijk van hun oriëntatie ten opzichte van de structuur van het kristal.

Dubbelbrekende mineralen behoren tot het tetragonaal, hexagonaal, orthorombisch, monoklien of triklien kristalstelsel. Enkelbrekende mineralen behoren tot het kubisch stelsel of ze zijn amorf.

Wanneer men een voorwerp doorheen een dubbelbrekend materiaal bekijkt dan kan men het men het dubbel zien. De waarneming van een stukje tekst door een calcietkristal is er een goed voorbeeld van (fig. 8.3). Hoe groter het verschil tussen beide brekingsindices (en hoe dikker het anisotrope materiaal), hoe sterker de opsplitsing.

Het verschil tussen de beide brekingsindices noemt men de **dubbelbreking**. Het mineraal kwarts heeft als brekingsindices 1,553 en 1,544 en bijgevolg een dubbelbreking van 0,009. Calciet heeft zelfs een dubbelbreking van 0,172. Bij de meeste anisotrope mineralen (zoals bij kwarts) is de dubbelbreking te klein om de opsplitsing zonder meer waar te nemen.



*fig. 8.3 de waarneming van een stukje tekst door een calcietkristal is een goed voorbeeld van dubbelbreking*

### 8.3 DOORZICHTIGHEID

De doorzichtigheid van een mineraal is afhankelijk van de **hoeveelheid doorvallend licht** en de **'kwaliteit' van dat doorvallend licht**.

De **'kwaliteit'** van het doorvallend licht hangt af van de hindernissen die het licht op zijn weg doorheen het mineraal tegenkomt. Die hindernissen kunnen onvolkomenheden of bijzonderheden in de structuur zijn, insluitsels van gas- of vloeistofbelletjes of van kleine kristalletjes van andere mineralen.

De **hoeveelheid** licht dat door een mineraal wordt doorgelaten hangt af van de lichtabsorberende eigenschappen van dat mineraal.

De graad van doorzichtigheid van een mineraal beschrijft men door de termen:

- **doorzichtig:** een mineraal is doorzichtig wanneer men er doorheen kan kijken en een voorwerp dat zich achter het mineraal bevindt duidelijk kan waarnemen zoals door een stuk vensterglas. In een dergelijk mineraal wordt het licht bijna niet geabsorbeerd en komt het doorvallende licht op zijn weg weinig of geen hindernissen tegen. Typische voorbeelden zijn een blaadje mica, een plaatje van een gips kristal, een insluitselvrij bergkristal.
- **doorschijnend:** wanneer het mineraal licht doorlaat, maar wanneer zich achter het mineraal bevindende voorwerpen niet duidelijk of scherp waar te nemen zijn. Bijvoorbeeld een stuk chaledoon.
- **opaak** (onddoorschijnend): wanneer het mineraal geen licht doorlaat. De meeste metallische of halfmetallische mineralen zijn opaak.

Om tussenliggende gevallen te beschrijven wordt soms gebruik gemaakt van termen zoals halfdoorzichtig en halfdoorschijnend.

## 8.4 GLANS

Onder **glans** verstaat men het uiterlijk van een (vers) **mineraaloppervlak in gereflecteerd licht**. In principe maakt men onderscheid tussen twee soorten glans:

- **metaalglans**
- **niet-metaalglans**

Omdat er geen duidelijke scheidingslijn is tussen de twee soorten glans gebruikt men voor intermediaire gevallen ook de term **halfmetaalglans**.

Van een mineraal dat een briljant uiterlijk heeft zoals een metaal, zegt men dat het een **metaalglans** vertoont. Metallisch glanzende mineralen zijn meestal opaak. Voorbeelden zijn o.a. pyriet, marcasiet, galeniet en chalcopyriet. Tot de metallisch glanzende mineralen behoren de metalen, een aantal sulfiden en enkele oxiden. Een metaalglans kan het best waargenomen worden aan een vers breukvlak want een verweringslaagje kan de metaalglans maskeren.

Wanneer de glans niet perfect metallisch is dan spreekt men van **halfmetaalglans**. Voorbeelden zijn o.a. wolframiet, magnetiet.

**Niet-metallisch glanzende** mineralen zijn dikwijls relatief licht gekleurd en doorzichtig tot doorschijnend. Bij niet-metallisch glanzende mineralen bestaat er een relatie tussen de brekingsindex ( $n$ ) en de glans. Op grond van hun brekingsindex kan men een onderscheid maken tussen de volgende soorten niet-metaalglans:

- **glasglans:**  $n < 1,9$  de meeste mineralen hebben een glasglans, dat is de glans van gebroken glas. De kristalvlakken van kwarts of toermalijn zijn voorbeelden.
- **diamantglans:** is typisch voor mineralen met een hoge brekingsindex ( $n > 1,9$ ). Het is de glans die bekend is van een glad (gepolijst) diamant-oppervlak en die men aantreft bij mineralen zoals cerussiet en anglesiet. Een intense diamantglans ( $n > 2,6$ ) vindt men o.a. bij cinnaberkristallen en sommige rutielspecimens.
- **harsglans:** kenmerkend voor, meestal geel gekleurde, mineralen met een hoge brekingsindex ( $> 1,9$ ) zoals sfaleriet (de gele variëteiten) en zwavel.

Sommige soorten niet-metaalglans zijn mede het gevolg van de structuur van het mineraal of van het oppervlak:

- **parelmoerglans:** wordt dikwijls waargenomen aan oppervlakken die evenwijdig liggen aan spleetvlakken. Typisch voorbeeld is het basaalvlak van apofyllietkristallen
- **zijdeglans:** wordt veroorzaakt door reflectie van het licht aan aggregaten van evenwijdige microscopische vezels. Voorbeelden zijn vezelige gips, serpentijn (chrysotiel) en sommige malachieten
- **vetglans:** zou het gevolg zijn van een microscopisch ruw oppervlak en ziet eruit alsof het oppervlak met een laagje olie is bedekt. Typisch zijn nefelien en de breukvlakken van kwarskristallen
- **mat:** dof zoals krijt of klei. Typisch voor poreuze mineralen of voor verweerde mineraaloppervlakken.

## 8.5 KLEUR

Wanneer wit licht op een mineraaloppervlak valt, dan wordt een gedeelte van dat licht weerkaatst terwijl het overige gedeelte het mineraal binnendringt. Aan het mineraaloppervlak treedt er dus zowel reflectie (weerkaatsing) als refractie (lichtbreking) op. Wanneer noch het gereflecteerde noch het gerefracteerde licht geabsorbeerd wordt, dan is het mineraal kleurloos. Wanneer echter **bepaalde golflengten geabsorbeerd** worden, dan is het mineraal **gekleurd**. De kleur van het mineraal wordt bepaald door de combinatie van de resterende golflengten die ons oog bereiken. Bijvoorbeeld een mineraal dat het rode licht absorbeert zal groen gekleurd zijn.

De kleur van een mineraal kan door verschillende processen veroorzaakt worden. De voornaamste zijn:

- absorptie van licht door bepaalde ionen in het kristal
- absorptie van licht door structuurdefecten
- kleur veroorzaakt door optische fenomenen

Voor heel wat mineralen is de precieze oorzaak van de kleur nog onvolledig of zelfs helemaal niet opgehelderd. Het onderzoek naar de kleur van kristallen is een complex gegeven. In de volgende alinea's worden uitsluitend de algemene basisprincipes bondig behandeld.

### *ABSORPTIE VAN LICHT DOOR IONEN IN HET KRISTAL*

Om de absorptie van licht door ionen te begrijpen, moet even teruggegaan worden naar paragraaf 3.4 waar de elektronenstructuur van atomen werd behandeld. In grote trekken kwam het er op neer dat de energie van een elektron slechts bepaalde waarden kan aannemen die afhankelijk zijn van de schil (energieniveau) waarin het elektron zich bevindt. Hoe dichter de schil bij de kern, des te lager de energie van de elektronen die in die schil aanwezig zijn.

Zichtbaar-licht-fotonen met de juiste energie kunnen bepaalde elektronen in een mineraal in een hoger energieniveau brengen. Men zegt dat een dergelijk **elektron geëxciteerd** wordt of in een geëxciteerde toestand terecht komt. Tijdens dit proces geven bepaalde fotonen hun energie af aan het elektron. Die fotonen worden dus geabsorbeerd (fig. 8.4). Welke golflengten geabsorbeerd worden hangt af van de voor de excitatie vereiste energie.

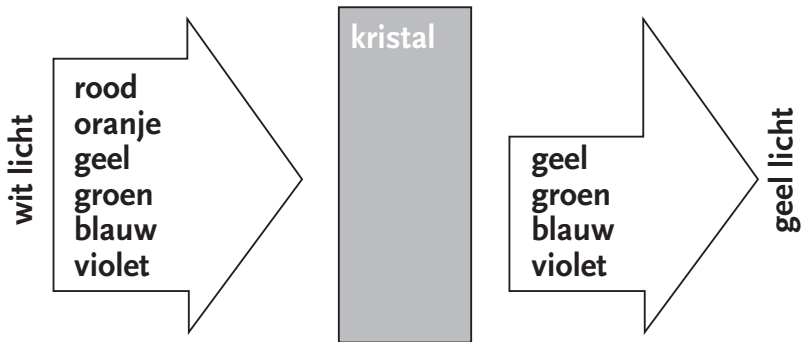


fig. 8.4 bepaalde fotonen worden door het kristal geabsorbeerd en het licht dat het kristal verlaat is gekleurd omdat bepaalde golflengten verdwenen zijn. In dit geval een mineraal dat het rode licht absorbeert en daarom groen gekleurd is.

Deze **elektronenovergangen** treden vooral op bij ionen van elementen uit de groep van de **overgangsmetalen** zoals: V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni en Cu en ook bij elementen uit de reeks van de lanthaniden en actiniden.

Ionen van deze elementen die de kleur van een mineraal veroorzaken noemt men **chromoforen**.

De lichtabsorptie door een chromofoor wordt ook beïnvloed door de ionen die de chromofoor omringen. M.a.w. de **kristalstructuur is mede bepalend** voor de werking van de chromofoor. De naburige ionen beïnvloeden immers de elektronenenergieniveaus van de chromofoor. Zo veroorzaakt bijvoorbeeld  $\text{Cu}^{2+}$  de groene kleur van malachiet, terwijl datzelfde ion bij azuriet, dat een verschillende kristalstructuur heeft, een blauwe kleur veroorzaakt.

De **valentie van het overgangsmetaal** dat de kleur veroorzaakt speelt eveneens een rol. Zo veroorzaakt tweewaardig ijzer ( $\text{Fe}^{2+}$ ) andere kleuren dan het drie-waardig ijzer ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Van al deze chromoforen is ijzer (Fe) overigens wel het meest verspreid; dit element maakt ongeveer 5% van de aardkorst uit. Bijgevolg wordt de kleur van heel wat mineralen door Fe beïnvloed.

#### ABSORPTIE VAN LICHT DOOR STRUCTUURDEFECTEN

Het elektron dat kleur veroorzaakt door licht te absorberen, zoals in vorig alinea werd beschreven, hoeft niet noodzakelijk tot een overgangsmetaal te behoren. Onder bepaalde omstandigheden kan dat elektron ook de plaats innemen van een kristaldefect of kan het tot een vreemd (niet-overgangsmetaal) ion behoren. In dit laatste geval is het vreemde ion als onzuiverheid in het kristal aanwezig. In beide gevallen kan door excitatie lichtabsorptie veroorzaakt worden; men spreekt dan van **kleurcentra** in een kristal.



In het geval van het kristaldefect, heeft men te maken met een **puntdefect**; dit is een plaats in het kristal waar een ion ontbreekt. Wanneer dat puntdefect bijvoorbeeld het ontbreken van een eenwaardig anion is, dan wordt de ontstane vacature opgevuld door een elektron (fig. 8.5); het kristal moet immers elektrisch neutraal blijven. Dit elektron kan geëxciteerd worden met lichtabsorptie als gevolg. De kleur van violette fluoriet wordt door dergelijke puntdefecten (ontbreken van een F ion) veroorzaakt.

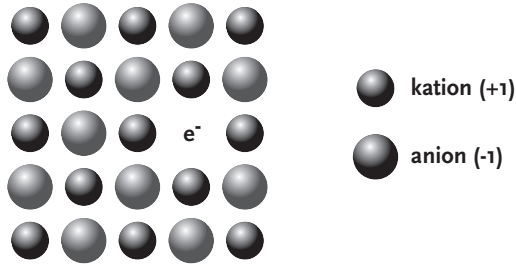


fig. 8.5 wanneer een puntdefect het ontbreken van een eenwaardig anion is, dan wordt de ontstane vacature opgevuld door een elektron omdat het kristal elektrisch neutraal moet blijven

#### *KLEUR VEROOORZAAKT DOOR OPTISCHE FENOMENEN*

Kleuren kunnen ook veroorzaakt worden door een aantal optische fenomenen zoals lichtverstrooiing, dispersie, diffractie enz. Bij deze verschijnselen zijn geen elektronenexcitatie betrokken.

Voorbeelden zijn de **interferentiekleuren** (aanloopkleuren) veroorzaakt door dunne oxidatiefilmen bij mineralen zoals borniet en chalcopyriet. Interferentie aan dunne lamelletjes in de structuur van bepaalde veldspaten kan soms een blauwe of witte schijn veroorzaken (men noemt dit verschijnsel adularescentie, naar adulaar, een orthoklaasvariëteit). Het **kleurenspeel** in opaal wordt veroorzaakt door diffractie van het licht aan de minuscule, 150-300 nm grote SiO<sub>2</sub>-sfeertjes waaruit opaal is opgebouwd.

#### *IDIOCHROMATISCHE MINERALEN*

Bij een aantal mineralen is de kleur een fundamenteel kenmerk dat in verband staat met de chemische samenstelling van dat mineraal. Wanneer in de chemische samenstelling van een mineraal een overgangsmetaal (chromofoor) voorkomt, dan mag men er van uitgaan dat de kleur daardoor bepaald wordt.

Zo zijn bijvoorbeeld de Mn-houdende mineralen rhodochrosiet en rhodoniet rood tot oranje-rood gekleurd. De Cu-mineralen malachiet en dioptas zijn altijd

groen terwijl azuriet altijd blauw gekleurd is. Van dergelijke mineralen met een constante kleur zegt men dat ze **idiochromatisch** zijn.

Niet alle idiochromatische mineralen zijn door overgangsmetalen gekleurd. Voorbeelden zijn o.a. zwavel, realgar en cinnaber. De kleur van deze mineralen kan verklaard worden met behulp van de ‘bandtheorie’ die echter buiten het bestek van deze tekst valt.

De kleur van idiochromatische mineralen kan beïnvloed worden door onzuiverheden. Dit kan zowel op atomaire schaal (vreemde ionen in de structuur) als op microscopische of macroscopische schaal (bijmengingen van vreemde mineralen).

De meeste **metallisch glanzende mineralen** hebben een **vrij constante kleur**. Zo heeft bijvoorbeeld pyriet een goudgeel glanzend oppervlak.

Tabel 8.2 geeft een overzicht van de voornaamste chromoforen in een aantal idiochromatische mineralen:

*tabel 8.2 een overzicht van de voornaamste chromoforen in een aantal idiochromatische mineralen*

element	mineraal	kleur
Cr	crocoiet uvaroviet	oranje groen
Co	erythrien	roze
Cu	azuriet chrysocolla turkoois dioptaas malachiet cupriet	blauw blauwgroen blauw groen groen rood
Fe	olivijn lazuliet almandien goethiet	groen blauw rood geel
Mn	rhodochrosiet rhodoniet spessartien	roze roze oranje
U	autuniet	geel

## ALLOCHROMATISCHE MINERALEN

De elementen waar het merendeel van de mineralen uit bestaan, veroorzaken geen specifieke kleur. Als deze mineralen zuiver zijn, dan zijn ze kleurloos of wit als ze niet transparant zijn. Is een dergelijk mineraal toch gekleurd, dan moet de oorzaak daarvoor gezocht worden in onzuiverheden (op welke schaal dan ook) of kristaldefecten. De uiteindelijke kleur van een dergelijk mineraal is variabel en hangt af van de aard van de in het betreffende specimen aanwezige kleurveroorzaker.

Mineralen met **variabele kleur** noemt men **allochromatisch**.

Kleine hoeveelheden van sterk lichtabsorberende ionen zijn dikwijls reeds voldoende om een allochromatisch mineraal intensief te kleuren. Enkele voorbeelden van allochromatische mineralen met de elementen (chromoforen) en de kleur die ze veroorzaken zijn in tabel 8.3 weergegeven.

*tabel 8.3 enkele allochromatische mineralen met de elementen (chromoforen) en de kleur die ze veroorzaken*

element	mineraal	kleur
Cr	beryl (smaragd) grossulaar spodumeen (hiddeniet) korund (robijn) spinel topaas	groen groen groen rood rood rood
Fe	beryl (aquamarijn) toermalijn chrysoberyl vesuvianiet orthoklaas	groen groen geel geel geel
Mn	beryl (morganiet) spodumeen toermalijn andalusiet	roze roze roze groen, geel
Ni	chrysopraas (kwarts)	groen
V	apofylliet grossulaar (tsavoriet)	groen groen

Nast chromoforen kunnen ook kleurcentra in een kristal optreden. Enkele voorbeelden van allochromatische mineralen waarvan de kleur door kleurcentra wordt veroorzaakt, zijn amethist, rookkwarts en purperkleurige fluoriet.

Allochromatische mineralen kunnen ook gekleurd worden door insluitels van andere gekleurde mineralen. Typische voorbeelden zijn kwarskristallen en chalcedoon die door diverse vreemde mineralen gekleurd kunnen worden. Insluitsels van chrysocolla veroorzaken een groenachtig blauw gekleurde chalcedoon, terwijl hematiet-insluitels de rode variëteit carneool opleveren. Alpiene kwartsen worden dikwijls groen gekleurd door plaatvormige insluiteltjes van chloriet.

### *KLEUR EN MINERALENDETERMINATIE*

Hoewel de kleur van een mineraal een van de opvallendste en meest in het oog springende kenmerken is, mag men de waarde als determinatiemiddel niet overschatten. Redenen daarvoor zijn de variabiliteit van de kleur van een aantal mineralen en eveneens het vrijwel gelijk gekleurd zijn van totaal verschillende mineraal-species.

Dit neemt niet weg dat de kleur van een mineraal een rol speelt bij het determinatieproces. In dit verband nog enkele opmerkingen:

- Bij mineralen met een metaalglans is de kleur meestal vrij constant en is dan ook een belangrijk determinatiemiddel.
- De kleur van een metallisch glanzend mineraal bepaalt men het best aan een vers breukvlak. De kleur van een verweringslaagje kan immers erg misleidend zijn; men denkt bijvoorbeeld aan de door verwerking ontstane aanloopkleuren van pyriet, borniet en chalcopyriet (zie interferentie blz. 170).
- Om de kleur van een mineraal vast te stellen is verstrooid daglicht beter dan direct zonlicht. Dit is zeker bij metallisch glanzende mineralen het geval.

Naast het waarnemen van de kleur, is het vaststellen van de streepkleur erg belangrijk.

## 8.6 STREEPKLEUR

De kleur van het poeder van een mineraal noemt men **streep** of **streepkleur**. Door enkele auteurs wordt voorkeur gegeven aan de termen streek en streekkleur, zodat men beide benamingen in de literatuur kan tegenkomen.

In tegenstelling tot de kleur, is de **streepkleur** van een gegeven mineraal **vrij constant**. Dit is vooral van belang wanneer men met allochromatische mineralen te maken heeft; de streepkleur van deze mineralen is meestal wit of zwak gekleurd. Fluoriet dat bijvoorbeeld in vele kleuren kan voorkomen, heeft altijd een witte streep.

In een aantal gevallen is de streepkleur verschillend van de kleur van het mineraal zelf. Dit is nogal eens het geval bij metallisch glanzende mineralen. Zo heeft de goudgeel gekleurde pyriet een zwarte streepkleur en hebben de bijna zwarte rutielkristallen een bruinachtige streep.

In enkele gevallen kan de streepkleur beïnvloed worden door onzuiverheden die in het mineraal aanwezig zijn. Hematiet bijvoorbeeld heeft een roodbruine streep, maar de aanwezigheid van ilmeniet in hematiet veroorzaakt een zwarte streepkleur.

Verder dient men er rekening mee te houden dat de streepkleur van een verveerd mineraal meestal verschilt van zijn kenmerkende streepkleur.

Men kan de streepkleur het best bepalen door het te onderzoeken specimen over een stuk ongeglazuurd wit porselein (= streepplaatje) te wrijven. Door deze handeling wordt het mineraal verpulverd en over het porselein uitgestreken. De hardheid van een dergelijk streepplaatje ( $H = 6,5 - 7$ ) beperkt zijn gebruik tot mineralen die zachter zijn dan 7 op de Mohs-hardheidsschaal.

## 8.7 FLUORESCENTIE

Fluorescentie is een vorm van luminescentie die ontstaat wanneer men een mineraal bestraalt met ultraviolet licht (UV-licht). Wanneer het mineraal na het verwijderen van de lichtbron blijft nalichten, dan spreekt men van **fosforescentie**.

Wanneer een fluorescerend mineraal met UV-fotonen van de juiste energie wordt bestraald, dan zullen bepaalde elektronen in dat mineraal geëxciteerd worden (fig. 8.6, a) en bijgevolg zal UV-licht geabsorbeerd worden.

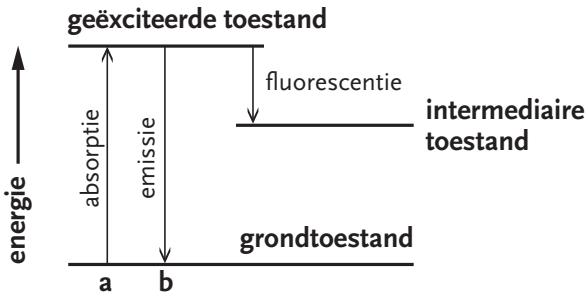


fig. 8.6 schematische voorstelling van energieovergangen bij elektronen door absorptie van straling (a), door terugval van de geëxciteerde toestand naar de grondtoestand (b) en fluorescentie door terugval naar een intermediaire toestand (c)

Als deze geëxciteerde elektronen van het hoger energieniveau naar hun oorspronkelijke (grond)toestand terugvallen, dan zullen ze het overschot aan energie weer afstaan. Als de terugval in één stap gebeurt, dan is de energie (en dus ook de golflengte) van de uitgezonden straling gelijk aan die van de exciterende straling (fig. 8.6, b). De geëxciteerde elektronen kunnen evenwel ook terugvallen naar een intermediaire toestand en de energie van de daarbij uitgezonden straling is dan kleiner dan de excitatie-energie (fig. 8.6, c). Bijgevolg is de golflengte van de uitgezonden straling groter (zichtbaar licht) dan van het invallende UV-licht. In dit geval spreekt men van fluorescentie.

Om te fluoresceren moet een mineraal bepaalde **activatoren** bevatten. Meestal zijn dat ionen van overgangsmetalen of van lanthaniden of actiniden. Omdat de activatoren normaal gezien als onzuiverheden aanwezig zijn, zullen uitsluitend die exemplaren fluoresceren die de vereiste onzuiverheden bevatten. Omdat deze onzuiverheden geen essentieel bestanddeel van het mineraal zijn, is fluorescentie meestal van weinig of geen nut bij het mineralen determineren. Dit neemt niet weg dat op sommige vindplaatsen de fluorescentie van bepaalde species uitermate handig kan zijn om ze van elkaar te onderscheiden.

Om fluorescentie waar te nemen met UV-licht zijn er twee soorten UV-lichtbronnen voorhanden:

- lange golf UV licht, golflengte 365,4 nm
- korte golf UV licht, golflengte 253,7 nm

Sommige mineralen fluoresceren uitsluitend onder korte golf UV, andere weer onder lange golf UV en sommige zelfs onder beide UV-lichtbronnen. Het is dus aan te bevelen om over beide UV-lichtbronnen te beschikken. UV-licht, en vooral de korte golf, kan schadelijk zijn voor de ogen en het is een goede gewoonte om fluorescentie doorheen een stuk vensterglas (of brilglas) te bekijken. Glas absorbeert immers het schadelijke UV-licht.



## CHEMISCHE KENMERKEN

*Een belangrijk onderdeel in de studie van mineralen is het vaststellen van hun chemische samenstelling. Dit soort werkzaamheden (chemische analyse) vereist heel wat apparatuur en kennis en is het domein van de daarin gespecialiseerde mineraloog of chemicus. Toch bestaan er enkele eenvoudige testmethoden waarmee de aanwezigheid van een aantal elementen kan aangetoond worden, of waarvan het testresultaat kenmerkend is voor een bepaald mineraal of voor een bepaalde mineralengroep.*

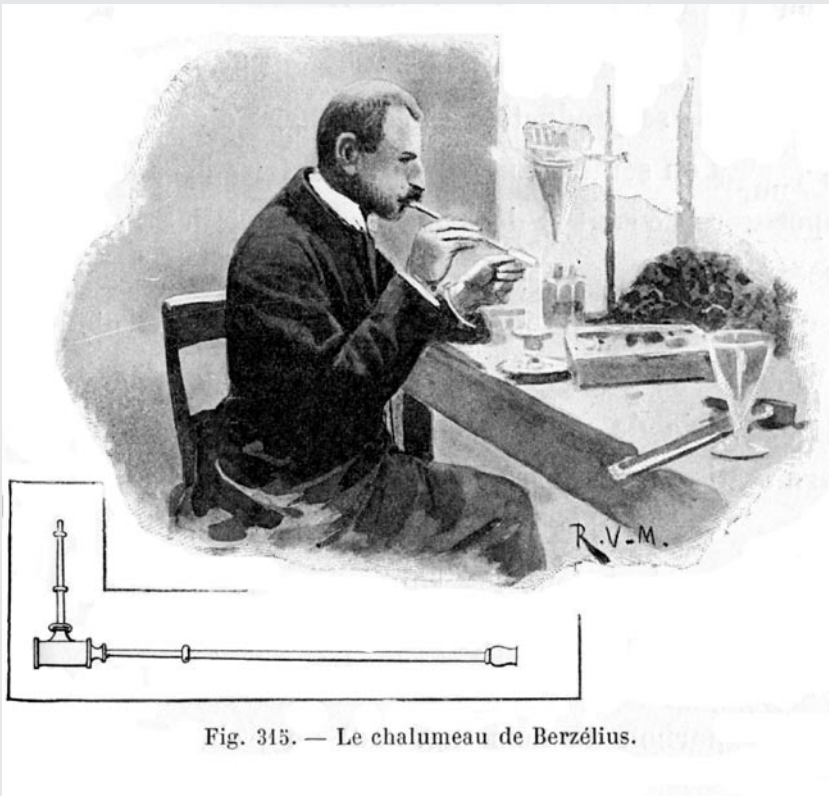


Fig. 315. — Le chalumeau de Berzélius.



ONDERZOEK VAN MINERALEN MET DE BLAASPIJP

*Stanislas Meunier, Nos terrains, Paris, 1898*

## 9.1 EENVOUDIGE CHEMISCHE TESTEN

Wanneer men tracht om mineralen te determineren zonder gebruik te maken van wetenschappelijke apparatuur of wanneer men mineralen probeert te herkennen, dan gebeurt dat in de eerste plaats aan de hand van fysieke kenmerken. Toch kunnen een aantal eenvoudige chemische testen dikwijls een determinatie bevestigen of weerleggen. In ieder geval bezorgen ze nuttige bijkomende informatie bij het determineren van onbekende specimens.

Voor het uitvoeren van een chemische test moet altijd een kleine hoeveelheid van het te onderzoeken mineraal opgeofferd worden; enkele korreltjes of splinters volstaan meestal. Voor de monsterneming komen, naargelang van de aard van het te testen specimen, een hamer, een stenenbreker, de scherpe kanten van een trektang of zelfs een naald goed van pas. Er dient vooral op gelet te worden dat de korreltjes enkel uit het te determineren mineraal bestaan en geen bijmengingen van andere mineralen of van nevingesteente bevatten. Het spreekt voor zich dat men mooie specimens niet door monsterneming mag beschadigen.

De eenvoudige testen die in dit hoofdstuk worden behandeld, zijn als volgt samen te vatten:

- reacties met zuren
- verhitting in een glazen buisje
- smeltbaarheidstest
- vlamkleur bepaling
- parelreacties

Vooraleer de eigenlijke waarnemingen aan de orde komen, volgen nog enkele paragrafen over de bunsenbrander, de blaaspijp en het omgaan met zuren.

## 9.2 DE BUNSENBRANDER EN DE BUNSENVLAM

In een aantal van de beschreven testen heeft men een gasvlam nodig. Daartoe wordt gebruik gemaakt van een bunsenbrander (fig. 9.1). De naam van de brander verwijst naar de ontwerper Robert Bunsen (1811-1899). Er bestaan bunsenbranders voor stadsgas en modellen die voor butaan geschikt zijn.

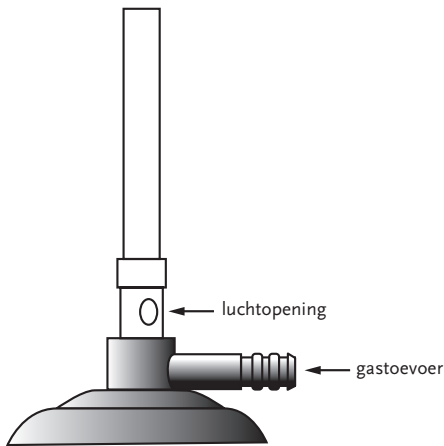


fig. 9.1 de bunsenbrander

Onderaan de brander zijn regelbare luchtopeningen aanwezig. Sluit men deze openingen af dan heeft men een lichtgevende bunsenvlam. Opent men deze luchtopeningen dan wordt de vlam kleurloos en bij volle opening krijgt de vlam een lichtblauwe kegelvormige kern. Deze kern (ABC in figuur 9.2) bestaat voornamelijk uit nog onverbrand gas. In de buitenste mantel (ADCBA) grijpt de volledige verbranding van het gas plaats.

Naargelang de aard van de test wordt gebruik gemaakt van een specifiek gedeelte van de vlam. Deze delen zijn (fig. 9.2):

- de **lage temperatuurzone**, gelegen aan de basis van de buitenste mantel
- de **hoogste temperatuurzone**, het heetste gedeelte van de vlam ligt op ongeveer een derde van de vlamhoogte en is gesitueerd in het midden van de buitenste mantel
- de **lage oxidatiezone** ligt ter hoogte van de hoogste temperatuurzone aan het buitenoppervlak van de mantel
- de **bovenste oxidatiezone** bevindt zich in de top van de vlam. Er is een sterke overmaat aan zuurstof aanwezig, maar de temperatuur is er niet zo hoog als in de lage oxidatiezone

- de **lage reducerende zone**. Deze zwak reducerende zone is gelegen op het grensvlak mantel/kern waar de reducerende gassen zich met de luchtzuurstof vermengen
- de **bovenste reducerende zone** is gelegen in de top van de blauwe kern. Deze sterk reducerende zone is rijk aan gloeiende koolstofdeeltjes

Het gebruik van de verschillende zones wordt in de paragrafen over de diverse testen toegelicht.

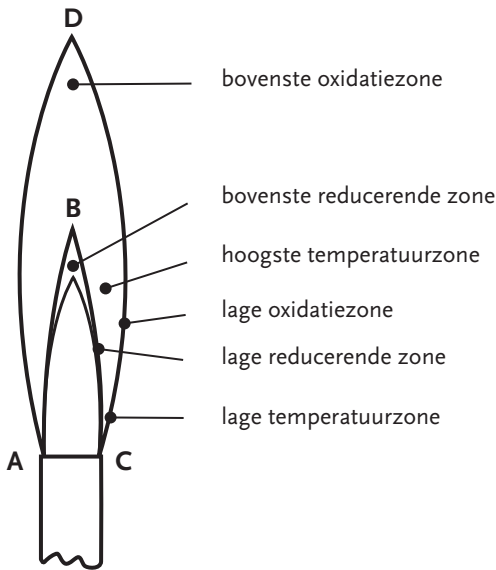


fig. 9.2 de bunsenvlam

### 9.3 DE BLAASPIJP; OXIDERENDE EN REDUCERENDE VLAM

Een bunsenvlam bevat een oxiderend en een reducerend gedeelte.

Een **oxiderende vlam** is dat gedeelte van de vlam dat veel luchtzuurstof bevat. Wanneer een mineraalkorreltje in een oxiderende vlam verhit wordt, dan kunnen zich oxides van de in het mineraal aanwezige metalen vormen.

Een **reducerende vlam** is daarentegen rijk aan reducerende gassen (stadsgas, butaan) en bevat tevens gloeiende koolstofdeeltjes. Een reducerende vlam zal de

aanwezige metalen in het mineraalmonster reduceren. Bij doorgedreven reductie kan zelfs zuiver metaal overblijven.

Hoewel de niet lichtende bunsenvlam ook oxiderende en reducerende zones heeft, is de blaaspijp een onmisbaar hulpmiddel om een sterk oxiderende of reducerende vlam te produceren. Een blaaspijp is niets anders dan een metalen buisje dat aan één uiteinde over een rechte hoek is omgebogen en eindigt op een fijne opening, terwijl het aan de andere kant van een mondstuk is voorzien. Bij het gebruik van de blaaspijp moet men er wel op letten om de luchtstroom gelijkmatig en continu in de vlam te blazen. Men maakt gebruik van een lichtgevende bunsenvlam (luchtgaatjes gesloten).

Een **oxiderende vlam** (fig. 9.3) krijgt men door het uiteinde van de blaaspijp tot ongeveer een derde van de vlamdiameter in de vlam te brengen. Vrij stevig blazen is aangeraden. De oxiderende vlam is blauw gekleurd en weinig lichtgevend. De oxiderende werking is het sterkste aan het uiteinde van de vlam (fig. 9.3, punt O). De heetste plaats is net buiten de blauwe kegelvormige kern (punt S) en is geschikt voor smeltbaarheidsbepalingen.

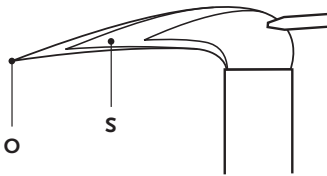


fig. 9.3 oxiderende vlam

Om een **reducerende vlam** (fig. 9.4) te krijgen, moet men de blaaspijp net buiten de bunsenvlam houden. De reducerende vlam is lichtend geel en eerder onregelmatig en lawaaierig. Licht aanblazen is het beste. De meest ideale plaats voor reducties is in fig. 9.4 met R aangeduid.

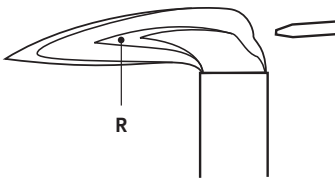


fig. 9.4 reducerende vlam

Om de blaaspijp met succes te gebruiken is wel wat oefening vereist. De blaaspijp is onmisbaar bij het uitvoeren van experimenten met boraxparels en voor het bepalen van de smeltbaarheid.

## 9.4 HET WERKEN MET ZUREN

Voor sommige testen wordt gebruik gemaakt van zuren. De zuren die het meest gebruikt worden, zijn:

tabel 9.1

chemische formule	naam	triviale naam
HCl	waterstofchloride	zoutzuur
HNO <sub>3</sub>	waterstofnitraat	salpeterzuur
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	waterstofsulfaat	zwavelzuur

In de tekst die volgt, zullen de zuren steeds met hun formule vermeld worden (er zal bijvoorbeeld niet van verdund waterstofchloride gesproken worden, maar van verdund HCl).

Bij het werken met zuren moet men wel enkele **veiligheidsvoorschriften** in acht houden:

- Zuren bewaart men in aangepaste, van duidelijke etiketten voorziene flessen.
- Zuren bewaart men uiteraard buiten het bereik van kinderen.
- Wanneer de huid in aanraking komt met zuren, dan spoelt men deze onmiddellijk af met zoveel mogelijk koud water. Daarna eventueel afwassen met zeep of een soda-oplossing. Bij geconcentreerd H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (het gevaarlijkste van de drie) tracht men de grootste hoeveelheid zuur zo vlug mogelijk droog te deppen en vervolgens met een flinke straal water af te spoelen.
- Mocht er zuur in de ogen terecht komen dan spoelt men deze onmiddellijk met water! Beter nog is een 5% oplossing van natriumbicarbonaat in water; voor dit doel bestaan er oogspoelflessen die men bij het werken met zuren onder handbereik dient te hebben. Daarna onmiddellijk de oogarts raadplegen.

Bij een aantal experimenten gebruikt men met water verdunde zuren. Waar men vooral op dient te letten (in het bijzonder met H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) is dat men steeds zuur bij water giet en niet omgekeerd. Wanneer men water op geconcentreerd H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> zou gieten dan ontstaat een reactie waarbij nogal wat warmte vrijkomt en waarbij het zuur zelfs plaatselijk kan koken en spatten!

## GIET STEEDS ZUUR OP WATER, NOOIT OMGEKEERD !

Dus bij het verdunnen van  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (zwavelzuur) wordt de benodigde hoeveelheid zwavelzuur langzaam bij het water gegoten. Onbezonnen omspringen met zuren kan leiden tot ongevallen waarvoor de auteur niet verantwoordelijk kan gesteld worden.

### 9.5 VERWARMING IN EEN GESLOTEN BUISJE

De test die men meestal als eerste uitvoert, is de zogenaamde **gesloten-buisjes-test**. De bedoeling van deze test is na te gaan wat er gebeurt wanneer een mineraal in afwezigheid van zuurstof wordt opgewarmd. Daartoe wordt een kleine hoeveelheid verpulverd mineraal in een droog, aan één kant gesloten, glazen buisje in de bunsenvlam verwarmd.

Het glazen buisje is een klein proefbuisje met een buitendiameter van 6 mm en een binnendiameter van ongeveer 4 mm. Om een gesloten buisje te vervaardigen, verdeelt men een dergelijke glazen buis in stukken van ongeveer 17 cm. Een glazen buisje brengt men op lengte door op de gewenste plaats met een vijltje een kras te maken en het buisje vervolgens met de hand door te breken (tussen duim en wijsvinger houden). Het midden van dat stukje buis wordt in het heetste gedeelte van de bunsenvlam verhit tot het glas week wordt en vervolgens buiten de vlam uit elkaar getrokken. Dit levert telkens twee eenzijdig gesloten buisjes op.

Eén of enkele mineraalkorreltjes worden in het buisje gebracht en tot op de bodem geschud. Het buisje wordt bijna horizontaal in de bunsenvlam gehouden (eerst in de lage- vervolgens in de hoge-temperatuurzone). Het buisje kan men met behulp van een houten wasknijper (of proefbuisklem) vasthouden, de opening van zich afwendend. De temperatuur wordt geleidelijk opgevoerd tot het mineraal smelt of gloeit en elke verandering die plaatsgrijpt wordt genoteerd.

Volgt nu een overzicht van de mogelijke waarnemingen met vermelding van de mineralen, in alfabetische volgorde, die het betreffende kenmerk, verschijnsel of gedrag vertonen.

#### **SMELTEN**

Slechts een beperkt aantal mineralen kan men door verwarming in een glazen buisje aan het smelten brengen. Enkele mineralen die meer of minder gemakkelijk smelten zijn (tabel 9.2):

tabel 9.2 smelten

anglesiet	colemaniet	stibniet
arseen	crocoiet	sylviet
auripigment	enargiet	tennantiet
borax	haliet	tetraëdriet
bournoniet	jamesoniet	ulexiet
cerussiet	realgar	zwavel

### BARSTEN

Enkele mineralen kunnen tijdens het opwarmen in een gesloten buisje barsten gaan vertonen, breken of zelfs uit elkaar springen. Typische voorbeelden zijn (tabel 9.3):

tabel 9.3 barsten

anglesiet	enargiet
aragoniet	fluoriet
bariet	haliet (soms)
calciet (soms)	sideriet
cerussiet	sfaleriet
chalcopryiet (soms)	turkoois
crocoiet	vanadiniet

Sommige mineralen zullen in plaats van te barsten, opzwellen zoals o.a. apofylliet, borax, vivianiet

### LUMINESCENTIE

Enkele mineralen zullen tijdens de verwarming in het gesloten buisje licht uitstralen (niet te verwarren met gloeien). Dit verschijnsel dat men thermoluminescentie noemt, kan nogal eens waargenomen worden bij apatiet en fluoriet.

### WATERAFGIFTE

Een aantal mineralen zal tijdens het verwarmen water afgeven. Dat water condenseert in het koudere deel van het buisje. Een aantal van deze mineralen zijn samengevat in tabel 9.4. Enkele ervan (met \* gemerkt) geven het water slechts na sterk verhitten af.



tabel 9.4 waterafgifte

amblygoniet	erythrien	natroliet
analcieem	flogopiet	prehniet (*)
apofylliet	gips	serpentijn
autuniet	goethiet - limoniet	stauroliet (*)
azuriet	hemimorfiet	stilbiet
bauxiet	heulandiet	talk (*)
biotiet	hoornblende	torberniet
borax	hydrozinciet	turkoois
chabaziet	kaolien	ulexiet
chloriet	lepidoliet	vesuvianiet
chrysocolla	malachiet	vivianiet
colemaniet	manganiet	wavelliet
epidoot (*)	muscoviet	zoisiet (*)

#### KLEURVERANDERING

Sommige mineralen kunnen tijdens het verwarmen in het gesloten buisje van kleur veranderen. De kleur van het nog hete mineraal kan verschillend zijn van de kleur na afkoeling.

In verband met de kleurverandering gelden enkele vuistregels:

- zinkmineralen zoals hydrozinciet, smithsoniet en hemimorfiet kleuren geel tijdens het opwarmen en worden na afkoeling wit. Dit in tegenstelling tot het loodmineraal cerussiet dat na afkoeling geel gekleurd is.
- carbonaten van ijzer, mangaan en koper (zoals o.a. sideriet, rhodochrosiet, malachiet, azuriet) kleuren tijdens het verhitten zwart.

Typische voorbeelden van mineralen die tijdens een gesloten-buisjes-test van kleur veranderen zijn (tabel 9.5):

tabel 9.5

mineraal	kleurverandering tijdens gesloten-buisjes-test
apofylliet	verandert van kleurloos naar wit
azuriet	kleurt zwart
cerussiet	kleurt eerst geel en bij hogere temperatuur donkerrood om na afkoelen terug geel te kleuren
chrysocolla	wordt zwart

crocoiet	tijdens het verhitten kleurt het zwart maar krijgt na afkoeling de originele kleur terug
gips	kleurt opaak wit
goethiet	kleurt rood
hemimorfiet	kleurt wit
malachiet	kleurt zwart
natroliet	wordt opaakwit
realgar	smelt tot een rode vloeistof die stolt tot een roodachtig-gele massa
rhodochrosiet	kleurt zwart
serpentine	lichte korrels kleuren zwart
sideriet	kleurt zwart
smithsoniet	kleurt bij verwarming geel, na afkoeling wit
turkoois	kleurt bruin
vivianiet	kleurt wit en zwelt op

#### WORDEN MAGNETISCH

Dit komt voor bij enkele ijzer-, kobalt- of nikkelmineralen zoals arsenopyriet, limoniet, pyriet, sideriet.

#### SUBLIMAATVORMING

Sublimaatvorming treedt op wanneer door verhitting een vluchtig bestanddeel vrijkomt dat neerslaat in het koude deel van het buisje.

Hier gelden volgende vuistregels:

- een geel sublimaat duidt op de aanwezigheid van zwavel
- een oranje tot rood sublimaat is kenmerkend voor mineralen die zowel zwavel als arseen bevatten, zoals: realgar, auripigment, tennantiet, enargiet
- een kersrood tot bruinrood sublimaat wijst op de aanwezigheid van zwavel en antimoon zoals in stibniet en bournoniet
- een zwart sublimaat kan zowel op de aanwezigheid van arseen als van kwik duiden

Men moet er wel rekening mee houden dat sommige van deze dampen giftig zijn. Dit soort experimenten moet men altijd in een goed geventileerde ruimte uitvoeren en men moet vermijden om de ontsnappende dampen op te snuiven.

Nog enkele typische voorbeelden zijn (tabel 9.6):

tabel 9.6

mineraal	sublimaatvorming tijdens gesloten-buisjes-test
arseen	vluchtig zwart sublimaat (arseenspiegel)
arsenopyriet	eerst geel, dan zwart
cinnaber	zwart sublimaat
covelliet	veel zwavel
enargiet	zwavel; bij hogere temperatuur ontstaat een sublimaat van arseensulfide
marcasiet	zwavel
nikkelien	eerst na sterk verhitten vormt zich een weinig arseensublimaat
pyriet	overvloedig sublimaat van zwavel
pyromorfiet	vormt een wit sublimaat van loodchloride
realgar	rood tot geel sublimaat (er ontsnappen gele zwaveldampen)
vanadinit	vormt een weinig wit sublimaat
zwavel	vormt een geel sublimaat (rood als het nog warm is)

## 9.6 VERWARMING IN EEN OPEN BUISJE

Een kleine hoeveelheid fijne mineraalkorreltjes of mineraalpoeder wordt in een open buisje met de bunsenbrander of in een blaaspijpvlam verwarmd. Bij de **open-buisjes-test** kan de luchtzuurstof door het buisje stromen en eventueel bepaalde in het mineraal aanwezige elementen oxideren. De gevormde oxiden vervluchtigen en (met uitzondering van  $\text{SO}_2$ ; zwaveldioxide) sublimeren in het koudere deel van het buisje.

Voor open-buisjes-testen gebruikt men glazen buisjes met een buitendiameter van 7,5 mm, een binnendiameter van 5,5 mm en 15 cm lang.

Men houdt het buisje onder een hoek van ongeveer  $30^\circ$  boven de vlam. Naargelang men die hoek groter of kleiner maakt, stroomt er meer of minder lucht doorheen het buisje. Eerst wordt slechts zwak verhit om de vorming van zuurstofvrije sublimaten tegen te gaan. Eerst na lang verhitten zullen oxiden ontstaan die dan door nog sterker te verhitten zullen vervluchtigen en uiteindelijk sublimeren.

De open-buisjes-test is vooral bedoeld om zwavel-, arseen- en antimoonhoudende mineralen van andere mineralen te onderscheiden.

Men legt altijd een vochtig stukje blauw lakmoespapier in het bovenste eind van het buisje, zodanig dat het papiertje voor 2/3 in het buisje zit en het overige deel kan omgeplooid worden. Bij aanwezigheid van zure dampen verkleurt het papier dan van blauw naar rood.

Voor de open-buisjes-test gelden volgende vuistregels:

- alle sulfiden die bij de gesloten-buisjes-test onveranderd blijven, geven hier hun zwavel vrij. Zwavel reageert met de luchtzuurstof onder vorming van  $\text{SO}_2$  dat men herkent aan de indringende geur en aan het rood kleuren van het vochtige blauwe lakmoespapiertje.
- arseenmineralen vormen een vluchtig, wit sublimaat van  $\text{As}_2\text{O}_3$
- antimoonmineralen vormen een witte rook van  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  die zich in het hele buisje verspreidt. Bij sterk verhitten en voldoende luchttoevoer ontstaat  $\text{Sb}_2\text{O}_4$ . Het  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  is vluchtig,  $\text{Sb}_2\text{O}_4$  (wit tot zwak geel) is niet vluchtig en onsmeltbaar.

In tabel 9.7 zijn enkele typische voorbeelden samengebracht van mineralen die in de open-buisjes-test kenmerkende reacties vertonen. Men moet er wel rekening mee houden dat sommige van deze dampen giftig zijn. Dit soort experimenten moet men altijd in een goed geventileerde ruimte uitvoeren en men moet vermijden om de ontsnappende dampen op te snuiven.

tabel 9.7 open-buisjes-testen

mineraal	kenmerkende reactie tijdens open-buisjes-test
arseen	kristallijn sublimaat van wit $\text{As}_2\text{O}_3$
arsenopyriet	zwaveldampen + wit sublimaat van $\text{As}_2\text{O}_3$
cinnaber	zwaveldampen + sublimaat van metallisch kwik
enargiet	zwavel- en arseendampen
galeniet	zwavel
molybdeniet	zwaveldampen en lichtgeel kristallijn sublimaat van molybdeenoxide
nikkelien	sublimaat van arseenoxide, het mineraal zelf kleurt geelgroen
pyriet	vorming van zwaveldioxide
pyrrhotiet	vorming van zwaveldioxide
realgar	zwaveldampen bij zwak verhitten en een wit kristallijn sublimaat van arseenoxide
stibniet	$\text{SO}_2$ -dampen + wit sublimaat van antimoonoxide
tennantiet / tetraëdriet	zwaveldampen en een wit sublimaat

## 9.7 SMELTBAARHEIDSTEST

Het spreekt voor zich dat het onmogelijk is om met eenvoudige middelen het smeltpunt van een mineraal vast te stellen. Toch kan men een idee krijgen van de smeltbaarheid van een mineraal door het te verwarmen in een blaaspijpvlam. Daartoe wordt een fragment (mineraalsplinter of -korreltje) met behulp van een tang (kroestang of lang pincet) vastgehouden en in het heetste gedeelte van de blaaspijpvlam verwarmd (in fig. 9.3. met S aangeduid).

Om de mineralen op grond van hun smeltbaarheid te klasseren, werd een schaal opgesteld van zeven mineralen gaande van gemakkelijk smeltbaar tot onsmeltbaar in de blaaspijpvlam. Deze “smeltbaarheidsschaal” naar **von Kobell** (1803-1882) is samengevat in tabel 9.8.

In plaats van de temperatuur van het smeltpunt aan te geven, wordt de smeltbaarheid uitgedrukt door een getal van 1 tot 7. Smeltbaarheden die tussen twee nummers in liggen worden met halfjes aangeduid.

Om voor zichzelf een idee van de smeltbaarheden te krijgen, is het noodzakelijk om met deze mineralen te experimenteren. Om vergelijkingen mogelijk te maken moet men werken met korreltjes of liefst splinters van gelijke grootte (een splinter met een maximale diameter van 1 mm is ideaal).

tabel 9.8 smeltbaarheidsschaal naar von Kobell

nummer	type voorbeeld	smeltpunt bij benadering (°C)	waarneming
1	stibniet	525	smelt zelfs in het minder warme gedeelte van de bunsenvlam
2	chalcopyriet	800	smelt vrij gemakkelijk in de bunsenvlam
3	almandien	1050	onsmelbaar in de bunsenvlam, maar smelt gemakkelijk in de blaaspijpvlam
4	actinoliet	1200	een splinter smelt zonder veel moeite in de blaaspijpvlam
5	orthoklaas	1300	de kanten van een korreltje ronden met moeite af in de blaaspijpvlam
6	bronziet	1400	bijna onsmelbaar in de blaaspijpvlam; enkel de kleinste splinters ronden met moeite af
7	kwarts	1700	onsmelbaar in de blaaspijpvlam

De smeltbaarheid is een nuttig hulpmiddel bij het determineren van mineralen. In tabel 9.9 worden een aantal mineralen gerangschikt naar toenemende smeltbaarheid.

Tabel 9.10 is een alfabetische lijst van een aantal mineralen met hun smeltbaarheid en met eventuele bijkomende waarnemingen (zie in dit verband ook paragraaf 9.8 over de vlamkleur).

Hoewel de smeltbaarheid een fysisch kenmerk is, werd het toch eenvoudigheds-halve in dit hoofdstuk ondergebracht.

*tabel 9.9 een aantal mineralen gerangschikt naar toenemende smeltbaarheid*

smeltbaarheid naar Von Kobell	mineralennamen in alfabetische volgorde		
1	auripigment borax bournoniet	enargiet jamesoniet realgar	stibniet ulexiet zwavel
1,5	anglesiet borax cerussiet colemaniet	crocoiet haliet milleriet sylviet	tennantiet tetraëdriet vanadiniet
2	amblygoniet apofylliet arsenopyriet autuniet chalcopyriet chalcosiet	erythrien galeniet lepidoliet milleriet nikkelien pyromorfiet	skutterudiet torberniet vivianiet wulfeniet zilver
2,5	autuniet borniet chalcosiet covelliet	marcasiet natroliet prehniet pyriet	skutterudiet torberniet witheriet
3	autuniet azuriet chabaziet cupriet epidoot fluoriet gips goud	granaat heulandiet koper malachiet marcasiet pyriet pyrrhotiet rhodoniet	riebeckiet stilbiet torberniet toermalijn vesuvianiet witheriet wolframiet zoisiet
3,5	analcien celestien epidoot	granaat sodaliet spodumeen	toermalijn wolframiet zoisiet

4	actinoliet augiet bariet celestien diopsiet epidoot	hoornblende manganiet nefelien sodaliet titaniet toermalijn	veldspaat wolframiet wollastoniet zoisiet
5	apatiet beryl biotiet flogopiet	goethiet hemimorfiet limoniet scheeliet	sideriet talk toermalijn veldspaat
5,5	apatiet beryl	goethiet limoniet	toermalijn
6	cordieriet muscoviet	sfaleriet toermalijn	
7	anataas andalusiet aragoniet aurichalciet bauxiet brookiet calciet cassiteriet chloriet chromiet chrysocola diamant dolomiet grafiet	hematiet hydrozinciet ilmeniet kaoliniet korund kwarts leuciet magnesium magnetiet molybdeniet muscoviet olivijn pyrolusiet rhodochrosiet	rutil serpentin sfaleriet sillimaniet smithsoniet stauroliet strontianiet topaas toermalijn turkoois uraniniet wavellet zirkoon

*tabel 9.10 alfabetische lijst van een aantal mineralen met hun smeltbaarheid en met eventuele bijkomende waarnemingen*

mineraalnaam	smelt nummer	waarneming
<b>actinoliet</b> <b>/tremoliet</b>	4	smelt tot een zwart (actinoliet) of tot een helder wit glas (tremoliet)
<b>amblygoniet</b>	2	zwelt kleurt de vlam geelrood met sporen van groen
<b>analcim</b>	3,5	smelt tot een helder kleurloos glas kleurt de vlam geel
<b>anataas</b>	7	
<b>andalusiet</b>	7	
<b>anglesiet</b>	1,5	barst

apatiet	5 - 5,5	kleurt de vlam roodgeel (bevochtigd met $H_2SO_4$ kleurt het de vlam licht blauwgroen)
apofylliet	2	zwelt, smelt tot een wit geaderd email kleurt de vlam licht violet
aragoniet	7	wordt wit en valt uit elkaar
arseen	-	verdampst zonder te smelten en geeft een kenmer- kende knoflookgeur af
arsenopyriet	4	smelt tot en groen glas
aurichalciet	7	
auripigment	1	vervluchtigt (knoflookgeur)
autuniet	2 - 3	smelt tot een zwarte massa
azuriet	3	groene vlamkleur
bariet	4	kleurt de vlam geelgroen
bauxiet	7	
beryl	5 - 5,5	smelt tot een email
biotiet	5	smelt tot een zwart magnetisch glas
borax	1 - 1,5	zwelt op en kleurt de vlam geel
borniet	2,5	
bournoniet	1	smelt tot een metallisch bolletje
brookiet	7	
calciet	7	kleurt de vlam roodachtig geel
cassiteriet	7	
celestien	3,5 - 4	barst soms tijdens het verwarmen fluoresceert lichtgroen na verhitting
cerussiet	1,5	barst tijdens opwarmen zie open-buisjes-test i.v.m. kleurverandering
chabaziet	3	smelt onder opzwellen tot een blaasjeshoudend glas
chalcopyriet	2	
chalcosiet	2 - 2,5	
chloriet	7	kleurt wit
chromiet	7	wordt magnetisch in reducerende vlam
chrysocolla	7	kleurt de vlam smaragdgroen
cinnaber	-	vervluchtigt
colemaniet	1,5	zwelt op en kleurt de vlam groen
cordieriet	6	
covelliet	2,5	azuurblauwe vlam indien bevochtigd met HCl
crocoiet	1,5	



cupriet	3	
diamant	7	
diopsiet	4	
dolomiet	7	
enargiet	1	zwavelgeur bij verwarming
epidoot	3 - 4	smelt onder opzwellen tot een zwarte slak
erythrien	2	
flogopiet	5	
fluoriet	3	kleurt de vlam rood
galeniet	2	zwavelgeur
gips	3	kleurt de vlam rood
goethiet	5 - 5,5	wordt magnetisch (in reducerende vlam)
goud	3	
grafiet	7	
granaat	3 - 3,5	met uitzondering van uvaroviet (7)
haliet	1,5	kleurt de vlam fel geel
hematiet	7	sterk magnetisch bij verwarming in de reducerende vlam
hemimorfiet	5	
heulandiet	3	smelt onder opzwellen
hoornblende	4	smelt tot een donkergroen glas
hydrozinciet	7	
ilmeniet	7	wordt magnetisch na verhitting
jamesoniet	1	
kaolien	7	
koper	3	smelt tot een metallisch bolletje
korund	7	
kwarts	7	breekt meestal tijdens verwarmen
kyaniet	7	
lepidoliet	2	kleurt de vlam karmijnrood
leuciet	7	
limoniet	5 5,5	wordt magnetisch in een reducerende vlam
magnesiet	7	
magnetiet	7	
malachiet	3	kleurt de vlam groen
manganiet	4	
marcasiet	2,5 - 3	wordt magnetisch bij verwarming

<b>milleriet</b>	1,5 - 2	wordt magnetisch
<b>molybdeniet</b>	7	kleurt de vlam geelgroen
<b>muscoviet</b>	6 - 7	witte verkleuring aan de randen van het mineraal
<b>natroliet</b>	2,5	smelt tot een heldere glasachtige massa kleurt de vlam geel
<b>nefelien</b>	4	smelt tot een kleurloos glas sterke gele vlamkleuring
<b>nikkelien</b>	2	
<b>olivijn</b>	7	mineraalkorreltje kleurt soms wit
<b>prehniet</b>	2,5	smelt onder opzwellen tot een gele of groene glas- achtige massa
<b>pyriet</b>	2,5 - 3	wordt magnetisch
<b>pyrolusiet</b>	7	
<b>pyromorfiet</b>	2	kleurt de vlam blauwgroen
<b>pyrrhotiet</b>	3	zwarte magnetische massa
<b>realgar</b>	1	vervluchtigt kenmerkende knoflookgeur
<b>rhodochrosiet</b>	7	kleurt grijs, bruin en tenslotte zwart barst soms
<b>rhodoniet</b>	3	smelt tot een zwarte glasachtige massa
<b>riebeckiet</b>	7	
<b>scheeliet</b>	5	smelt tot een semi-transparant glas
<b>serpentiin</b>	7	barst soms bij verhitting
<b>sfaleriet</b>	6 - 7	
<b>sideriet</b>	5	wordt magnetisch en kleurt zwart
<b>sillimaniet</b>	7	
<b>skutterudiet</b>	2 - 2,5	wordt magnetisch
<b>smithsoniet</b>	7	blauwgroene vlamkleur en er ontstaan barstjes
<b>sodaliet</b>	3,5 - 4	gele vlamkleur
<b>spinel</b>	7	
<b>spodumeen</b>	3,5	kleurt de vlam karmijnrood zwelt tijdens het verwarmen
<b>stauroliet</b>	7	na verhitten zwak magnetisch
<b>stibniet</b>	1	kleurt de vlam groenachtig blauw
<b>stilbiet</b>	3	smelt onder uitzetten
<b>strontianiet</b>	7	bij sterk verhitten zwelt het mineraal kleurt de vlam karmijnrood
<b>sylviet</b>	1,5	kleurt de vlam violet (door kobaltglas bekijken)

<b>talk</b>	5	
<b>tennantiet tetraëdriet</b>	1,5	kleurt de vlam groen
<b>titaniem</b>	4	smelt aan de randen tot een groen glas
<b>topaas</b>	7	
<b>torberniet</b>	2 - 3	smelt tot een zwarte massa kleurt de vlam groen
<b>toermalijn</b>	3 - 7	smeltbaarheid hangt af van de samenstelling: - bruine magnesiumrijke soorten, 3 - ijzerrijke soorten smelten moeilijk - lithiumrijke soorten zijn onsmeltbaar
<b>turkoois</b>	7	kleurt bruin en de vlam wordt niet of slechts zwak groen gekleurd
<b>ulexiet</b>	1	smelt onder opzwellen tot een helder glas kleurt de vlam geel (bevochtigd met $H_2SO_4$ kleurt het de vlam eventjes groen)
<b>uraniniet</b>	7	
<b>vanadiniet</b>	1,5	smelt tot een zwarte massa
<b>veldspaat</b>	4 - 5	
<b>vesuvianiet</b>	3	smelt onder opzwellen tot een groene of bruine glasachtige massa
<b>vivianiet</b>	2	kleurt de vlam blauwgroen smelt tot een zwarte magnetische massa
<b>wavelliet</b>	7	zwellt bij verhitting, kleurt de vlam lichtgroen
<b>witheriet</b>	2,5 - 3	kleurt de vlam geelgroen
<b>wolframiet</b>	3 - 4	smelt tot een magnetische massa
<b>wollastoniet</b>	4	smelt tot een witte glasachtige massa
<b>wulfeniet</b>	2	
<b>zilver</b>	2	smelt tot een zilverwit bolletje
<b>zirkoon</b>	7	
<b>zoisiet</b>	3 - 4	smelt onder opzwellen tot een witte tot donkere massa
<b>zwavel</b>	1	brandt met blauwe vlam

## 9.8 DE VLAMKLEUR

Een aantal mineralen zal bij verhitting de blaaspijp- of bunsenvlam doen verkleuren. Dit verschijnsel dat meestal reeds bij de smeltbaarheidstest wordt waargenomen (zie ook tabel 9.10), wordt veroorzaakt door bepaalde elementen die in het mineraal aanwezig zijn en die bij verhitting vervluchtigen. Dergelijke elementen kunnen aan de vlam een kleur geven die karakteristiek is voor het betreffende element.

Voor het onderzoeken van de vlamkleur gebruikt men een platinadraad met een oogje (diameter ongeveer 3 mm) erin gebogen (fig. 9.5). De platinadraad die ongeveer 5 - 10 cm lang moet zijn en een diameter van ongeveer 0,1 mm moet hebben, wordt in een houdertje bevestigd. De platinadraad, die men eerst met het oogje in het mineraalpoeder heeft gedompeld, wordt verwarmd in een kleurloze bunsenvlam of in het blauwe gedeelte van een blaaspijpvlam. Afhankelijk van het te onderzoeken mineraal zal een duidelijke vlamkleur verkregen worden door in een hevige dan wel minder hevige vlam te verwarmen. Daarom wordt in het begin van de test zachtjes verwarmd en enkel als er geen vlamkleur optreedt, kan er feller verhit worden.



fig. 9.5 platinadraad in een houder

Nog een aantal praktische wenken:

- alvorens de test te beginnen, wordt de platinadraad in geconcentreerd HCl gedompeld en vervolgens in de vlam gehouden tot de vlam kleurloos is
- het mineraal mag geen zwavel of arseen bevatten omdat deze elementen de platinadraad aantasten. De aanwezigheid van zwavel of arseen toont men best eerst aan met de open-buisjes-test
- het te onderzoeken mineraalpoeder mag niet met de vingers aangeraakt worden want in dat geval krijgt men meestal de gele, alles overheersende, natriumvlamkleur
- om de natriumvlamkleur te maskeren kan men de vlam doorheen een kobaltglas bekijken. Een natriumvlam doorheen een kobaltglas bekeken is kleurloos
- indien zelfs bij hevig verhitten geen vlamkleur waarneembaar is dan kan men het mineraalpoeder vermengen met een weinig geconcentreerd  $\text{H}_2\text{SO}_4$  of HCl en vervolgens de test herhalen
- de vlamkleur kan men best waarnemen in een verduisterde kamer

Met behulp van de vlamkleur kan men de aanwezigheid van enkele elementen aantonen. Er dient wel op gelet dat bij aanwezigheid van verschillende vlamkleurende elementen mengkleuren zullen ontstaan die moeilijk te interpreteren zijn. In het bijzonder is de gele natriumkleur erg storend. Zelfs sporen natrium die meestal niet van het mineraal afkomstig zijn, maar die tijdens het manipuleren / fijnmalen in het poeder terechtkomen, zullen de vlam geel kleuren. Bij aanwezigheid van natrium dient men de vlam doorheen een kobaltglas te bekijken.

tabel 9.11 de voornaamste vlamkleuren

vlamkleur	vlamkleur door kobaltglas	element	opmerking / voorbeeld
karmijnrood	rood	Li	bij aanwezigheid van slechts kleine hoeveelheden Na wordt de vlamkleur geelrood
purperrood	roodgeel	Sr	strontianiet
oranje	lichtgroen	Ca	fluoriet
geel	kleurloos	Na	van weinig nut voor mineralen gezien het erg gemakkelijk optreden van deze vlamkleur
smaragdgroen		Cu	wanneer men HCl aan het mineraalpoeder toevoegt dan kleurt de vlam azuurblauw
groen tot geelgroen		B	meestal dient men wat geconcentreerd $H_2SO_4$ aan het mineraalpoeder toe te voegen om de groene vlamkleur te krijgen
geelgroen	groengeel	Ba	bariet, witheriet
bleek blauw-groen		P	fosfaten, soms uitsluitend na toevoeging van geconcentreerd $H_2SO_4$ aan het mineraalpoeder
azuurblauw		Cu	kopermineraal na toevoeging van wat HCl
violet		K	zelden bruikbaar

## 9.9 PARELREACTIES

Wanneer men bepaalde elementen met een flux of vloeimiddel samensmelt dan geven ze aan de gesmolten massa een kleur die kenmerkend is voor het betreffende element.

Voor het uitvoeren van een pareltest wordt gebruik gemaakt van vloeimiddelen zoals borax (natrium tetraboraat,  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) en “fosforzout” (natrium ammonium waterstoffosfaat,  $\text{NaNH}_4\text{HPO}_4$ ). Bij het verhitten van deze chemicaliën ontstaan kleurloze glasachtige massa's.

Een parel verkrijgt men door het oogje van een platinadraad (zie ook fig. 9.5) in een oxiderende vlam te verhitten en vervolgens in het borax- of fosforzoutpoeder te dompelen. Het oogje met aangehecht poeder wordt opnieuw in de oxiderende vlam verhit; het poeder zal opzwellen en na enige tijd verwarmen blijft er een heldere kleurloze parel in het oogje van de platinadraad achter. Wanneer nu een kleine hoeveelheid mineraalpoeder in die hete parel opgelost wordt dan vormen zich metaaloxiden die aan de parel een kenmerkende kleur geven. Praktisch gezien wordt een kleine hoeveelheid mineraalpoeder met de nog hete parel aangestipt en vervolgens in de blaaspijplam gehouden. Men noteert eerst de kleur bij een oxiderende vlam (zowel de kleur van de warme parel als van de parel na afkoeling) en vervolgens de kleur van de parel (warm en koud) verkregen door verhitting in de reducerende vlam.

Nog enkele wenken:

- het oogje van de platinadraad hoeft slechts 3 mm in diameter te zijn
- mineralen die in een gesloten- of een open-buisjes-test bewezen hebben dat ze zwavel of arseen bevatten, mag men niet zonder meer voor een pareltest gebruiken omdat ze de platinadraad kunnen aantasten. Van dergelijke mineralen wordt een korreltje in een kroestang gehouden en gedurende een tijd in een oxiderende vlam verhit ten einde alle zwavel als  $\text{SO}_2$  te laten ontsnappen.
- om een parel van de platinadraad te verwijderen, wordt de parel hevig verhit en dan met een ruk uit het oog van de platinadraad geschud. Opgelet voor de ogen en de handen, want de boraxparel is behoorlijk heet!
- wanneer men teveel mineraalpoeder met de parel aanstipt dan is de kleuring van de parel te diep en moeilijk waarneembaar. Het beste is dan om de nog hete parel gedeeltelijk uit de draad te schudden en weer wat borax of fosforzout aan te stippen. Op die manier kan men de hoeveelheid mineraal in de parel “verdunnen” en de parelkleur transparanter maken.

Typische kleurreacties met borax- en fosforzoutparels worden in tabellen 9.12 en 9.13 vermeld.

tabel 9.12 kleurreacties met boraxparels (w = warm, k= koud)

metaal	parelkleur in oxiderende vlam	parelkleur in reducerende vlam
<b>Ti</b>	w: geelachtig k: kleurloos tot lichtgeel	w: geel tot bruin k: kleurloos tot geelbruinachtig
<b>V</b>	w: donkergeel k: geel tot bruingeel	w: bruinachtig k: chroomgroen
<b>Bi</b>	w: lichtgeel k: kleurloos	w: grijs k: grijs
<b>Sb</b>	w: lichtgeel k: kleurloos	w: grijs k: grijs
<b>Ag</b>	w: geel k: opaleserend	w: grijs k: grijs
<b>Cr</b>	w: geel tot rood k: geelgroen	w=k: licht tot donker smaragdgroen
<b>Mn</b>	w: violet k: blauwachtig rood	w: kleurloos k: kleurloos tot lichtrose
<b>Fe</b>	w: geelrood tot bruin k: geel tot roodachtig geel	w: flessengroen k: flessengroen
<b>Co</b>	w: blauw k: blauw	w: blauw k: blauw
<b>Ni</b>	w: violet k: roodbruin tot bruin	w: ondoorzichtig grijs k: meestal zilverwitte nikkelzwam
<b>Cu</b>	w: groen k: hemelsblauw	w = k: kleurloos, dan zegellakrood en vervolgens metallisch koper in een kleurloze parel
<b>Mo</b>	w: geelachtig k: kleurloos tot lichtgeel	w: bruin k: grijsbruin tot zwart
<b>W</b>	w: geel tot kleurloos k: kleurloos tot lichtgeel	w: geel tot donkergeel k: kleurloos tot lichtgeel
<b>U</b>	w: geelrood tot bruin k: geel	w: flessengroen k: geelachtig-groen

tabel 9.13 kleurreacties met fosforzoutparels (w = warm, k = koud)

metaal	parelkleur in oxiderende vlam	parelkleur in reducerende vlam
<b>Ti</b>	w: geelachtig k: kleurloos tot lichtgeel	w: geel k: amethistkleurig
<b>V</b>	w: donkergeel k: geel	w: bruinachtig k: chroomgroen
<b>Cr</b>	w: roodachtig k: smaragdgroen	w: roodachtig k: smaragdgroen
<b>Mn</b>	w: amethistkleur k: amethistkleur	w: kleurloos k: kleurloos
<b>Fe</b>	w: geelrood k: kleurloos tot groenachtig geel	w: geel via groen tot rood k: rookgrijs tot rookbruin
<b>Co</b>	w: blauw k: blauw	w: blauw k: blauw
<b>Ni</b>	w: roodachtig tot roodachtigblauw k: geel tot roodachtiggeel	w: roodachtig tot geelachtig k: roodachtig tot geelachtig
<b>Cu</b>	w: groen k: hemelsblauw	w: kleurloos tot groenachtig k: kleurloos tot groenachtig
<b>Mo</b>	w: geelgroen k: kleurloos geelgroen	w: vuilgroen k: groen
<b>W</b>	w: geelachtig k: kleurloos lichtgeel	w: vuilgroen k: saffierblauw
<b>U</b>	w: geel k: kleurloos groengeel	w: vuilgroen k: smaragdgroen

Er dient wel rekening mee gehouden dat bij aanwezigheid van twee of meer “kleurende” elementen in het mineraal, mengkleuren optreden die de interpretatie van de pareltest bemoeilijken of zelfs onmogelijk maken. De pareltest is daarom eerder geschikt om de identiteit van een mineraal met eenvoudige chemische samenstelling te bevestigen of te weerleggen.



## 9.10 OPLOSBAARHEID IN ZUREN

Een eenvoudige maar dikwijls doeltreffende test is de bepaling van de oplosbaarheid van een mineraal in zuren. Daartoe worden een kleine hoeveelheid van het mineraal met enkele ml zuur in een proefbuisje gebracht. Eerst wordt de oplosbaarheid bij kamertemperatuur nagegaan. Enkel als het mineraal niet oplost dan wordt de oplosbaarheid in warm zuur getest door de bodem van het proefbuisje lichtjes in de bunsenvlam te verwarmen. Tijdens het verwarmen houdt men de opening van het proefbuisje van zich af om mogelijk spatten door plotseling opkoken van het zuur op het lichaam te vermijden.

Meestal wordt de test achtereenvolgens uitgevoerd met:

- verdund HCl (2 delen HCl aan 3 delen water toevoegen)
- geconcentreerd HCl
- geconcentreerd HNO<sub>3</sub>
- verdund H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1 deel H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> aan 4 delen water toevoegen)  
steeds langzaam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> aan water toevoegen, nooit water aan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> toevoegen!!!

Een zeldzame keer wordt ook nog wel eens gebruik gemaakt van koningswater; een mengsel van 3 volumes geconcentreerd HCl en 1 volume geconcentreerd HNO<sub>3</sub>. Naast het al dan niet oplossen, zijn er nog enkele nevenverschijnselen die voor de determinatie van belang kunnen zijn zoals: vorming van een neerslag, gasontwikkeling (opbruisen), kleuring van de oplossing.

Nog enkele vuistregels in verband met het oplossen in zuren:

- de meeste mineralen van de groep van de carbonaten geven CO<sub>2</sub>-gas af (opbruisen) bij behandeling met HCl.  
Eerst proberen met koud HCl en slechts dan opwarmen als er geen reactie optreedt. Indien het mineraal uitsluitend in warm HCl opbruist, dan neemt men het proefbuisje uit de bunsenvlam om na te gaan of het opbruisen nog enige tijd doorgaat, dit om verwarring met koken te vermijden
- heel wat silicaten zullen bij verwarming in geconcentreerd HCl ontbinden onder afscheiding van pulverig tot gelvormig SiO<sub>2</sub> (siliciumdioxide)
- wanneer men een koperhoudend mineraal oplost in HCl of HNO<sub>3</sub> en vervolgens enkele druppels ammoniak aan de oplossing toevoegt, dan krijgt de oplossing een diepbloauwe kleur

Een alfabetische lijst van een aantal mineralen met gegevens betreffende hun oplosbaarheid in zuren wordt in tabel 9.14 samengevat.

tabel 9.14 alfabetische lijst van een aantal mineralen en hun oplosbaarheid in zuren

mineraalnaam	oplosbaarheid in zuren
<b>actinoliet / tremoliet</b>	onoplosbaar
<b>amblygoniet</b>	poeder lost gemakkelijk op in $H_2SO_4$ , traag in HCl
<b>analcieem</b>	gelatineert in HCl
<b>anataas</b>	onoplosbaar
<b>andalusiet</b>	onoplosbaar
<b>anglesiet</b>	moeilijk oplosbaar in $HNO_3$
<b>apatiet</b>	oplosbaar in zuren
<b>apofylliet</b>	ontbindt in HCl onder afscheiding van slijmerig $SiO_2$
<b>aragoniet</b>	bruist op in HCl
<b>arseen</b>	oplosbaar in $HNO_3$
<b>arsenopyriet</b>	ontbindt in $HNO_3$ onder afgifte van zwavel
<b>aurichalciet</b>	oplosbaar in zuren en in ammonia
<b>auripigment</b>	oplosbaar in $HNO_3$ onder afscheiding van zwavel
<b>autuniet</b>	oplosbaar in $HNO_3$
<b>azuriet</b>	bruis op in HCl
<b>bariet</b>	onoplosbaar
<b>bauxiet</b>	onoplosbaar
<b>beryl</b>	onoplosbaar
<b>biotiet</b>	lost op in kokend geconcentreerd $H_2SO_4$ , de oplossing is melkachtig door afscheiding van $SiO_2$
<b>borax</b>	reeds oplosbaar in water
<b>borniet</b>	oplosbaar in $HNO_3$ onder afscheiding van zwavel
<b>bournoniet</b>	ontbindt in $HNO_3$ ; de oplossing is zwak blauwgroen gekleurd met een witte tot gele neerslag van zwavel
<b>brookiet</b>	onoplosbaar
<b>calciet</b>	bruist op in HCl
<b>cassiteriet</b>	onoplosbaar
<b>celestien</b>	lost traag op in hete geconcentreerde zuren
<b>cerussiet</b>	oplosbaar in warm verdund $HNO_3$ onder opbruisen
<b>chabaziet</b>	ontbindt in HCl onder afscheiding van geleïchtig $SiO_2$
<b>chalcopyriet</b>	oplosbaar in $HNO_3$ ; de oplossing kleurt groen en er is afscheiding van zwavel

<b>chalcosiet</b>	oplosbaar in zuren, het best in $\text{HNO}_3$ ; de oplossing kleurt groen en er is afscheiding van zwavel
<b>chloriet</b>	ontbindt in kokend geconcentreerd $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; de oplossing is melkachtig
<b>chromiet</b>	onoplosbaar
<b>chrysocolla</b>	ontbindt in $\text{HCl}$ onder afscheiding van $\text{SiO}_2$
<b>cinnaber</b>	onoplosbaar
<b>colemaniet</b>	oplosbaar in warm $\text{HCl}$ ; bij afkoeling is er neerslagvorming van witte vlokjes boorzuur
<b>cordieriet</b>	wordt slecht gedeeltelijk ontbonden door zuren
<b>covelliet</b>	oplosbaar in warm $\text{HNO}_3$ onder afscheiding van zwavel
<b>crocoiet</b>	oplosbaar in warm $\text{HCl}$ onder afgifte van chloorgaas en vorming van wit $\text{PbCl}_2$ -neerslag
<b>cupriet</b>	oplosbaar in warm geconcentreerd $\text{HCl}$ ; toevoeging van een beetje water aan de afgekoelde oplossing veroorzaakt een witte neerslag
<b>diamant</b>	onoplosbaar
<b>diopsiet</b>	onoplosbaar
<b>dolomiet</b>	lost onder opbruisen traag op in koud verdund $\text{HCl}$ ; in warm $\text{HCl}$ is de reactie heviger
<b>enargiet</b>	oplosbaar in $\text{HNO}_3$ onder afgifte van zwavel, dat gaat bovendrijven
<b>epidoot</b>	wordt slecht gedeeltelijk ontbonden in $\text{HCl}$
<b>erythrien</b>	oplosbaar in $\text{HCl}$ ; kleurt de oplossing roze
<b>flogopiet</b>	ontbindt in warm $\text{H}_2\text{SO}_4$
<b>fluoriet</b>	onoplosbaar in $\text{HCl}$ en in $\text{HNO}_3$ ; moeilijk oplosbaar in geconcentreerd $\text{H}_2\text{SO}_4$
<b>galeniet</b>	ontbindt in geconcentreerd $\text{HNO}_3$ onder afscheiding van zwavel en vorming van loodsulfaat
<b>gips</b>	oplosbaar in warm verdund $\text{HCl}$
<b>goethiet</b>	oplosbaar in $\text{HCl}$
<b>goud</b>	onoplosbaar (met uitzondering van koningswater)
<b>grafiet</b>	onoplosbaar
<b>granaat</b>	wordt geheel of gedeeltelijk ontbonden in zuren
<b>haliet</b>	lost reeds op in water
<b>hematiet</b>	lost traag op in geconcentreerd $\text{HCl}$
<b>hemimorfiet</b>	gelatineert in zuren
<b>heulandiet</b>	ontbindt in $\text{HCl}$ onder afscheiding van $\text{SiO}_2$ (echter zonder gelatineren)

<b>hoornblende</b>	onoplosbaar
<b>hydrozinciet</b>	oplosbaar in zuren onder opbruisen
<b>ilmeniet</b>	slechts gedeeltelijk oplosbaar in warm geconcentreerd HCl
<b>jamesoniet</b>	ontbindt in $\text{HNO}_3$ onder afscheiding van $\text{Sb}_2\text{O}_3$ en $\text{PbSO}_4$
<b>kaolien</b>	onoplosbaar
<b>koper</b>	oplosbaar in $\text{HNO}_3$
<b>korund</b>	onoplosbaar
<b>kwarts</b>	onoplosbaar
<b>kyaniet</b>	onoplosbaar
<b>lepidoliet</b>	onoplosbaar
<b>leuciet</b>	ontbindt in HCl
<b>limoniet</b>	oplosbaar in HCl
<b>magnesium</b>	lost op, onder opbruisen, in warm HCl
<b>magnetiet</b>	lost traag op in HCl
<b>malachiet</b>	lost op, onder opbruisen, in HCl
<b>manganiet</b>	oplosbaar in geconcentreerd HCl
<b>marcasiet</b>	oplosbaar in $\text{HNO}_3$ onder afgifte van zwavel
<b>milleriet</b>	oplosbaar in $\text{HNO}_3$
<b>molybdeniet</b>	ontbindt in $\text{HNO}_3$ onder vorming van een witte of een grijze neerslag
<b>muscoviet</b>	onoplosbaar
<b>natroliet</b>	oplosbaar in HCl (gelatineert eventueel)
<b>nefeliën</b>	gelatineert in HCl
<b>nikkelien</b>	oplosbaar in $\text{HNO}_3$ (de oplossing kleurt appelgroen)
<b>olivijn</b>	moeilijk oplosbaar in HCl, goed oplosbaar in $\text{H}_2\text{SO}_4$
<b>prehniet</b>	ontbindt in HCl zonder gelatineren
<b>pyriet</b>	onoplosbaar in verdund HCl, moeilijk oplosbaar in $\text{HNO}_3$
<b>pyrolusiet</b>	oplosbaar in HCl onder vorming van chloorgas
<b>pyromorfiet</b>	oplosbaar in $\text{HNO}_3$
<b>pyrrhotiet</b>	oplosbaar in HCl onder afgifte van $\text{H}_2\text{S}$ (geur van rotte eieren)
<b>realgar</b>	onoplosbaar (met uitzondering van koningswater)
<b>rhodochrosiet</b>	oplosbaar in warm HCl onder opbruisen
<b>rhodoniet</b>	vrijwel onoplosbaar in HCl
<b>riebeckiet</b>	onoplosbaar
<b>scheeliet</b>	onoplosbaar
<b>serpentiën</b>	ontbindt in HCl onder afgifte van gelvormig $\text{SiO}_2$
<b>sfaleriet</b>	oplosbaar in HCl onder afgifte van $\text{H}_2\text{S}$ (geur van rotte eieren)

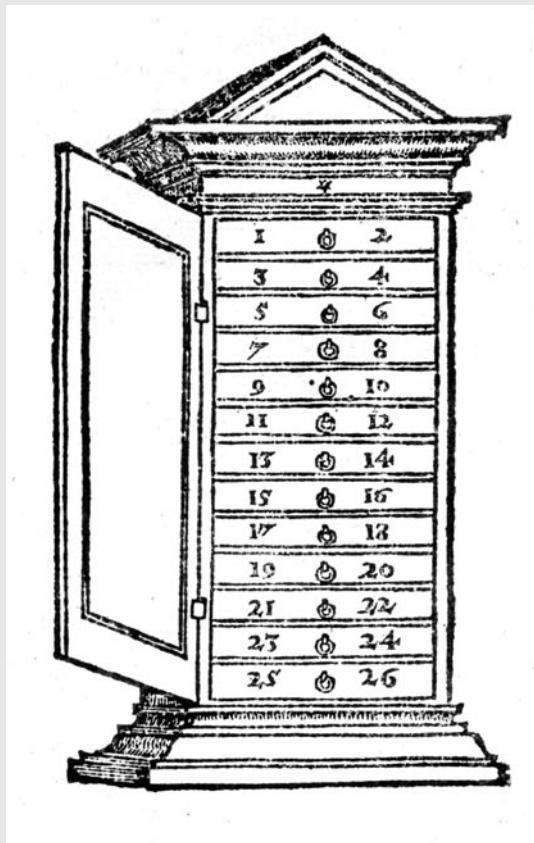
<b>sideriet</b>	lost langzaam op in koud HCl, in warm HCl onder opbruisen
<b>sillimaniet</b>	onoplosbaar
<b>skutterudiet</b>	ontbindt in HNO <sub>3</sub>
<b>smithsoniet</b>	oplosbaar in HCl onder opbruisen
<b>sodaliet</b>	oplosbaar in HCl
<b>spinel</b>	onoplosbaar
<b>spodumeen</b>	onoplosbaar
<b>stauroliet</b>	onoplosbaar
<b>stibniet</b>	oplosbaar in warm geconcentreerd HNO <sub>3</sub> onder vorming van een witte neerslag
<b>stilbiet</b>	ontbindt in HCl onder afscheiding van SiO <sub>2</sub> (geen gelvorming)
<b>strontianiet</b>	oplosbaar in HCl onder opbruisen
<b>sylviet</b>	oplosbaar in water
<b>talk</b>	onoplosbaar
<b>tennantiet</b> <b>tetraëdriet</b>	oplosbaar in HCl onder afscheiding van zwavel
<b>titaniet</b>	gedeeltelijk oplosbaar in warm HCl; volledig oplosbaar in H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
<b>topaas</b>	onoplosbaar
<b>torberniet</b>	oplosbaar in HNO <sub>3</sub>
<b>toermalijn</b>	onoplosbaar
<b>turkoois</b>	moeilijk oplosbaar in HCl
<b>ulxiet</b>	enigszins oplosbaar in warm water
<b>uraniet</b>	oplosbaar in en in HNO <sub>3</sub> , traag oplosbaar in HCl
<b>vanadiniet</b>	ontbindt in HCl onder afgifte van gelvormig SiO <sub>2</sub>
<b>veldspaat</b>	sommige veldspaten lossen op in HCl onder afscheiding van gelvormig SiO <sub>2</sub>
<b>vesuvianiet</b>	gedeeltelijk in HCl oplosbaar
<b>vivianiet</b>	oplosbaar in HCl
<b>wavelliet</b>	oplosbaar in HCl
<b>witheriet</b>	oplosbaar in HCl onder opbruisen; toevoeging van een druppeltje H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> aan de oplossing veroorzaakt een witte neerslag
<b>wolframiet</b>	vrijwel onoplosbaar
<b>wollastoniet</b>	ontbindt in HCl onder afscheiding van SiO <sub>2</sub> (geen gelvorming)
<b>wulfeniet</b>	langzaam oplosbaar in HCl, wordt bedekt met een laagje loodchloride
<b>zilver</b>	oplosbaar in HNO <sub>3</sub>
<b>zirkoon</b>	onoplosbaar
<b>zoisiet</b>	onoplosbaar
<b>zwavel</b>	onoplosbaar





# MINERALENSYSTEMATIEK

*Uit de hoofdstukken die voorafgaan, blijkt dat bijna iedere mineraalsoort zijn eigen chemische samenstelling en kristalstructuur heeft en daarvan afhankelijk, een aantal typische fysische en chemische kenmerken. Dat men verschillende mineraalsoorten kan onderscheiden, houdt tevens in dat men ze op basis van dat onderscheid kan ordenen. Men kan in principe heel wat criteria bedenken om mineralen te klasseren, maar het meest logische is terug te gaan naar de meest fundamentele kenmerken van de mineralen; hun chemische samenstelling en hun kristalstructuur.*





HET MINERALENCABINET VAN KENTMANN, DE EERSTE SYSTEMATISCHE MINERALENVERZAMELING TER WERELD  
Konrad Gesner, *De Omni Rerum Fossilium Genere*, Zürich, 1565

## 10.1 CLASSIFICATIESYSTEMEN VOOR MINERALEN

In de loop van de geschiedenis van de mineralogie zijn er heel wat verschillende classificatiesystemen ontwikkeld. Al deze systemen ontstonden parallel aan de ontwikkeling van de mineralogische wetenschap. Nieuwe inzichten in de natuur van mineralen brachten nieuwe classificatiesystemen met zich mee.

Tot ongeveer midden van de 18<sup>de</sup> eeuw werden mineralen uitsluitend op grond van hun uiterlijke kenmerken geklasseerd. De aanhangers van deze **natuurhistorische classificatiesystemen** beschouwden de natuur als bestaande uit het dieren-, planten- en mineralenrijk. Ze klasseerden mineralen op dezelfde wijze zoals dat met dieren en planten gebeurde.

In de tweede helft van de 18<sup>de</sup> eeuw waren er verschillende mineralogen die veronderstelden dat de ware natuur van een mineraal bepaald was door de aard van de materie waaruit het is opgebouwd. M.a.w. zij beschouwden de chemische samenstelling van een mineraal als voornaamste kenmerk en zij ontwikkelden dan ook verschillende **chemische classificatiesystemen** om mineralen te klasseren.

In 1824 publiceerde de Zweedse chemicus **Berzelius** (1779-1848) als eerste een systeem waarin de **mineralen volgens hun anionen geklasseerd** werden. Hij herkende reeds dat mineralen met dezelfde anionen gelijkaardige chemische kenmerken vertoonden en ook meer op elkaar leken dan mineralen met dezelfde kationen. Hij classificeerde de mineralen dan ook als chloriden, sulfaten, silicaten en niet als bijvoorbeeld zink-, koper- ijzermineralen, enz. Dit systeem van Berzelius zou als grondslag dienen voor de classificatiesystemen zoals die vandaag nog steeds gebruikt worden.

Toch moest men nog tot het begin van de 20<sup>ste</sup> eeuw wachten om diepere inzichten te krijgen in de structuur van mineralen. In 1912 ontdekte **Max von Laue** (1879-1960) van de universiteit van München dat kristallen x-stralen kunnen afbuigen of diffracteren. Voor het eerst werd daardoor de regelmatige en geordende schikking van atomen in kristallen aangetoond. Vrij spoedig werd de x-stralendiffractie toegepast voor het bepalen van de kristalstructuur van mineralen en andere kristallijne stoffen. Reeds in 1914 werden de eerste kristalstructuur-bepalingen door **W.H. Bragg** (1862-1942) en zijn zoon **W.L. Bragg** (1890-1971) gepubliceerd. Amper twee decennia later (in 1931) waren reeds zoveel kristalstructuren opgehelderd dat **P.P. Ewald** en **C. Hermann** in het “Zeitschrift für Kristallographie” een classificatie van kristallijne stoffen volgens hun kristalstructuurtypes publiceerden.

## 10.2 HET CLASSIFICATIESYSTEEM VOLGENS STRUNZ

Het momenteel in Europa meest gebruikte classificatiesysteem is dat van Hugo Strunz (1910- ). Strunz, die professor in de mineralogie aan de Technische Universiteit te Berlijn was, publiceerde in 1941 de eerste uitgave van zijn “Mineralogische Tabellen”. In dat werk combineerde hij de chemische samenstelling en de kristalstructuur van de mineralen om hen te klasseren. Het systeem van Strunz werd reeds verschillende keren door hem herzien en aangepast aan de nieuw verworven kennis in de mineralogie en de 9<sup>de</sup> uitgave verscheen in december 2001.



Fig. 10.1 Hugo Strunz op 92-jarige leeftijd [bron: Hugo Strunz]

De rangschikking van de mineralen in het systeem van Strunz is afhankelijk van het **dominante anion in het mineraal**. In de allernieuwste versie (9<sup>de</sup> uitgave) van zijn systeem worden de mineralen in tien klassen (9 + 1 annex) ondergebracht:

1. elementen
2. sulfiden
3. halogeniden
4. oxiden
5. carbonaten, nitraten, enz.
6. boraten
7. sulfaten, chromaten, molybdaten, wolframaten
8. fosfaten, arsenaten, vanadaten
9. silicaten
10. organische verbindingen

Deze **klassen** worden verder ingedeeld in **afdelingen** (A, B, C, enz.). Bij de klasse van de silicaten en boraten is die verdere classificatie gebaseerd op hun kristalstructuur (meer precies op basis van de verknoping van hun anionenpolyeders). De sulfiden en oxiden daarentegen worden geordend op basis van de verhouding kationen : anionen. Bij de halogeniden, carbonaten, sulfaten en fosfaten wordt

een eerste onderverdeling gemaakt op grond van de aan- of afwezigheid van kristalwater en de aan- of afwezigheid van andere anionen.

Een verdere onderverdeling binnen deze afdelingen geschiedt op basis van **kristalchemische principes** zoals isostructuralisme (zie 4.8) en isomorfisme (zie 4.9).

Redenen om het dominante anion als classificatiebasis te hanteren zijn o.a.:

- mineralen met hetzelfde dominante anion lijken sterk op elkaar en zijn erg verwant voor wat hun kristalchemische kenmerken betreft
- mineralen met identieke anionen komen dikwijls voor in hetzelfde of in een gelijkaardig geologisch milieu.

Een overzicht van het systeem, inclusief klassen en de verschillende afdelingen is samengevat in tabel 10.1.

*tabel 10.1 het nieuwe classificatiesysteem (2001) volgens Strunz (klassen en afdelingen)*

1.	ELEMENTEN
1.A	metalen, intermetallische legeringen
1.B	metaalcarbiden, -siliciden, -nitriden, -fosfiden
1.C	halfmetalen en niet-metalen
1.D	niet-metaalcarbiden en -nitriden
2.	SULFIDEN en SULFOZOUTEN
sulfiden	
2.A	metaal/halfmetaal legeringen
2.B	sulfiden met M:S > 1:1 (voornamelijk 2:1)
2.C	sulfiden met M:S = 1:1 en vergelijkbaar
2.D	sulfiden met M:S = 3:4 en 2:3
2.E	sulfiden met M:S < of = 1:2
2.F	sulfiden van arseen, sulfiden met halogenide, oxide, hydroxide, H <sub>2</sub> O
sulfozouten	
2.G	sulfoarsenieten, sulfoantimonieten, sulfobismutieten
2.H	sulfozouten met SnS-archetype structurele eenheden
2.J	sulfozouten met PbS-archetype structurele eenheden
2.K	sulfoarsenaten
3.	HALOGENIDEN
3.A	eenvoudige halogeniden zonder H <sub>2</sub> O
3.B	eenvoudige halogeniden met H <sub>2</sub> O
3.C	complexe halogeniden
3.D	oxihalogeniden, hydroxihalogeniden en dubbelhalogeniden
4.	OXIDEN
4.A	oxiden met M:O = 2:1 en 1:1
4.B	oxiden met M:O = 3:4 en vergelijkbaar
4.C	oxides met M:O = 2:3, 3:5 en vergelijkbaar
4.D	oxiden met M:O = 1:2 en vergelijkbaar
4.E	oxiden met M:O < 1:2
4.F	hydroxides (zonder V of U)

- 4.G uranyl-hydroxiden
- 4.H vanadaten
- 4.J arsenieten, antimoniëten, bismutieten, sulfieten, selenieten, tellurieten
- 4.K jodaten
  
- 5. CARBONATEN + NITRATEN
- 5.A carbonaten zonder andere anionen, zonder H<sub>2</sub>O
- 5.B carbonaten met andere anionen, zonder H<sub>2</sub>O
- 5.C carbonaten zonder andere anionen, met H<sub>2</sub>O
- 5.D carbonaten met andere anionen, met H<sub>2</sub>O
- 5.E uranyl-carbonaten
- 5.N nitraten
  
- 6. BORATEN
- 6.A monoboraten
- 6.B diboraten
- 6.C triboraten
- 6.D tetraboraten
- 6.E pentaboraten
- 6.F hexaboraten
- 6.G heptaboraten en andere megaboraten
- 6.H niet-geclassificeerde boraten
  
- 7. SULFATEN, SELENATEN, TELLURATEN, CHROMATEN, MOLYBDATEN, WOLFRAMATEN
- 7.A sulfaten zonder andere anionen, zonder H<sub>2</sub>O
- 7.B sulfaten met andere anionen, zonder H<sub>2</sub>O
- 7.C sulfaten zonder andere anionen, met H<sub>2</sub>O
- 7.D sulfaten met andere anionen, met H<sub>2</sub>O
- 7.E uranyl-sulfaten
- 7.F chromaten
- 7.G molybdaten en wolframaten
- 7.H uranyl-molybdaten en uranyl-wolframaten
  
- 8. FOSFATEN, ARSENATEN, VANADATEN
- 8.A fosfaten etc. zonder andere anionen, zonder H<sub>2</sub>O
- 8.B fosfaten etc. met andere anionen, zonder H<sub>2</sub>O
- 8.C fosfaten etc. zonder andere anionen, met H<sub>2</sub>O
- 8.D fosfaten etc. met andere anionen, met H<sub>2</sub>O
- 8.E uranyl-fosfaten, uranyl-arsenaten, uranyl-vanadaten
- 8.F polyfosfaten, polyarsenaten, [4]-polyvanadaten
  
- 9. SILICATEN (Germanaten)
- 9.A nesosilicaten
- 9.B sorosilicaten
- 9.C cyclosilicaten
- 9.D inosilicaten
- 9.E fyllosilicaten
- 9.F tectosilicaten zonder zeolitisch H<sub>2</sub>O
- 9.G tectosilicaten met zeolitisch H<sub>2</sub>O (zeolieten)
- 9.H niet-geclassificeerde silicaten
- 9.J Germanaten
  
- 10. ORGANISCHE VERBINDINGEN
- 10.A zouten van organische zuren
- 10.B koolwaterstoffen
- 10.C diverse organische mineralen

Het systeem van Strunz begint met de klasse van de **elementen**. Deze klasse wordt hoofdzakelijk ingedeeld volgens het al dan niet metaalkarakter van het element; m.a.w. in metalen, halfmetalen en niet-metalen. Daarnaast omvat deze klasse ook een aantal zeldzame metaalcarbiden, -siliciden, -nitriden en -fosfiden (dit zijn verbindingen van een metaal met respectievelijk koolstof, silicium, stikstof en fosfor).

Bij de **sulfiden** zijn er eigenlijk twee hoofdingelingen; de sulfiden en de sulfozouten. De sulfiden worden onderverdeeld volgens de metaal-zwavel-verhouding (symbolisch genoteerd als M:S) in hun chemische formule. Zo zal bijvoorbeeld het mineraal covelliet (CuS) tot de afdeling 2.C (M:S = 1:1) behoren, pyriet (FeS<sub>2</sub>) tot de afdeling 2.E (M:S = 1:2) terwijl chalcopyriet (CuFeS<sub>2</sub>) eveneens tot de afdeling 2.C met M:S = 1:1 behoort.

De sulfozouten zijn eigenlijk complexe sulfiden die op te vatten zijn als een verbinding tussen een metaal, een halfmetaal (meestal As, Sb, Bi) en zwavel. De sulfozouten worden verder onderverdeeld op basis van hun (complexe) kristalstructuren. Sulfozouten zijn overigens erg moeilijk te determineren.

De **halogeniden**, d.w.z. fluoriden, chloriden, bromiden en jodiden, maken de derde klasse van de systematiek uit. In grote trekken kan men de halogeniden indelen in eenvoudige halogeniden en in de meer complexe halogeniden. De eenvoudige halogeniden worden verder onderverdeeld op basis van de aanwezigheid van kristalwater in de formule. Tot de eenvoudige halogeniden die geen kristalwater bevatten (afdeling 3.A) behoren de veel voorkomende mineralen haliet (NaCl) en fluoriet (CaF<sub>2</sub>). Alle mineralen die tot de overige halogeniden-afdelingen behoren, zijn eerder zeldzame soorten.

De **oxiden** horen thuis in klasse 4. De onderverdeling in de eerste vijf afdelingen gebeurt naar afnemende metaal-zuurstof (Me:O) verhouding. Men treft er achtereenvolgens oxiden aan met formules van het type: Me<sub>2</sub>O, MeO, Me<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Me<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MO<sub>2</sub> en enkele zeldzame oxiden met Me:O < 1:2.

De hydroxiden vormen een afzonderlijke afdeling evenals enkele vanadium- en uranyl-oxiden en -hydroxiden en tenslotte ook nog arsenieten, sulfieten, selenieten, tellurieten, en jodaten.

Klasse 5 omvat de **carbonaten**. De carbonaten worden onderverdeeld op basis van de aanwezigheid van kristalwater en van additionele anionen (zoals OH). De meest bekende carbonaten behoren tot de calciet-, dolomiet- en aragoniet-groep; het zijn allemaal carbonaten zonder kristalwater en zonder additionele anionen. De uranyl-carbonaten vormen een aparte afdeling. Naast carbonaten bevat deze klasse ook nog een afdeling met nitraten.

De **boraten** worden in klasse 6 ondergebracht. Boraten zijn vrij complexe mineralen en BO<sub>3</sub><sup>3-</sup> is het meest eenvoudige voorbeeld van een boraat-anion. Deze boraat-anionen kunnen zich in de kristalstructuur van deze mineralen verenigen tot ingewikkelde groeperingen. De systematiek van de boraten is gebaseerd op de structuur van die boraatcomplexen.

De **sulfaten**, klasse 7, worden net als de carbonaten onderverdeeld op basis van de aanwezigheid van kristalwater en van additionele anionen. Deze vier afdelingen worden verder onderverdeeld op basis van de ionstraal van de aanwezige kationen. Naast sulfaten omvat deze klasse ook nog de chromaten, molybdaten en wolframaten.

Klasse 8 noemt men de klasse van de **fosfaten**, maar gezien de structurele verwantschappen, omvat deze klasse evengoed **arsenaten** en **vanadaten**. P, As en V kunnen elkaar immers in de aniongroepen vervangen en dat kan zelfs tot verregaande substitutie leiden.

De indeling is analoog aan die van de carbonaten en sulfaten. Dit wil zeggen een indeling in kristalwater vrije en kristalwaterhoudende fosfaten, arsenaten en vanadaten zonder of met additionele anionen.

De negende klasse, die van de **silicaten**, is de meest uitgebreide van de mineralensystematiek. Kenmerkend voor alle silicaten is het voorkomen van tetraëdervormige  $\text{SiO}_4$ -groepjes; vier zuurstofatomen ( $\text{O}^{2-}$ ) op de hoekpunten van een regelmatige tetraëder en gecoördineerd door een siliciumatoom ( $\text{Si}^{4+}$ ). Deze  $\text{SiO}_4$ -groepjes hebben de neiging om zich met elkaar te verenigen en de wijze van combineren is de basis voor de rangschikking van de silicaten. Men onderscheidt 9 afdelingen:

- **nesosilicaten** met afzonderlijke  $\text{SiO}_4$ -tetraëders (van het Grieks *nesos* = eiland)
- **sorosilicaten** met per twee verbonden tetraëders (Grieks *soros* = groep)
- **cyclosilicaten** met ringen van tetraëders (Grieks *kyklos* = cirkel)
- **inosilicaten** met tetraëderketens (Grieks *inos* = vezel)
- **fyllosilicaten** met in lagen gecombineerde tetraëders (Grieks *fyllon* = blad)
- **tectosilicaten** met driedimensionale tetraëdernetwerken (Grieks *tektoneia* = bouwwerk) zonder kristalwater
- **tectosilicaten** met kristalwater (zeolieten)
- **niet-geclassificeerde silicaten**
- **germanaten**

De tiende en laatste klasse in de mineraalsystematiek volgens Strunz is de klasse van de **organische verbindingen**. Deze klasse die in drie afdelingen is opgesplitst, wordt in deze tekst buiten beschouwing gelaten.

Voor een uitgebreide beschrijving van het systeem wordt verwezen naar het originele werk van Strunz zelf (zie appendix 1).

### 10.3 HET CLASSIFICATIESYSTEEM VAN DANA

In de Verenigde Staten wordt voor het klasseren van mineralen veel gebruik gemaakt van het systeem van Dana. Dit classificatiesysteem dateert reeds van 1837 toen James Dwight Dana (1813-1895) de eerste druk van zijn “System of Mineralogy” publiceerde. In die 1<sup>ste</sup> uitgave maakte Dana gebruik van een natuurhistorisch classificatiesysteem om de mineralen te ordenen. Later (in 1850) ging hij over op een chemisch georiënteerde classificatie.



Fig. 10.2 James D. Dana op 30-jarige leeftijd. [D.C. Gilman, *The Life of James Dwight Dana*, New York, 1899]

De moderne versie van het systeem van Dana ontstond gelijktijdig met het systeem van Strunz en het werd door Charles Palache et al. in de zevende editie van “The System of Mineralogy” (1944-1951) gepubliceerd. In die 7<sup>de</sup> editie ontbraken enkel nog de silicaatmineralen. Eind 1997 verscheen de 8<sup>ste</sup> druk die nu ook de silicaten omvat en waar het mineralenrijk in 78 klassen wordt onderverdeeld.

De basis van het classificatiesysteem vormt de chemische samenstelling en voor de silicaten komt vooral de kristalstructuur in aanmerking. Een overzicht van het systeem van Dana wordt weergegeven in tabel 10.2. Voor details wordt verwezen naar het boek “Dana’s New Mineralogy” (zie appendix 1).

tabel 10.2 het nieuwe classificatiesysteem volgens Dana

#### ELEMENTEN EN LEGERINGEN

1 elementen en legeringen

#### SULFIDEN EN AANVERWANTE VERBINDINGEN

2 sulfiden, seleniden en telluriden

3 sulfozouten



## OXIDEN

- 4 eenvoudige oxiden
- 5 oxiden die uranium en thorium bevatten
- 6 hydroxiden en oxiden die een OH-groepje bevatten
- 7 meervoudige oxiden
- 8 meervoudige oxiden die uranium en thorium bevatten

## HALOGENIDEN

- 9 halogeniden zonder en met kristalwater
- 10 oxihalogeniden en hydroxihalogeniden
- 11 complexe halogeniden
- 12 samengestelde halogeniden

## CARBONATEN

- 13 zure carbonaten
- 14 carbonaten zonder kristalwater
- 15 carbonaten met kristalwater
- 16 carbonaten die OH of halogenen bevatten
- 17 samengestelde carbonaten

## NITRATEN

- 18 nitraten
- 19 nitraten die OH of halogenen bevatten
- 20 samengestelde nitraten

## JODATEN

- 21 jodaten zonder of met kristalwater
- 22 jodaten die OH of halogenen bevatten
- 23 samengestelde jodaten

## BORATEN

- 24 boraten zonder kristalwater
- 25 boraten zonder kristalwater die OH of halogenen bevatten
- 26 boraten met kristalwater die OH of halogenen bevatten
- 27 samengestelde boraten

## SULFATEN

- 28 sulfaten en waterstofsulfaten zonder kristalwater
- 29 sulfaten en waterstofsulfaten met kristalwater
- 30 sulfaten zonder kristalwater die OH of halogenen bevatten
- 31 sulfaten met kristalwater die OH of halogenen bevatten
- 32 samengestelde sulfaten

## SELENATEN EN TELLURATEN, SELENIETEN EN TELLURIETEN

- 33 selenaten en telluraten
- 34 selenieten, tellurieten en sulfieten

## CHROMATEN

- 35 chromaten zonder kristalwater
- 36 chromaten met kristalwater

## FOSFATEN, ARSENATEN EN VANADATEN

- 37 waterstoffosfaten, -arsenaten en -vanadaten zonder kristalwater
- 38 fosfaten, arsenaten en vanadaten zonder kristalwater
- 39 waterstoffosfaten, -arsenaten en -vanadaten met kristalwater
- 40 fosfaten, arsenaten en vanadaten met kristalwater

- 41 fosfaten, enz. zonder kristalwater die OH of halogenen bevatten  
 42 fosfaten, enz. met kristalwater die OH of halogenen bevatten  
 43 samengestelde fosfaten, arsenaten en vanadaten

## ANTIMONATEN, ANTIMONIETEN EN ARSENIETEN

- 44 antimonaten  
 45 antimonieten, arsenieten, waterstofantimonieten, waterstofarsenieten  
 46 antimonieten en arsenieten die OH of halogenen bevatten

## OXIVANADATEN

- 47 oxivanadaten

## MOLYBDATEN EN WOLFRAMATEN

- 48 molybdaten en wolframaten zonder kristalwater  
 49 molybdaten en wolframaten die OH of halogenen bevatten

## ORGANISCHE VERBINDINGEN

- 50 zouten van organische zuren

NESOSILICATEN (geïsoleerde  $\text{SiO}_4$ -groepjes)

- 51 uitsluitend geïsoleerde  $\text{SiO}_4$ -groepjes  
 52 geïsoleerde  $\text{SiO}_4$ -groepjes met O, OH, F, en  $\text{H}_2\text{O}$   
 53 geïsoleerde  $\text{SiO}_4$ -groepjes en andere anionen of complexe kationen  
 54 borosilicaten en sommige beryllsilicaten

## SOROSILICATEN (geïsoleerde niet-cyclische tetraëdergroepjes)

- 55  $\text{Si}_2\text{O}_7$ -groepjes, in principe zonder andere anionen  
 56  $\text{Si}_2\text{O}_7$ -groepjes met O, OH, F, en  $\text{H}_2\text{O}$   
 57  $\text{Si}_3\text{O}_{10}$ -groepjes en grotere niet-cyclische groepjes  
 58 geïsoleerde, gemengde, enkelvoudige en grotere tetraëdergroepjes

## CYCLOSILICATEN

- 59 drieledige ringen  
 60 vierledige ringen  
 61 zesledige ringen  
 62 achtledige ringen  
 63 gecondenseerde ringen  
 64 ringen met andere anionen en geïsoleerde silicaatgroepjes

## INOSILICATEN

- 65 enkelvoudige onvertakte ketens  
 66 dubbele onvertakte ketens  
 67 meervoudige onvertakte ketens  
 68 structuren met verschillende meervoudige ketens  
 69 ketens met vertakkingen of ringen  
 70 kolom- en buisstructuren

## FYLLOSILICATEN

- 71 lagen van zesledige ringen  
 72 tweedimensionale oneindige lagen met andere dan zesledige ringen  
 73 gecondenseerde lagen  
 74 gemoduleerde lagen

## TECTOSILICATEN

- 75 Si-tetraëdrische netwerken  
 76 Al-Si netwerken  
 77 zeolieten  
 78 niet-geklasseerde silicaten

## 10.4 DE SYSTEMATISCHE MINERALENVERZAMELING

Onder een **systematische mineralenverzameling** verstaat men een verzameling waarin de **mineralen geordend** zijn volgens een wetenschappelijk gefundeerd **classificatiesysteem** zoals dat van Strunz of Dana.

De mineralen in een dergelijke collectie zijn **referentiespecimens** die men kan gebruiken wanneer men bijvoorbeeld een bepaald mineraal of mineralengroep wil bestuderen. Van een exemplaar uit een dergelijke verzameling verwacht men dan ook dat het **representatief** is voor de betreffende mineraalsoort en dat de **identiteit 100% zeker** is. Als zodanig horen dergelijke collecties in de eerste plaats thuis in musea en in universiteiten waar de specimens voor onderzoek kunnen gebruikt worden.

Toch loont het ook voor de mineralenliefhebber de moeite, om een systematische verzameling aan te leggen die een overzicht geeft van de hedendaagse indeling van het mineralenrijk.

De kennis die men zich over de mineralogie wil eigen maken is weliswaar grotendeels van theoretische aard, maar toch zal men ze telkens aan de werkelijkheid, de mineralen zelf, moeten toetsen.

Ook het determineren en leren herkennen van mineralen gaat niet zonder de specimens zelf. Om dit alles aan te leren of er zich in te verdiepen is een systematisch geordende referentieverzameling een belangrijk hulpmiddel.

In een dergelijke referentieverzameling moeten de nodige voorbeelden uit de verschillende klassen van de systematiek vertegenwoordigd zijn en moeten de mineralen op een ordelijke en systematische manier bewaard worden. Er zal dus min of meer gestreefd worden naar een relatief uniform formaat zodat de specimens op een overzichtelijke en geordende manier kunnen opgeborgen worden. Ideaal is bijvoorbeeld om hen op te bergen in een ladenkastje waarin men per klasse één of meerdere laden heeft. De laatjes zelf kan men bijvoorbeeld met behulp van vouwdoosjes in compartimenten indelen zodat de mineralen niet door elkaar kunnen geraken.

Verder is het uiterst zinvol dat van de meeste mineraalsoorten meerdere exemplaren in deze verzameling vertegenwoordigd zijn. Exemplaren van één mineraalsoort kunnen er immers heel verschillend uitzien (men denkt bijvoorbeeld maar aan fluoriet dat zowat in alle kleuren van de regenboog kan voorkomen). Ook kan de morfologie van één en dezelfde mineraalsoort van specimen tot specimen of van vindplaats tot vindplaats verschillend zijn (bijvoorbeeld malachiet als een geband aggregaat of malachiet in de vorm van, meestal vrij kleine, kristallen). Het is echter kwestie dat een bepaald mineraal in zo typisch mogelijke exemplaren in de referentieverzameling aanwezig is.

In het kader van deze tekst, werd een lijst van 130 mineralen opgesteld. In het samenstellen van die lijst werd getracht om rekening te houden met volgende punten:

- alle klassen van de systematiek (uitgezonderd de organische verbindingen) moeten vertegenwoordigd zijn
- al deze mineralen moeten vrij frequent voorkomen en bijgevolg moeten ze gemakkelijk te verkrijgen zijn
- zeldzame mineralen worden uitgesloten

Uitsluitend mineralen uit deze lijst worden in deze tekst behandeld en zijn bijvoorbeeld verder in de determinatietabellen (hoofdstuk 12) opgenomen.

In de mineralenlijst die volgt is de rangschikking van de soorten gebaseerd op het nieuwe systeem van Strunz. Dit systeem is niet tot in de gebruikelijke details uitgewerkt maar wordt slechts in grote lijnen weergegeven. Voor een eerste benadering en rekening houdende met de beperkte omvang van de bedoelde verzameling is dat meer dan voldoende.

Alle mineralennamen zijn voorafgegaan door een hokje (  ) dat men eventueel kan gebruiken om aan te duiden of de betreffende mineraalsoort al dan niet in de verzameling aanwezig is. In enkele gevallen wordt uitsluitend de groepsnaam (zoals granaat, toermalijn, chloriet) of de algemene benaming (apatiet, hoornblende) vermeld. Wanneer een afdeling uitsluitend zeldzame mineralen omvat, dan wordt geen voorbeeld vermeld.

## 1 ELEMENTEN

### 1.A metalen

- |                                 |    |
|---------------------------------|----|
| <input type="checkbox"/> koper  | Cu |
| <input type="checkbox"/> zilver | Ag |
| <input type="checkbox"/> goud   | Au |

### 1.B metaalcarbiden, -siliciden, -nitriden, -fosfiden

- uitsluitend zeldzame mineralen

### 1.C halfmetalen en niet-metalen

- |                                  |                |
|----------------------------------|----------------|
| <input type="checkbox"/> arseen  | As             |
| <input type="checkbox"/> grafiet | C              |
| <input type="checkbox"/> diamant | C              |
| <input type="checkbox"/> zwavel  | S <sub>8</sub> |

### 1.D niet-metaal carbiden en nitriden

- uitsluitend zeldzame mineralen

## 2 SULFIDEN

- 2.A legeringen van metalen met de elementen As, Sb en Bi  
 uitsluitend zeldzame mineralen
- 2.B sulfiden met M:S > 1:1  
 **chalcosiet**  $\text{Cu}_2\text{S}$   
 **borniet**  $\text{Cu}_3\text{FeS}_4$
- 2.C sulfiden met M:S = 1:1  
 **covelliet**  $\text{CuS}$   
 **sfaleriet**  $(\text{Zn,Fe})\text{S}$   
 **chalcopyriet**  $\text{CuFeS}_2$   
 **enargiet**  $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$   
 **nikkelien**  $\text{NiAs}$   
 **pyrrhotiet**  $\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$  ( $x = 0-0,2$ )  
 **milleriet**  $\text{NiS}$   
 **galeniet**  $\text{PbS}$   
 **cinnaber**  $\text{HgS}$
- 2.D sulfiden met M:S = 3:4 en 2:3  
 **stibniet**  $\text{Sb}_2\text{S}_3$
- 2.E sulfiden met M:S < of = 1:2  
 **molybdeniet**  $\text{MoS}_2$   
 **pyriet**  $\text{FeS}_2$   
 **marcasiet**  $\text{FeS}_2$   
 **arsenopyriet**  $\text{FeAsS}$   
 **skutterudiet**  $\text{CoAs}_{2-3}$
- 2.F sulfiden van arseen, sulfiden met halogenide, oxide, hydroxide,  $\text{H}_2\text{O}$   
 **realgar**  $\text{AsS}$   
 **auripigment**  $\text{As}_2\text{S}_3$
- 2.G sulfoarsenieten, sulfoantimoniëten, sulfobismutieten  
 **tennantiet**  $(\text{Cu,Fe})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$   
 **tetraëdriet**  $(\text{Cu,Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$
- 2.H sulfozouten met SnS-type groepjes  
 **jamesoniet**  $\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$
- 2.J sulfozouten met PbS-type groepjes  
 **bournoniet**  $\text{PbCuSbS}_3$
- 2.K sulfo-arsenaten  
 uitsluitend zeldzame mineralen

### 3 HALOGENIDEN

- 3.A eenvoudige halogeniden zonder kristalwater
- haliet            NaCl
  - sylviet            KCl
  - fluoriet            CaF<sub>2</sub>
- 3.B eenvoudige halogeniden met kristalwater
- 3.C complexe halogeniden
- 3.D oxihalogeniden, hydroxihalogeniden en dubbelhalogeniden
- uitsluitend zeldzame mineralen

### 4 OXIDEN

- 4.A oxiden met Me:O = 2:1 en 1:1 (Me<sub>2</sub>O en MeO)
- cupriet            Cu<sub>2</sub>O
- 4.B oxiden met Me:O = 3:4 (Me<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)
- spinel            MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>
  - magnetiet        Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>
  - chromiet         FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>
- 4.C oxiden met Me:O = 2:3 (Me<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)
- korund            Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
  - hematiet         Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
  - ilmeniet         FeTiO<sub>3</sub>
- 4.D oxiden met Me:O = 1:2 (MeO<sub>2</sub>)
- kwarts            SiO<sub>2</sub>
  - rutiel             TiO<sub>2</sub>
  - pyrolusiet        MnO<sub>2</sub>
  - cassiteriet        SnO<sub>2</sub>
  - wolframiet        (Fe,Mn)WO<sub>4</sub>
  - anataas            TiO<sub>2</sub>
  - brookiet          TiO<sub>2</sub>
  - uraniniet         UO<sub>2</sub>
- 4.E oxiden met Me:O < 1:2
- uitsluitend zeldzame mineralen
- 4.F hydroxiden (zonder V en U)
- goethiet          FeO(OH)
  - manganiet        MnO(OH)
- 4.G uranyl hydroxiden
- 4.H vanadaten
- 4.J arsenieten, antimoniëten, bismutieten, sulfieten, selenieten, tellurieten
- 4.K jodaten
- uitsluitend zeldzame mineralen

## 5 CARBONATEN + NITRATEN

### 5.A carbonaten zonder kristalwater, zonder additionele anionen

- calciet**  $\text{CaCO}_3$
- magnesiet**  $\text{MgCO}_3$
- sideriet**  $\text{FeCO}_3$
- rhodochrosiet**  $\text{MnCO}_3$
- smithsoniet**  $\text{ZnCO}_3$
- dolomiet**  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
- ankeriet**  $\text{Ca}(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})(\text{CO}_3)_2$
- aragoniet**  $\text{Ca}(\text{CO}_3)$
- strontianiet**  $\text{SrCO}_3$
- witheriet**  $\text{BaCO}_3$
- cerussiet**  $\text{PbCO}_3$

### 5.B carbonaten zonder kristalwater, met additionele anionen

- azuriet**  $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$
- malachiet**  $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$
- hydrozinciet**  $\text{Zn}_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6$
- aurichalciet**  $(\text{Zn}, \text{Cu})_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6$

### 5.C carbonaten met kristalwater, geen additionele anionen

### 5.D carbonaten met kristalwater, met additionele anionen

### 5.E uranyl-carbonaten

### 5.H nitraten

- uitsluitend zeldzame mineralen

## 6 BORATEN

### 6.A monoboraten

### 6.B diboraten

- uitsluitend zeldzame mineralen

### 6.C triboraten

- colemaniet**  $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

### 6.D tetraboraten

- borax**  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

### 6.E pentaboraten

- ulexiet**  $\text{NaCaB}_5\text{O}_6(\text{OH})_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

### 6.F hexaboraten

### 6.G heptaboraten en andere megaboraten

### 6.H niet-geclassificeerde boraten

- uitsluitend zeldzame mineralen

## 7 SULFATEN, SELENATEN, TELLURATEN, CHROMATEN, MOLYBDATEN, WOLFRAMATEN

7.A sulfaten zonder kristalwater, zonder additionele anionen

- celestien  $\text{SrSO}_4$
- bariet  $\text{BaSO}_4$
- anglesiet  $\text{PbSO}_4$

7.B sulfaten zonder kristalwater, met additionele anionen

- uitsluitend zeldzame mineralen

7.C sulfaten met kristalwater, zonder additionele anionen

- gips  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

7.D sulfaten met kristalwater, met additionele anionen

- uitsluitend zeldzame mineralen

7.E uranyl-sulfaten

- uitsluitend zeldzame mineralen

7.F chromaten

- crocoiet  $\text{PbCrO}_4$

7.G molybdaten en wolframaten

- wulfeniet  $\text{PbMoO}_4$
- scheeliet  $\text{CaWO}_4$

7.H uranyl-molybdaten en uranyl-wolframaten

- uitsluitend zeldzame mineralen

## 8 FOSFATEN, ARSENATEN, VANADATEN

8.A zonder kristalwater, zonder additionele anionen

- uitsluitend zeldzame mineralen

8.B zonder kristalwater, met additionele anionen

- amblygoniet  $(\text{Li,Na})\text{Al}(\text{PO}_4)(\text{F,OH})$
- apatiet  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$
- pyromorfiet  $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$
- vanadiniet  $\text{Pb}_5(\text{VO}_4)_3\text{Cl}$

8.C met kristalwater, zonder additionele anionen

- vivianiet  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
- erythrien  $\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

8.D met kristalwater, met additionele anionen

- wavelliet  $\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH,F})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- turkoois  $\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$



- 8.E uranyl-fosfaten, -arsenaten, -vanadaten
- autuniet**  $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 10\text{-}12\text{H}_2\text{O}$
  - torberniet**  $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{-}12\text{H}_2\text{O}$

- 8.F polyfosfaten, polyarsenaten, [4]-polyvanadaten
- uitsluitend zeldzame mineralen

## 9 SILICATEN

- 9.A nesosilicaten: met afzonderlijke  $\text{SiO}_4$ -groepjes

- olivijn**  $(\text{Fe}, \text{Mg})_2\text{SiO}_4$
- granaat** (groep)
- zirkoon**  $\text{ZrSiO}_4$
- sillimaniet**  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$
- andalusiet**  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$
- kyaniet**  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$
- stauroliet**  $(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Zn})_2\text{Al}_9(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
- topaas**  $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F}, \text{OH})_2$
- titaniet**  $\text{CaTiSiO}_5$

- 9.B sorosilicaten: met per twee verknoopte  $\text{SiO}_4$ -tetraëders

- hemimorfiet**  $\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- epidoot**  $\text{Ca}_2(\text{Fe}, \text{Al})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$
- zoisiet**  $\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$
- vesuvianiet**  $\text{Ca}_{10}\text{Mg}_2\text{Al}_4(\text{SiO}_4)_5(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{OH})_4$

- 9.C cyclosilicaten: met ringen van  $\text{SiO}_4$ -tetraëders

- beryl**  $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$
- cordieriet**  $\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$
- toermalijn** groep

- 9.D inosilicaten: met  $\text{SiO}_4$ -tetraëderketens

- diopsiet**  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$
- augiet**  $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al}, \text{Ti})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$
- aegirien**  $\text{NaFeSi}_2\text{O}_6$
- spodumeen**  $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$
- tremoliet**  $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
- actinoliet**  $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
- hoornblende** algemene term
- riebeckiet**  $\text{Na}_2(\text{Fe}, \text{Mg})_3\text{Fe}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
- wollastoniet**  $\text{CaSiO}_3$
- rhodoniet**  $(\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Mg}, \text{Ca})\text{SiO}_3$
- prehniet**  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

- 9.E fyllosilicaten: met in lagen verknoopte  $\text{SiO}_4$ -tetraëders
- apofylliet  $\text{KCa}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{F},\text{OH})\cdot 8\text{H}_2\text{O}$
  - talk  $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
  - muscoviet  $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$
  - flogopiet  $\text{KMg}_3\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{F},\text{OH})$
  - biotiet  $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Al},\text{Fe})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$
  - lepidoliet  $\text{K}(\text{Li},\text{Al})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$
  - chloriet groepsnaam
  - kaolinit  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
  - serpentijn algemene formule  $\text{A}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$   
A = Mg, Fe, Ni
  - chrysocolla  $(\text{Cu},\text{Al})_2\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4\cdot n\text{H}_2\text{O}$
- 9.F tectosilicaten: driedimensionale  $\text{SiO}_4$ -tetraëdernetwerken zonder zeolitisch  $\text{H}_2\text{O}$
- nefelien  $(\text{Na},\text{K})\text{AlSiO}_4$
  - leuciet  $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$
  - orthoklaas  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$
  - albiet  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
  - sodaliet  $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{Cl}_2$
- 9.G tectosilicaten met zeolitisch  $\text{H}_2\text{O}$  (zeolieten)
- natroliet  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$
  - analciem  $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6\cdot \text{H}_2\text{O}$
  - heulandiet  $(\text{Na},\text{Ca})_{2-3}\text{Al}_3(\text{Al},\text{Si})_2\text{Si}_{13}\text{O}_{36}\cdot 12\text{H}_2\text{O}$
  - stilbiet  $\text{NaCa}_2\text{Al}_3\text{Si}_{13}\text{O}_{36}\cdot 14\text{H}_2\text{O}$
  - chabaziet  $\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- 9.H niet-geclassificeerde silicaten
- 9.J Germanaten
- uitsluitend zeldzame mineralen

## 10.5 KLASSENKENMERKEN

Een systematisch geordende verzameling waarin voldoende referentiespecimens aanwezig zijn is een belangrijk hulpmiddel bij het leren herkennen van mineralen. Door het bestuderen van typische exemplaren van de diverse mineraalsoorten kan men zich heel wat ervaringskennis eigen maken. Het zal dan tevens opvallen dat heel wat mineralen die tot één klasse behoren, dikwijls sterk op elkaar lijken. In 10.2 werd reeds vermeld dat mineralen met hetzelfde dominante anion verwant zijn in kristalchemische kenmerken en sterk op elkaar (kunnen) lijken. Daarom wordt hier voor iedere klasse een overzicht gegeven van de kenmerken die relatief typisch zijn voor de betreffende klasse.

Voor sommige klassen zijn bepaalde kenmerken vrij typisch, maar dat sluit uiteraard niet uit dat in een dergelijke klasse, mineraalsoorten met geheel afwijkende kenmerken kunnen voorkomen. Zo hebben bijvoorbeeld de meeste sulfiden een metaalglans (bijvoorbeeld pyriet, galeniet, stibniet) maar er zijn ook enkele sulfiden zonder metaalglans (bijvoorbeeld cinnaber). Het is dus wel van belang om de gegeven informatie met zorg te interpreteren en rekening te houden met de relatieve waarde van de veralgemeningen.

### Klassenkenmerken:

#### 1 ELEMENTEN

- metalen hebben een hoge dichtheid, een metaalglans en zijn smeedbaar
- halfmetalen hebben een perfecte splijting (As, Sb, Bi) en zijn relatief bros
- de kenmerken van de niet-metalen zijn nogal wisselend
- elementen zijn over het algemeen vrij zeldzaam

#### 2 SULFIDEN

- opake sulfiden hebben een metaalglans en een kenmerkende kleur
- niet-opake sulfiden hebben een hoge glans door de hoge brekingsindex
- de streepkleur van heel wat sulfiden is zwart
- de meeste sulfiden hebben een lage hardheid en ze zijn bros
- over het algemeen hebben ze een hoge dichtheid
- heel wat sulfiden zijn ertsmineralen

#### 3 HALOGENIDEN

- de meeste hebben een hoge symmetrie (bijvoorbeeld kubisch stelsel)
- ze zijn kleurloos of licht van kleur; indien gekleurd dan meestal door onzuiverheden (allochromatisch)
- halogeniden zijn veelal doorzichtig tot doorschijnend
- halogeniden hebben een lage dichtheid, een lage hardheid en een lage brekingsindex en bijgevolg een zwakke glans
- een aantal halogeniden zijn goed oplosbaar in water

#### 4 OXIDEN en HYDROXIDEN

- oxiden zonder kristalwater in hun chemische formule hebben meestal een hoge hardheid en zijn bijgevolg resistent tegen verwerking
- er zijn een aantal oxiden met hoge dichtheid (dikwijls zijn dat ertsmineralen)
- oxiden die door verwerking aan de oppervlakte zijn ontstaan, hebben een lage hardheid en hun kleur is meestal rood, bruin of zwart (Fe- en Mn-oxiden)
- gezien de uiteenlopende kenmerken zijn oxiden moeilijk te herkennen

#### 5 CARBONATEN

- vele carbonaten zijn doorzichtig tot doorschijnend
- over het algemeen hebben ze een lage hardheid
- diverse carbonaten hebben een duidelijke splijting
- de meeste carbonaten zijn oplosbaar in zuren

#### 6 BORATEN

- boraten zijn oplosbaar in water
- ze hebben een lage hardheid
- boraten zijn licht van kleur (meestal wit) en transparant tot doorschijnend

#### 7 SULFATEN

- over het algemeen een lage hardheid
- dikwijls doorzichtig tot doorschijnend
- een aantal sulfaten zijn goed oplosbaar in water (niet algemeen geldend)

#### 8 FOSFATEN, ARSENATEN, VANADATEN

- dit is een soortenrijke klasse (door verregaande substitutie)
- over het algemeen hebben ze een lage hardheid
- felle kleuren komen in deze klasse veel voor
- meestal zijn ze goed oplosbaar in zuren

#### 9 SILICATEN

- dit is de grootste klasse uit de systematiek (de helft van de mineralen zijn silicaten) en de meeste soorten zijn heel moeilijk te determineren
- sommige silicaten hebben een hoge hardheid
- de dichtheid is laag tot gemiddeld (nooit erg hoog)
- heel wat silicaten hebben een glasglans
- de streep is meestal kleurloos
- silicaten zijn meestal moeilijk oplosbaar in zuren



## DETERMINEREN EN HERKENNEN

*Determineren betekent het bepalen tot welke mineraalsoort een onbekend specimen, kristal(letje) of mineraalfragment(je) behoort. Een mineraalsoort is eerst volledig bepaald wanneer de chemische samenstelling (chemische formule) en de kristalstructuur bekend zijn. In de praktijk zal de mineraloog wel degelijk de chemische samenstelling bepalen. In plaats van het omslachtig bepalen van de kristalstructuur zal de mineraloog bepaalde fysische metingen uitvoeren (zoals x-stralendiffractie) waarvan de resultaten heel nauw met de kristalstructuur samenhangen. Enkel als na een wetenschappelijke interpretatie van dergelijke onderzoeken een eenduidige determinatie mogelijk is, dan kan men zeggen dat de identiteit van een mineraal met zekerheid is vastgesteld.*



EEN 19DE EEUWSE MINERALENVERZAMELAAR

G. T. Wilhelm, *Unterhaltungen aus der Naturgeschichte des Mineralreichs*, Augsburg, 1828

## 11.1 CHEMISCHE ANALYSE EN CHEMISCHE SAMENSTELLING

Om mineralen te determineren zal de mineraloog dikwijls gebruik maken van chemische analysemethoden. Onder **chemische analyse** verstaat men het bepalen van de chemische samenstelling. Men maakt in dit verband nog een onderscheid tussen kwalitatieve en kwantitatieve analyse. Door middel van een **kwalitatieve analyse** bepaalt men welke atoomsoorten (elementen) of atoomgroepen (zoals  $\text{CO}_3$ ,  $\text{SO}_4$  enz.) in een mineraal aanwezig zijn. Met behulp van een **kwantitatieve analyse** stelt men tevens vast hoeveel (meestal in %) van de verschillende atoomsoorten in het te onderzoeken mineraal aanwezig zijn.

De chemische samenstelling van een mineraal wordt meestal uitgedrukt in procentuele hoeveelheden. Bij wijze van voorbeeld wordt het mineraal hematiet genomen met als chemische samenstelling  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . In de chemische formule van dit mineraal treft men 2 atomen ijzer (Fe) aan en 3 atomen zuurstof (O). Met andere woorden, 40% van de atomen in hematiet zijn ijzeratomen tegen 60% zuurstofatomen. Men spreekt in dit verband van **atoomprocent**.

*rekenvoorbeeld:*

In de formule  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  heeft men in totaal 5 atomen; 2 Fe- en 3 O-atomen.

De chemische samenstelling in atoomprocent is bijgevolg

voor ijzer:  $2 \times 100 / 5 = 40 \%$

en voor zuurstof:  $3 \times 100 / 5 = 60 \%$

Resultaten van chemische analyses worden meestal in **gewichtsprocent** uitgedrukt. Om de chemische samenstelling van hematiet in gewichtsprocent uit te drukken, maakt men gebruik van de atoommassa's (zie tabel 3.1) van ijzer (55,847) en zuurstof (15,999).

*rekenvoorbeeld:*

Het formulegewicht (zie 7.6) van hematiet, is:

$$2 \times 55,847 + 3 \times 15,999 = 159,691 \text{ gram}$$

De chemische samenstelling in gewichtsprocent is nu

voor ijzer:  $2 \times 55,847 \times 100 / 159,691 = 69,944 \%$

voor zuurstof:  $3 \times 15,999 \times 100 / 159,691 = 30,056 \%$

Omgekeerd kan men, uitgaande van de resultaten van een **kwantitatieve analyse**, de **brutoformule** van een mineraal afleiden.

*rekenvoorbeeld:*

Een analyse van een hematietmonster geeft aan dat het mineraal in gewichtsprocent uit 69,95 % Fe en 30,05 % O bestaat.

Gebruik makende van de atoommassa's van Fe en O kan men kan dit



omrekenen naar atoomverhoudingen:

$$\text{Fe: } 69,95 / 55,847 = 1,252$$

$$\text{O: } 30,05 / 15,999 = 1,878 \quad (1,252 + 1,878 = 3,130)$$

of in atoomprocent:

$$\text{Fe: } 1,252 \times 100 / 3,130 = 40 \%$$

$$\text{O: } 1,878 \times 100 / 3,130 = 60 \%$$

In de chemische formule van hematiet is de verhouding van de elementen

Fe:O = 40 : 60 of vereenvoudigd 2:3 en kan men de formule schrijven als:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

De samenstelling van een mineraal kan variabel zijn. Zo bevat sferiet (theoretisch  $\text{ZnS}$ ) vrijwel zonder uitzondering enige hoeveelheid ijzer (zie 4.9) en de chemische formule wordt dan ook geschreven als  $(\text{Zn,Fe})\text{S}$ . Wil men de exacte samenstelling kennen, dan is een chemische analyse noodzakelijk. Een analyse van een willekeurig sferietkristal levert de volgende resultaten op:

tabel 11.1 analyse van een willekeurig sferietkristal

element	gewichts %	atoom %	atoom-verhouding
Zn	57,876	42,50	0,85
Fe	8,726	7,50	0,15
S	33,398	50,00	1,00

De chemische analyse leverde de samenstelling in gewichtsprocent, die men kan omrekenen naar atoomprocent of naar atoomverhouding genormaliseerd naar zwavel = 1. De chemische formule van het betreffende sferietkristal kan men nu schrijven als:  $(\text{Zn}_{0,85} \text{Fe}_{0,15})\text{S}$ .

In het voorbeeld van het sferietkristal was de exacte chemische samenstelling slechts aanvullende informatie; de determinatie als sferiet is immers niet van het ijzergehalte afhankelijk. Er zijn echter mineraalsoorten die **mengkristallen** (zie 4.9) vormen en waarbij een chemische analyse noodzakelijk is om te bepalen met welk mineraal men nu exact te maken heeft.

Een voorbeeld is wolframiet. Strikt genomen is dat geen mineraalsoort, maar een term die verwijst naar de continue reeks tussen hübneriet ( $\text{MnWO}_4$ ) en ferberiet ( $\text{FeWO}_4$ ). Om na te gaan met welk van de twee mineralen men te maken heeft, zal men een chemische analyse moeten uitvoeren.

Analyse van een wolframietkristal van Panasqueira, Portugal geeft als resultaat:

tabel 11.2 analyse van een wolframietkristal

element	gewichts %	atoom %	atoom-verhouding
Fe	16,92	15,33	0,92
Mn	1,44	1,33	0,08
W	60,56	16,67	1
O	21,08	66,67	4

De chemische formule van het betreffende wolframietkristal kan men nu schrijven als:  $(\text{Fe}_{0,92}\text{Mn}_{0,08})\text{WO}_4$  of men kan ook zeggen dat het kristal voor 92% uit ferberiet bestaat en voor 8% uit hübneriet.

In de mineralogie is het de gewoonte om de analyses van zuurstofhoudende verbindingen (zoals silicaten, carbonaten, sulfaten enz.) weer te geven in **gewichtsprocent van de oxiden** in plaats van de elementen. In het geval van het wolframietkristal uit vorig voorbeeld zou de analyse dan vermeld worden als:

tabel 11.3 analyse van een wolframietkristal uitgedrukt in gewichtsprocent van oxiden

oxide	gewichts %	molecuulgewicht	molecuulverhouding	atoomverhouding	
				kationen	zuurstof
FeO	21,78	71,85	0,3031	0,3031	0,3031
MnO	1,86	70,94	0,0262	0,0262	0,0262
WO <sub>3</sub>	76,35	231,85	0,3293	0,3293	0,9879
totaal	99,99				1,3172

tabel 11.3 - vervolg

element	atoomverhouding elementen	atoomverhouding voor O = 4
Fe	0,3031	0,92
Mn	0,0262	0,08
W	0,3293	1
O	1,3172	4

Om de analysesresultaten van tabel 11.3 die uitgedrukt zijn in gewichtsprocent van de oxiden, te interpreteren gaat men als volgt te werk:

*Rekenvoorbeeld:*

Eerst worden de molecuulgewichten van de oxiden berekend uitgaande van de atoommassa's (tabel 3.1). Voor WO<sub>3</sub> is dat bijvoorbeeld:

$$183,85 + 15,9994 \times 3 = 231,85$$

De gewichtsprocenten worden nu door de overeenkomstige molecuulgewichten gedeeld om de molecuulverhoudingen te krijgen, bijvoorbeeld voor

$$\text{WO}_3: 76,35 / 231,85 = 0,3293$$

Hieruit leidt men dan de atoomverhoudingen voor de diverse kationen en voor zuurstof af; deze verhoudingen zijn gelijk aan de molecuulverhoudingen, behalve in het geval van de 3 zuurstofatomen in WO<sub>3</sub> waar

$$0,3293 \times 3 = 0,9879$$

Men kan nu de atoomverhoudingen voor zuurstof optellen  
 $0,3031 + 0,0262 + 0,9879 = 1,3172$

en omdat in de formule van wolframiet 4 zuurstofatomen voorkomen,  
kan men dat getal normaliseren naar 4 en men bekomt als factor  
 $4 / 1,3172 = 3,0367$

Wanneer men nu de atoomverhoudingen van de diverse elementen met deze factor vermenigvuldigd, dan bekomt men uiteindelijk de genormaliseerde atoomverhoudingen.

De chemische formule van het betreffende wolframietkristal kan men nu schrijven als:  $(\text{Fe}_{0,92} \text{Mn}_{0,08})\text{WO}_4$  een resultaat dat identiek is aan dat verkregen via de gewichtsprocenten van de elementen (tabel 11.2).

Niet alleen mineralenanalyses maar vooral analyses van gesteentemonsters worden uitgedrukt in gewichtsprocent van de betreffende oxiden, omdat gesteenten meestal uit silicaten, carbonaten en fosfaten bestaan.

Mineralen bevatten dikwijls variabele hoeveelheden aan elementen die geen wezenlijk onderdeel van de (ideale) chemische samenstelling van de betreffende mineraalsoort uitmaken. Dergelijke niet-essentiële elementen zijn slechts in kleine hoeveelheden aanwezig. Soms kunnen dat hooguit enkele procenten of fracties van procenten (sporen) zijn. Wanneer het gaat om **sporenhoeveelheden** van een bepaald element, dan wordt de hoeveelheid ervan niet meer uitgedrukt in %, omwille van te veel decimalen, maar in ppm. Deze afkorting komt van het Engels 'parts per million' en betekent dus 'delen per miljoen'.

De term **ppm** wordt gedefinieerd als:

$$\text{ppm} = \frac{\text{gewicht van het sporenelement}}{\text{totaalgewicht}} \times 1\,000\,000$$

Met andere woorden,  $1 \text{ ppm} = 0,0001 \%$  (één tienduizendste procent).

Met behulp van de moderne analysetechnieken is het zelfs mogelijk om nog kleinere hoeveelheden van een element te kwantificeren. Om dergelijke hoeveelheden aan te geven gebruikt men de term **ppb** (parts per billion), delen per miljard (1 miljard = 1000 miljoen). Dus  $1 \text{ ppm} = 1000 \text{ ppb}$ .

## 11.2 ANALYTISCHE TECHNIEKEN

De mineraloog heeft voor de chemische analyse van zijn mineraalmonsters heel wat technieken ter beschikking. De klassieke chemische analysemethoden zijn in de loop van de laatste veertig jaar grotendeels vervangen door diverse instrumentele technieken.

Een instrumentele techniek die heel veel voor mineralogisch onderzoek wordt toegepast, is de **elektronenmicrosonde-analyse** (meestal afgekort **EPMA**, van het Engels: electron probe microanalyser. Deze analysetechniek maakt gebruik van x-stralen (ook Röntgenstralen genoemd). In de elektronenmicrosonde worden de x-stralen opgewekt door de atomen van het te onderzoeken mineraal te beschieten met elektronen. Wanneer zo een elektron op een atoom invalt, dan kan het een elektron uit de binnenste schil van dat atoom verwijderen. Het atoom komt dan in een geëxciteerde toestand terecht. Deze toestand is onstabiel en een elektron van een hoger gelegen schil (en dus ook met een hogere energie) zal spoedig de ontstane vacature opvullen. Daarbij komt dan energie vrij onder de vorm van x-stralen. De energie van deze x-stralen is karakteristiek voor de atoomsoort (element) waaruit ze is ontstaan. Door de energie (of de golflengte) van de ontstane x-stralen te meten kan men dus bepalen welke elementen zich in het te onderzoeken mineraal bevinden. Door de intensiteit van de x-stralen te meten kan men, met inachtneming van bepaalde preparatievoorwaarden (bijvoorbeeld polijsten) zelfs de concentratie van de in het mineraal aanwezige elementen bepalen.

Figuur 11.1 is een afbeelding van een elektronenmicrosonde. Een schematische voorstelling ervan is terug te vinden in figuur 11.2.

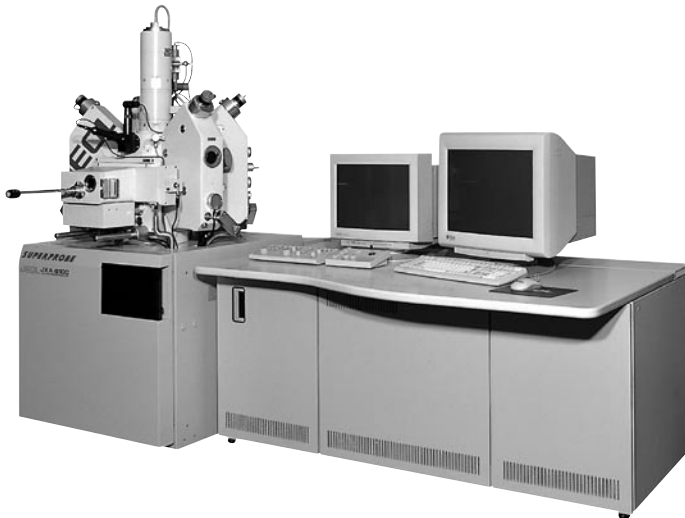


fig. 11.1 een actuele elektronen-microsonde [bron: JEOL, instrument: JEOL Superprobe 8100]

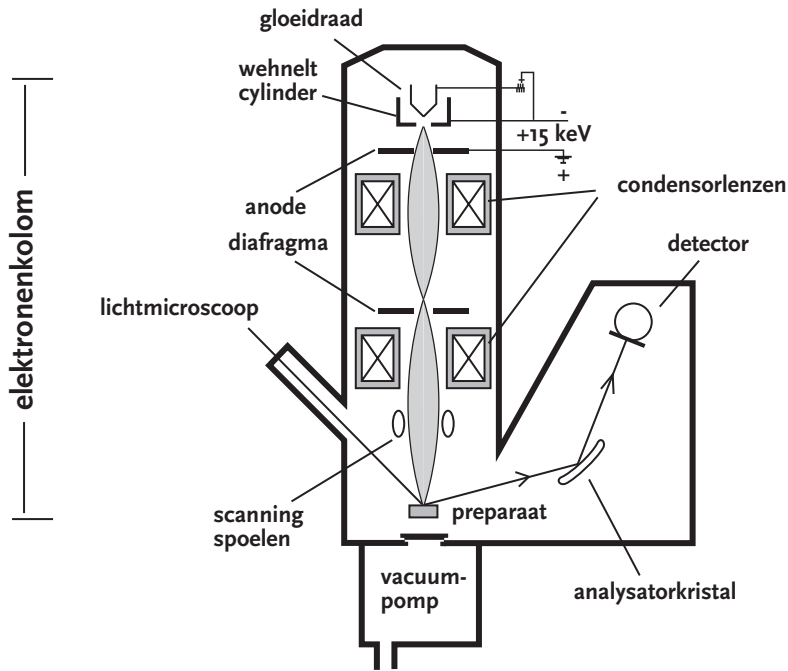


fig. 11.2 schematische voorstelling van een elektronen-microsonde

In de microsonde worden de elektronen opgewekt door een wolframdraad die aan het gloeien wordt gebracht. Deze gloeidraad bevindt zich in een cilinder en door een potentiaal van enkele volts tussen gloeidraad en cilinder aan te leggen, worden de elektronen uit de cilinder naar buiten gezogen. Dan ondergaan ze een versnelling over een potentiaalverschil van ongeveer 10000 - 30000 volt ( $10 - 30 \text{ keV} = \text{kilo elektron volt}$ ) tussen de cilinder en de anode. De anode heeft een gaatje in het midden en de elektronen die door deze anode-opening passeren worden door een combinatie van elektromagnetische lenzen (condensorlenzen) en diafragma's op het preparaat gefocuseerd. Het binnenste van de microsonde wordt vacuüm gepompt om de absorptie van elektronen door lucht te voorkomen. De elektronenbundel die op het gepolijste preparaatoppervlak invalt, produceert x-stralen die typisch zijn voor de in het preparaat aanwezige elementen. Met behulp van de 'scan-spoelen' kan men de bundel over het preparaat heen bewegen en de exacte plaats uitkiezen waar men een analyse wenst te maken. Op die manier kan men analyses verkrijgen van minuscule volumes in de grootteorde van ongeveer  $4 \text{ tot } 10 \mu\text{m}^3$ .

De geproduceerde x-stralen worden door een zogenaamde **golflengte-dispersieve-detector** naar hun golflengten geanalyseerd. Deze detector bestaat uit een gebogen analysatorkristal (monochromator) dat bepaalde instelbare golflengten uit het x-stralenspectrum kan isoleren om vervolgens hun intensiteit te meten.

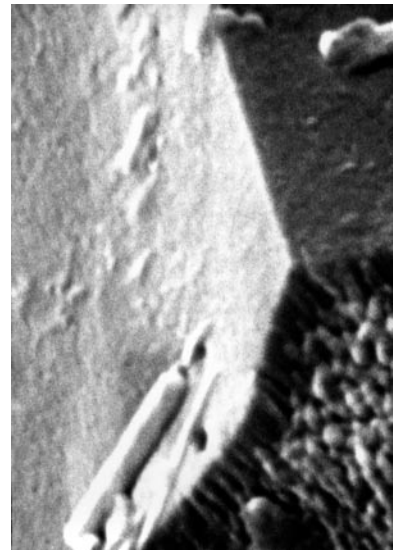
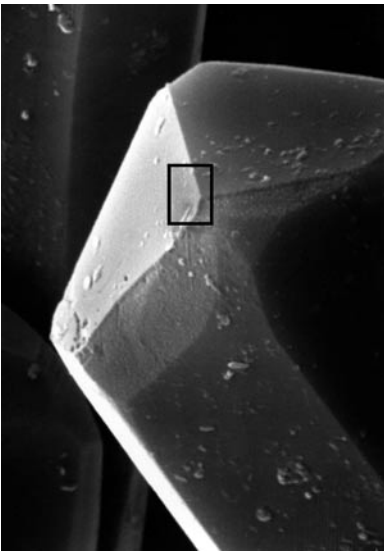
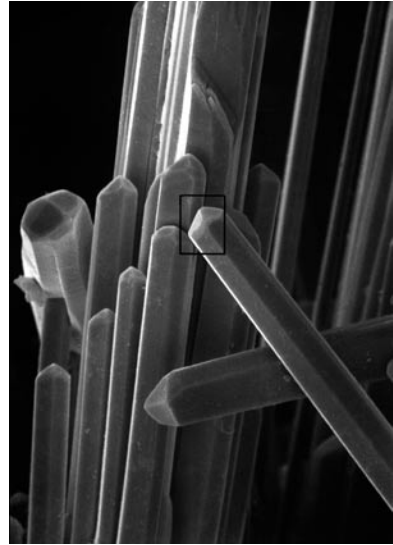
Meestal is een microsonde met drie, vier of meer van dat soort detectoren voorzien. Elk van die detectoren kan dan afgesteld worden op de golflengte van één bepaald element of er kunnen met één detector meerdere elementen na elkaar gemeten worden.

Uit de meetresultaten berekent de computer vervolgens de chemische samenstelling van het te onderzoeken mineraal. De samenstelling van het te analyseren mineraal kan ook bepaald worden door vergelijking met de x-stralenintensiteiten van materialen (standaarden) met een nauwkeurig bekende chemische samenstelling.

Om een mineraal met behulp van de microsonde te analyseren moet het aan de te onderzoeken kant aangepolijst worden. Men kan ook mineraalkorreltjes inbedden in een epoxyhars cilindertje (25 mm diameter en ongeveer 20 mm dik) dat aan de te analyseren kant eveneens aangepolijst wordt. Om het te analyseren oppervlak geleidend te maken voor elektronen moet het dan nog voorzien worden van een dun (25 nm dik) koolstoffilmpje.

Met de microsonde kan men alle elementen vanaf boor (B) tot en met uranium (U) analyseren. Hoewel de analyse van lichte elementen (B, C, N, O, F) iets minder evident is, kan men met moderne apparaten kwantitatieve analyses uitvoeren tot en met het element boor. De microsonde is voornamelijk geschikt voor de bepaling van de hoofdcomponenten van een mineraal. De detectielimiet ligt voor de meeste elementen rond de 100 ppm (0,01 %) tot 10 ppm onder gunstige omstandigheden. Verder moet men er rekening mee houden dat sommige mineralen in het hoge vacuüm van het apparaat onstabiel worden.

Een, qua constructie, met de elektronenmicrosonde vergelijkbaar apparaat is de **rasterelektronenmicroscoop** (afgekort SEM, van het Engels: scanning electron microscope). De SEM kan ook gebruikt worden voor x-stralenanalyse, maar het apparaat is in de eerste plaats geoptimaliseerd voor beeldvorming. Onder beeldvorming verstaat men het zichtbaar maken van een voorwerp dat te klein is om het met het blote oog, met de loep of zelfs met behulp van een lichtmicroscoop waar te nemen. Wanneer een preparaat met elektronen wordt beschoten, dan komen er naast x-stralen ook andere stralen vrij; zo kunnen er elektronen teruggekaatst worden of kunnen er in de oppervlaktelaag van het specimen secundaire elektronen ontstaan. De gefocuseerde elektronenbundel zal een klein gebiedje van het preparaat 'aftasten' en het gemeten signaal (van bijvoorbeeld secundaire elektronen) zal op een Tv-scherm een beeld produceren. De beelden die met behulp van de SEM worden verkregen lijken heel sterk op een zwart-wit foto, maar dan bij een heel sterke vergroting en met een enorm grote dieptescherpte. De SEM is dan ook heel geschikt om minuscule kristalletjes zichtbaar te maken. Figuur 11.3 toont een reeks van secundaire-elektronenbeelden van goethiekristallen van Ouarzazate, Marokko, bij vergrotingen van respectievelijk 20 x, 200 x, 2000 x en 20000 x.



*fig. 11.3 een reeks van secundaire-elektronenbeelden van goethietkristallen*  
[SEM-opnamen: Rik Dillen]

De meeste rasterlektronenmicroscopen zijn tevens uitgerust met een x-stralen detector. In tegenstelling tot de microsonde wordt in de SEM gebruik gemaakt van een **energie-dispersieve-detector**. De detectie van de x-stralen berust hier op een heel ander principe dan bij de golflengte-dispersieve-detector; de energie van de gedetecteerde x-stralen wordt in een silicium-halfgeleider omgezet in elektrische pulsen die verder elektronisch worden verwerkt. Het voordeel van deze detector is dat alle gegenereerde x-stralen (met verschillende energie) tegelijkertijd worden gedetecteerd. Nadeel is een kleinere gevoeligheid en een lagere resolutie. Het eindresultaat is een spectrum waarop de x-stralen volgens energie gesorteerd worden en waaruit men vrijwel onmiddellijk de in het mineraal aanwezige elementen kan identificeren. Deze detector is dan ook ideaal geschikt om heel snel een idee te krijgen van al de in een mineraal aanwezige elementen. Ook hier kan men met behulp van een aangepast computerprogramma een kwantitatieve analyse uitvoeren. Energie-dispersieve-detectors worden tegenwoordig ook, in combinatie met golflengte-dispersieve-detectors, op microsondes gemonteerd.

Met behulp van de SEM (fig. 11.4) in combinatie met de energie-dispersieve-detector kan men chemische analyses uitvoeren voor alle elementen zwaarder dan boor. De detectielimiet van de meeste elementen ligt rond de 0,1 %.

Met een moderne rasterlektronenmicroscop kan men vergrotingen bereiken tot een 300000 x en een resolutie (oplossend vermogen) van ongeveer 1,5 nm. Preparaten hoeven niet aangepolijst te worden, maar eventueel wel van een geleidend (goud- of koolstof)laagje te worden voorzien.



fig. 11.4 een actuele rasterlektronenmicroscop [bron: FEI Company, instrument: Sirion]



### 11.3 KRISTALLOGRAFISCHE ANALYSE

Een mineraalsoort is pas volledig bepaald wanneer de chemische samenstelling én de kristalstructuur bekend zijn. Het is inderdaad zo dat uitsluitend het bepalen van de chemische samenstelling niet altijd voldoende is om een mineraal met 100% zekerheid te determineren. Men zou bijvoorbeeld kunnen denken aan polymorfe mineralen (zie 4.7) die een zelfde chemische samenstelling hebben maar een verschillende kristalstructuur. Er zijn echter heel wat mineraalsoorten met variabele chemische samenstellingen en mineraalsoorten waarvan de samenstellingen erg op elkaar lijken en zelfs elkaar overlappen. Heel wat mineralen uit de klasse van de silicaten behoren tot deze categorie.

Men zou er dus kunnen aan denken om de kristalstructuur van het onbekende mineraal te gaan bepalen. Kristalstructuurbepaling is echter enkel noodzakelijk bij het bestuderen van een nog nieuw te beschrijven mineraal of bij gespecialiseerde en zeer diepgaande mineralogische studies. Overigens is het bepalen van de kristalstructuur met behulp van x-stralendiffractie aan éénkristallen een heel gespecialiseerde en tijdrovende aangelegenheid.

In plaats van de kristalstructuur, zou men een aantal kristallografische kenmerken zoals het kristalstelsel, de kristalvorm, de kristalmorfologie en de symmetrie kunnen bepalen. In werkelijkheid zal de mineraloog in de meeste gevallen zijn toevlucht nemen tot de **x-stralen-poederdiffractometrie**, een instrumentele techniek waarvan de resultaten heel nauw met de kristalstructuur samenhangen.

**Diffractie** is het gevolg van een wisselwerking tussen een golfverschijnsel (in dit geval x-stralen) en een regelmatige, zich periodiek herhalende, structuur (hier een kristalstructuur; zie ook 4.6). Diffractie kan enkel optreden wanneer de golflengte van dezelfde orde van grootte is als de periodiciteit van de regelmatige structuur. Voor x-stralen is dat een paar Å en dat is vergelijkbaar met de afstanden tussen de atomen in een kristal.

Men kan zich de diffractie van x-stralen door kristallen ook voorstellen als een reflectie van die x-stralen op de atoomvlakken in het kristal. Dit is slechts een eenvoudige voorstelling en geen verklaring van wat er in werkelijkheid gebeurt!

Figuur 11.5 stelt een sterk vergrote weergave van de doorsnede door een ingebeeld kristalstructuur voor. De kleine bolletjes stellen de atomen voor en de groepen van evenwijdige lijnen geven de ligging aan van enkele mogelijke atoomvlakken in het kristal. In werkelijkheid zijn er heel wat meer van dergelijke vlakken. De vlakken onderscheiden zich van elkaar door hun ruimtelijke ligging t.o.v. de kristalstructuur en door de afstand tussen de atoomvlakken. De grootte van die afstand ( $d$ , of ook  $d$ -waarde genoemd) is overigens voor elk stel vlakken constant en eigenlijk een kenmerkende waarde voor ieder soort atoomvlak van een bepaald kristal. Zo is  $d_1$  kleiner dan  $d_2$ , maar op zijn beurt weer

groter dan  $d_3$  en  $d_4$ . Wanneer de celparameters (zie ook 4.6 en in het bijzonder fig. 4.16) van een kristal van een bepaalde mineraalsoort bekend zijn, dan kan men de d-waarden vrij eenvoudig berekenen.

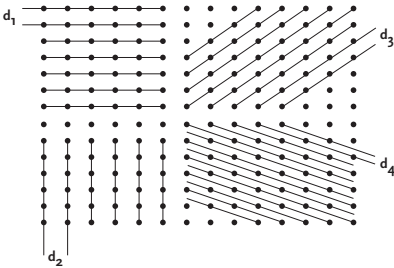


fig. 11.5 een sterk vergrote weergave van de doorsnede door een ingebeelde kristalstructuur de atoomvlakken onderscheiden zich van elkaar door hun ruimtelijke ligging en door de afstand tussen de vlakken.

Er zijn in een kristalstructuur dus heel wat mogelijke atoomvlakken waarop een x-straal kan reflecteren. Deze reflectie is echter niet te vergelijken met de reflectie van een lichtbundel op een spiegel, waar bij alle mogelijke invalshoeken reflectie zal optreden. In het geval van x-stralen en kristallen zijn bepaalde voorwaarden vereist opdat reflectie zou optreden. Factoren die daarbij een rol spelen zijn:

- de afstand tussen de atoomvlakken (d-waarden)
- de hoek ( $\theta$ , theta) tussen de invallende x-straal en het atoomvlak
- de golflengte ( $\lambda$ , lambda) van de x-stralen

Dit wordt geïllustreerd in figuur 11.6 waar een x-straal invalt op een minuscule klein kristal (de punten stellen weer atomen voor). Het kristal wordt gekanteld en uitsluitend in situatie 3 treedt reflectie op. Het grootste gedeelte van de x-stralen gaat gewoon door het kristal heen (ook in geval 3).

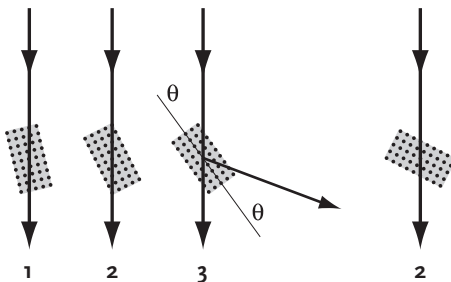


fig. 11.6 een x-straal die invalt op een minuscule klein kristal bij kanteling van het kristal treedt uitsluitend in situatie 3 reflectie op

De wiskundige vergelijking die de voorwaarde voor reflectie van x-stralen door een atoomvlak beschrijft, wordt de Bragg-vergelijking genoemd:

$$\lambda = 2 d_{hkl} \sin\theta$$

hierin is  $\lambda$  de golflengte van de gebruikte x-stralen,  $d_{hkl}$  de d-waarde van het vlak met de naam hkl (Miller-index) en  $\sin\theta$ , de sinus van de hoek  $\theta$ .

*Rekenvoorbeeld:*

Het kristal in figuur 11.6 wordt bestraald met een bepaalde soort x-stralen (Cu K $\alpha$ ) waarvan de golflengte gelijk is aan 1,54 Å. De hoek  $\theta = 34^\circ$  en bijgevolg is  $\sin 34^\circ = 0,56$

Hieruit berekent men dan de d-waarde van het betreffende

$$\text{atoomvlak } d = 1,54 / (2 \times 0,56) = 1,38 \text{ \AA} \text{ (of } 0,138 \text{ nm)}$$

Aan de hand van x-stralendiffractie aan kristallen is het dus mogelijk om de afstanden tussen verschillende atoomvlakken te berekenen. Om al die verschillende atoomvlakken in een kristal te doen reflecteren zou men het te onderzoeken kristalletje of mineraalfragmentje in allerlei mogelijke oriëntaties ten opzichte van de invallende x-stralenbundel moeten brengen. Op die manier zou men dan alle mogelijke reflectiehoeken kunnen meten. Praktisch doet men dit maar zelden. Om allerlei mogelijke oriëntaties van het kristal ten opzichte van de x-stralenbundel te krijgen, zal men het mineraal tot een poeder fijnmalen en de bundel doorheen het poeder sturen zoals in figuur 11.7 geïllustreerd wordt.

Op die manier komt de x-stralenbundel een zodanig grote hoeveelheid van willekeurig georiënteerde kleine kristalfragmentjes tegen, dat feitelijk alle mogelijke oriëntaties vertegenwoordigd zijn.

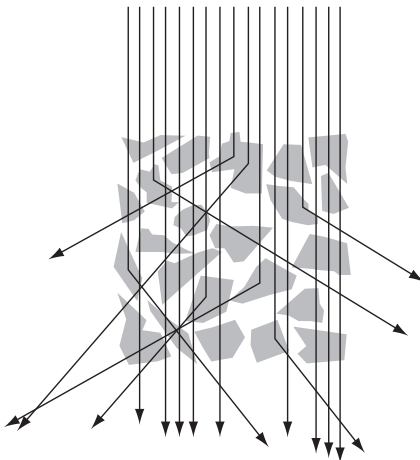


fig. 11.7 een x-stralenbundel wordt doorheen een mineraalpoeder gestuurd

In de praktijk zal men het mineraal fijnmalen tot een korrelgrootte van ongeveer  $100\ \mu\text{m}$  ( $1\ \mu\text{m} = 1\ \text{micron} = 10^{-6}\ \text{m}$ ) en een kleine hoeveelheid (meestal enkele honderden mg) van dat mineraalpoeder op een glasplaatje aanbrenge. Dat glasplaatje gaat dan in een poederdiffractometer (fig. 11.8) waar het ten opzichte van een x-stralenbundel roteert. Een eveneens roterende detector meet bij alle mogelijke hoeken ( $\theta$ ) de intensiteit van de gereflecteerde straling. Afhankelijk van de beoogde nauwkeurigheid neemt een meting enkele tientallen minuten tot enkele uren in beslag.



fig. 11.8 een poederdiffractometer [bron: PANalytical, instrument: PW1820]

Het resultaat is een diffractogram (zoals in fig. 11.9) waarin de posities (hoeken) van de reflecties toelaten om de afstanden tussen atoomvlakken te berekenen. De intensiteit van de reflecties hangt op haar beurt af van de aard en de plaats van de atomen in de kristalstructuur. Deze gegevens zijn in principe voor iedere mineraalsoort verschillend. Een diffractogram is dan ook op te vatten als een soort ‘vingerafdruk’ van een mineraal.

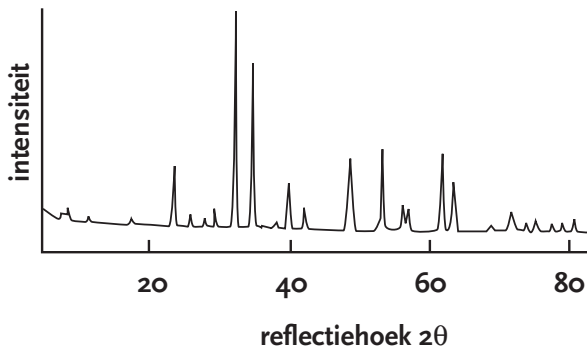


fig. 11.9 een diffractogram (van calciet)

De meetresultaten worden gedigitaliseerd en een computerprogramma vergelekt de gemeten waarden met een bestand waarin diffractiegegevens van alle bekende mineralen en anorganische verbindingen zijn opgenomen. Het computerprogramma helpt op die manier de onderzoeker om het onbekende mineraal te determineren.

Ook bij deze techniek zijn de resultaten niet altijd zonder reserve te interpreteren. Zo kunnen de diffractogrammen van verschillende mineraalsoorten soms erg op elkaar lijken. Verder is het resultaat van de analyse afhankelijk van de hoeveelheid beschikbaar mineraalmonster en van de aard van het fijngemalen mineraalpoeder. Mengsels van twee of meer mineralen kunnen ook voor de nodige interpretatieproblemen zorgen.

In een aantal gevallen zal de mineraloog uitsluitend een diffractogram opnemen en een chemische analyse achterwege laten. Voor een andere determinatie volstaat een microsonde-analyse, en soms moet men de resultaten van meerdere technieken combineren om tot een definitief resultaat te komen.

## 11.4 DETERMINATIE MET EENVOUDIGE MIDDELEN

Uit de inhoud van vorige paragrafen blijkt duidelijk dat mineralendeterminatie in de eerste plaats het domein is van de daarin gespecialiseerde mineraloog. De mogelijkheden van de actuele mineraloog kan men het best begrijpen aan de hand van het volgende.

In 1837 beschreef J.D. Dana (1813-1895) in de eerste druk van zijn “System of Mineralogy” 352 mineraalsoorten. Men was er toen in gelukt om die 352 mineraalsoorten te onderscheiden aan de hand van eenvoudige waarnemingen, zoals fysische kenmerken en het uitvoeren van enkele chemische testen.

Met de huidige kennis en met behulp van diverse moderne analysetechnieken is men erin geslaagd om ongeveer **4000 mineraalsoorten** te beschrijven. Dat is dus het tienvoud van het aantal soorten dat in de tijd van Dana bekend was. Ten tijde van Dana bestonden die mineraalsoorten uiteraard ook, maar voor zover er al exemplaren van gevonden waren, werden ze door gebrek aan kennis en analysemethoden niet als nieuwe mineraalsoorten onderkend.

Wanneer men geen toegang heeft tot de eerder besproken instrumentele technieken, dan zal men zich min of meer moeten behelpen met de middelen die de mineralogen van meer dan een eeuw geleden ter beschikking hadden, met alle beperkingen van dien. Daartegenover staat dan wel dat men kan putten uit een heel arsenaal aan actuele kennis. Er is de laatste decennia enorm veel over mineralen geschreven en zowel vindplaatsen als mineralen zijn grondig bestudeerd.

Als eerste stap bij het determineren van een zelf gevonden mineraal zal het dan ook aangewezen zijn om een grondige literatuurstudie te maken. Een belangrijke bron van informatie zijn de **vindplaatsbeschrijvingen**. In dergelijke publicaties worden de op een vindplaats voorkomende mineralen, hun associaties en de geologische context meestal uitvoerig behandeld. Dikwijls wordt er zelfs extra aandacht besteed aan hoe bepaalde soorten met eenvoudige middelen/waarnemingen van elkaar te onderscheiden zijn. Vindplaatsbeschrijvingen zijn enkel waardevol indien de beschreven mineraalsoorten door de auteur(s) zorgvuldig (dat is met behulp van verschillende degelijke technieken) zijn gedetermineerd. Wie graag zelf naar mineralen op zoek gaat, doet er goed aan om zich van tevoren uitvoerig over de te bezoeken vindplaatsen te documenteren. Met de nodige voorkennis over een vindplaats heeft men overigens meer kans om interessante vondsten te doen, dan wanneer men onvoorbereid gaat zoeken.

Betrouwbare vindplaatsbeschrijvingen kan men terugvinden in de tijdschriften die in appendix 1 worden vermeld. Een omvangrijke (maar niet altijd even accurate) bron van informatie is het Internet. Er zijn websites die uitsluitend één bepaalde vindplaats of één mineraalsoort of mineralengroep behandelen. De beste startpagina voor dit doel is de homepage van de Mineralogische Kring

Antwerpen <http://www.minerant.org/MKA>, van waaruit men de beschikking heeft over een actuele en van korte commentaren voorziene lijst van mineralogisch relevante websites. Verder kan men via de MKA-website zoeken in de inhoudsopgave van een aantal belangrijke tijdschriften en op die manier publicaties traceren.

De determinatiemiddelen die de doorsnee mineralenverzamelaar ter beschikking heeft, beperken zich meestal tot het waarnemen of vaststellen van **fysische kenmerken** (zie hoofdstukken 6, 7 en 8). Maar heel wat van de frequent voorkomende mineraalsoorten zijn met behulp van die eenvoudige middelen te determineren.

Of een mineraal al dan niet op een relatief eenvoudige manier te determineren is, hangt zowel af van de betrokken mineraalsoort als van het te determineren exemplaar. Enerzijds zijn er een aantal mineralen waarvan de fysische kenmerken vrijwel gelijk zijn. Anderzijds kunnen een aantal kenmerken van specimen tot specimen verschillen. Het komt er eigenlijk op neer dat één mineraalsoort in verscheidene vormen en kleuren kan voorkomen en dat daarentegen een aantal specimen die er gelijkaardig uitzien toch verschillende mineraalsoorten kunnen zijn.

Veel hangt er verder van af hoe het te determineren mineraal zich voordoet:

- als een massief exemplaar
- als duidelijk ontwikkelde macroscopische kristallen
- als (vlakkenrijke) microscopische kristallen
- als kleine korreltjes of kristalletjes in een ander mineraal

De waarde van een bepaald kenmerk of een bepaalde eigenschap voor de determinatie hangt dus af van variabiliteit van dat kenmerk of van die eigenschap:

- de **kleur** is een kenmerk dat het meest opvalt. Voor een aantal mineralen is de kleur constant en soms erg typisch (vooral voor de metallisch glanzende mineralen), terwijl bij andere mineralen de kleur enorm kan verschillen. De waarde van de kleur voor het determineren is dan ook variabel
- de **streepkleur** is over het algemeen minder variabel dan de kleur van een mineraal en voor het determineren meer van nut
- de **glans** is vrij constant voor de meeste species en is dan ook een belangrijk criterium bij de determinatie
- de **kristalmorfologie** is een zeer belangrijk hulpmiddel bij het determineren van mineralen (zelfs voor microscopische kristallen). Beperking is uiteraard dat niet elk mineraal steeds identiek uitzijnde kristallen vertoont en dat een aantal mineralen zelden of nooit in kristallen te vinden is

- naast de morfologie van afzonderlijke kristallen is de **morfologie van aggregaten** soms heel kenmerkend voor bepaalde mineraalsoorten
- de **dichtheid** van een mineraal is ook een belangrijk kenmerk voor de determinatie. De bepaling ervan is echter niet altijd even vanzelfsprekend
- de **hardheid** van een mineraal varieert slechts binnen beperkte grenzen en zal dus zeker voor het determineren in aanmerking komen. Het is enkel kwestie of het te determineren exemplaar geschikt is om er de hardheid van te bepalen
- **splijting** is een typisch kenmerk en van betekenis bij determinatie. Het is echter niet altijd duidelijk waarneembaar
- verder zijn er een aantal kenmerken zoals de **stevigheid**, de **breuk**, de **doorzichtigheid**, **fluorescentie** enz. die aanvullende informatie over het mineraal kunnen bezorgen en dus van nut zijn in combinatie met de overige kenmerken.

Men moet zich voortdurend bewust zijn van de relatieve determinatiewaarde van de verschillende kenmerken.

In ieder geval is het bij het determineren noodzakelijk om systematisch te werk te gaan en zoveel mogelijk kenmerken trachten te bepalen. Eenmaal deze waarnemingen gedaan, moet men de resultaten ervan nog in een determinatie omzetten. Daarvoor zijn **determinatietabellen** heel geschikt (zie volgend hoofdstuk). In determinatietabellen worden de mineraalsoorten volgens bepaalde criteria gerangschikt zodat ze eenvoudig en snel aan de hand van de vastgestelde kenmerken kunnen opgezocht worden. Wanneer men eenmaal een te determineren exemplaar van de waarschijnlijke naam heeft voorzien, dan is het een goede gewoonte om alle eigenschappen nog eens na te gaan. Daarvoor moet men over de nodige **naslagwerken** (zie appendix 1) beschikken, zodat men extra informatie over het gedetermineerde mineraal kan inwinnen en die informatie aan het betreffende exemplaar kan toetsen.



## 11.5 MINERALEN HERKENNEN

**Mineralen herkennen** doet men door het vaststellen van een combinatie van direct waarneembare kenmerken (zoals vorm, kleur, glans, gemiddelde dichtheid enz.). Herkennen verschilt van determineren in zover men niet in determinatietabellen gaat zoeken, maar men zijn **geheugen** zal raadplegen en doelgericht op bepaalde eigenschappen zal letten. Herkennen is een samenspel van **geheugen** en **waarnemingszin**.

Om mineralen te leren herkennen zijn er heel wat mogelijkheden om het geheugen en de waarnemingszin aan te scherpen:

- **mineralenmusea** zijn een belangrijke bron van informatie en tonen, normaal gezien, nauwkeurig gedetermineerde specimens met correcte vindplaatsopgave
- **determinatietabellen** zijn ook een belangrijke bron van informatie omdat mineralen met vergelijkbare eigenschappen (en dus op elkaar lijkend) in de tabellen naast of onder elkaar staan. Op die manier wordt men alert voor gelijkaardig uitzijende mineraalsoorten
- **mineralenboeken** en **-tijdschriften** tonen meestal kwalitatief goede afbeeldingen van allerlei mineraalsoorten en dienen als referentiewerken om de eigenschappen van de verschillende mineralen in op te zoeken. Vooral mineralentijdschriften zijn van belang wanneer men zelf naar mineralen gaat zoeken en men over de nodige vindplaatsbeschrijvingen wil beschikken
- **mineralenverzamelingen** van collega-mineralenliefhebbers en **mineralenbeurzen** zijn eveneens bronnen van informatie. In beide gevallen geldt jammer genoeg dat de determinatie en zelfs de vindplaatsopgave niet altijd even correct zijn.

Van de mineralensoorten die men met behulp van eenvoudige middelen kan determineren, zijn er heel wat die met de nodige ervaring op-zicht te herkennen zijn. Ook al zijn de gemakkelijk herkenbare mineraalsoorten numeriek gezien in de minderheid, dan mag men niet vergeten dat de meerderheid van de 4000 mineraalsoorten eigenlijk zeldzaamheden zijn. Met andere woorden, heel wat mineralen die men regelmatig zal aantreffen (zelf vinden) zijn met de nodige ervaring te herkennen.

Nu is het ook zo dat de moeilijkheid van herkennen niet van de zeldzaamheid van een mineraal soort hoeft af te hangen. Sommige veel voorkomende mineralen zijn erg moeilijk te determineren (bijvoorbeeld het onderscheid tussen de verschillende veldspaten) terwijl heel erg zeldzame mineralen soms heel eenvoudig te herkennen zijn.

Bij het mineralen herkennen zal men nu en dan genoeg moeten nemen met wat meer algemenere benamingen; men spreekt in dit verband ook wel van veldbenamingen. Zo zal men bijvoorbeeld een mineraal herkennen als toermalijn, als veldspaat of als een mica, terwijl men bij determinatie zal nagaan met welke toermalijn-, veldspaat- of micasoort men te maken heeft.

Het leren herkennen van mineralen is een langdurig proces waarin men zich blijvend zal trachten te verfijnen. Het is voor de mineralenliefhebber een van de boeiendste aspecten van zijn hobby.



# DETERMINATIETABEL

In hoofdstukken 6 en 7 werden de voornaamste fysische kenmerken van de mineralen besproken. Deze kenmerken vinden hun toepassing in het determineren van mineralen en ze werden verwerkt in de determinatietabel aan het einde van dit hoofdstuk.

Voorafgaand aan de determinatietabel wordt de opbouw ervan toegelicht.

**MARBODAEI**  
**GALLI CAENOMANENSIS DE**  
 gemmarum lapidumq; pretiosorum formis, natu-  
 ris, atq; uiribus eruditū cū primis opusculū, sane q̄utile, cum  
 ad rei medicæ, tū scripturæ sacræ cognitionē. nūc primū nō  
 mō cētū ferme uersib. locupletatū pariter & accuratius emē-  
 datū, sed & scholijs q̄q; illustratū p̄ Alardū AEmstelredamū

¶ Cuius studio  
 additę sunt & præci-  
 puæ gemmæ lapi-  
 dūq; pretiosorū expli-  
 citōdes, ex uetustiss.  
 q̄busq; autorib; con-  
 acitæ. Cū scholijs Pi-  
 storij Villingen.

Εν μαργάριτον τί-  
 μιον. Ἀποδόνε  
 ἅπαντα λάμβανε.  
 En margaritū no-  
 bile, Eme si cupis  
 ditescere.  
 Rationale. Exodi.  
 28. & 39. Leui. 8.

Doctrina & Veritas

3 Smaragdus Leui	4 Carbūcul? Iuda	5 Saphirus Zabulon
2 Topazius Simeon	9 amethystus Afer	6 Iaspis Isachar
1 Sardius Ruben	10 chrysolitus Nephtalim	7 Lincurius Dan
12 Beryllus Beniamin	11 Onychinus Ioseph	8 Achates Gad

Coloniæ excudebat Hero Alopecius. Anno. 1539.

TITELPAGINA VAN HET LAPIDARIUM (EEN BOEK OVER EDELSTENEN) VAN MARBODE  
*Marbodus, De gemmarum lapidumque pretiosorum...*, Köln, 1539

## 12.1 PRINCIPES ACHTER DE DETERMINATIETABEL

Planten kan men aan de hand van een zogenaamde “flora” (een soort determinatietabel) determineren. Via een systeem van vragen en daarbij horende keuzen, komt men stap voor stap dichterbij de uiteindelijke determinatie. In het merendeel van de gevallen zal men het plantje (mits er bloemen aanwezig zijn) juist kunnen determineren. De morfologische kenmerken (bladvorm, bladstand, bloemkenmerken, enz.) van de verschillende plantensoorten en -geslachten staan vast en zijn een constant gegeven.

Bij mineralen is dat meestal anders. Heel wat mineralensoorten blinken uit door de variabiliteit van een aantal (of enkele) van hun kenmerken. Determinatietabellen zijn dan ook enkel geschikt voor het **determineren van typische exemplaren** van een mineraalsoort.

Bij het ontwerpen van determinatietabellen zal men een indeling volgens fysische kenmerken maken op basis van een bepaalde hiërarchische volgorde. Voor de hoogste hiërarchie (dus de hoofdindeling) kiest men voor kenmerken die:

- zo min mogelijk variabel zijn
- op vrijwel alle exemplaren aanwezig zijn

Een ‘hoofdkenmerk’ moet zoveel mogelijk aan beide criteria voldoen.

Tabel 12.1 geeft een schematisch overzicht van de criteria volgens dewelke de mineraalsoorten in de determinatietabel onderverdeeld worden.

In de determinatietabellen die in deze tekst worden gebruikt, is het **hoofdkenmerk** de **glans** van het mineraal (zie schema tabel 12.1). Een eerste indeling in twee categorieën gebeurt dan ook op basis van de glans, in mineralen met een:

- metaalglans
- niet-metaalglans, halfmetaalglans (of niet uitgesproken duidelijke metaalglans)

Sommige mineralen worden op meerdere plaatsen in de tabellen opgenomen omdat bijvoorbeeld de glans van specimen tot specimen kan verschillen. Zo kan hematiet bijvoorbeeld zowel een uitgesproken metaalglans vertonen, maar kan het evengoed een halfmetaalglans of zelfs een mat uiterlijk hebben.

Omdat de kleur van de meeste **metallisch glanzende mineralen** constant is, worden deze mineralen in de determinatietabellen volgens hun kleur ingedeeld. Per kleur worden deze mineralen naar toenemende hardheid gesorteerd en tenslotte ruwweg naar stijgende dichtheid gerangschikt.

De mineralen zonder metaalglans worden ingedeeld in:

- niet-metallisch en halfmetallisch glanzend met een gekleurde streep
- niet-metallisch glanzend met een witte streep

De mineralen met een **gekleurde streep** worden per streepkleur ingedeeld en verder gerangschikt naar toenemende hardheid en ruwweg naar stijgende dichtheid.

De mineralen met een **witte streep** worden in drie categorieën van hardheid ingedeeld:

- $H < 3,5$
- $3,5 < H < 5,5$
- $H > 5,5$

Binnen deze categorieën worden ze nog eens onderverdeeld in mineralen met al dan niet een perfecte **splijting**. Tenslotte wordt weer het criterium toenemende hardheid / stijgende dichtheid gehanteerd.

In de **determinatietabel** zijn een **130-tal mineraalsoorten** opgenomen. Het zijn dezelfde mineralen waarvan de namen in tabel 1.1 voorkomen en die in hoofdstuk 10 worden vermeld om er een systematische verzameling mee aan te leggen (zie 10.4). Gezien de variabiliteit van sommige kenmerken moeten een aantal van deze mineraalsoorten op meerdere plaatsen in de tabellen worden ingelast. Daarom omvatten de tabellen in totaal 195 items.

Voor het **leren mineralen herkennen** is deze determinatietabel ook erg geschikt mits ze gebruikt wordt binnen het kader van begeleide oefeningen. Bij dergelijke oefeningen wordt uitsluitend met mineralen gewerkt die in de determinatietabel voorkomen. Op die manier leert men deze mineralen nauwkeurig te observeren en hun kenmerken in te schatten.

tabel 12.1 schematisch overzicht van de criteria volgens dewelke de mineraalsoorten in de determinatietabel onderverdeeld worden

hoofdkenmerk		→ overige kenmerken in afnemende hiërarchie	
GLANS	KLEUR	HARDHEID	SPLIJTING
<b>metallisch glanzend</b>	- wit, grijs, grijszwart - zwart - geel - rood - blauw	per kleur gerangschikt naar <u>toenemende hardheid</u>	
	<b>gekleurde streep:</b> - rood - geel - bruin - zwart - blauw - groen	per streepkleur gerangschikt naar <u>toenemende hardheid</u>	
<b>niet-metallisch glanzend</b>	<b>witte of zwak gekleurde streep</b>	<b>H &lt; 3,5</b>	perfecte splijting
			geen perfecte splijting
		<b>3,5 &lt; H &lt; 5,5</b>	perfecte splijting
			geen perfecte splijting
		<b>H &gt; 5,5</b>	perfecte splijting
			geen perfecte splijting



## 12.2 STRUCTUUR VAN DE DETERMINATIETABEL

In de determinatietabel zijn de mineraalsoorten, afhankelijk van hun eigenschappen, in bepaalde categorieën (determinatiecriteria) onderverdeeld. Om die onderverdeling duidelijk te doen uitkomen staat boven iedere bladzijde een titel die aangeeft met welke categorie van mineralen men op die bladzijde te maken heeft (zie de determinatietabel aan het einde van dit hoofdstuk) . De voornaamste determinatiecriteria zijn telkens in hoofdletters en met een geschaduwde achtergrond weergegeven.

Na de titel volgt nog een tweede rij die de kenmerken aangeeft die voor iedere mineraalsoort worden vermeld. Deze ondertitel is voor de hele determinatietabel hetzelfde, met als onderscheid dat het één na belangrijkste determinatiecriterium een grijze achtergrond heeft. Zo worden bijvoorbeeld de metallisch glanzende mineralen verder ingedeeld volgens hun kleur en bijgevolg is het vakje “KLEUR” dan ook grijs gemaakt. Op die manier wordt de aandacht getrokken op het criterium dat binnen die hoofdcategorie als verdere indeling gehanteerd wordt.

Verder is de determinatietabel opgebouwd uit rijen die de kenmerken van de verschillende mineraalsoorten bevatten. Iedere rij is onderverdeeld in 7 vakjes (conform de ondertitel) waarin de kenmerken van de betreffende mineraalsoort worden vermeld.

Eigenschappen die meestal typisch zijn voor een mineraalsoort worden in de tekst onderlijnd. Het zijn kenmerken waar tijdens het herkennen extra op zal gelet worden.

In de tabellen, net zoals in de overige tekst, wordt voor de mineralen de officiële benaming gebruikt en variëteitnamen vermeden. Aanvaarde benamingen voor mengsels (kaolien), gesteente (bauxiet) en de verzamelnaam ‘limoniet’ werden wel gebruikt.

In enkele gevallen zijn twee mineralennamen onder één volgnummer vermeld. Dit is het geval voor species die niet zonder verdere hulpmiddelen met zekerheid kunnen gedetermineerd worden (bijvoorbeeld: actinoliet - tremoliet, tetraëdriet - tennantiet, dolomiet - ankeriet).

Soms werd zelfs uitsluitend de groepsnaam vermeld (bijvoorbeeld chloriet, serpentiin, granaat, toermalijn, veldspaat) wanneer een doorgedreven determinatie meer apparatuur vereist.

Voor de chemische formule werd “Fleischer’s Glossary of Mineral Species 1999” (zie appendix 1) als referentie gebruikt. Onder de chemische formule wordt de klasse vermeld waartoe het mineraal in de systematiek behoort. Bij de silicaten wordt de hoofdafdeling gespecificeerd (nesosilicaten, sorosilicaten, enz.). Voor enkele mineralen werd tevens de mineralengroep vermeld waartoe ze behoren (zeolieten, amfibolen, pyroxenen..)

Elk mineraal in de determinatietabel heeft een volgnummer. In de index achteraan in het boek zijn deze volgnummers in vet gedrukt.

Als er voor een mineraalsoort meerdere kleuren mogelijk zijn, dan worden deze vermeld, de meest voorkomende vooraan in de opsomming.

De glans wordt vermeld als metaalglans of halfmetaalglans. Een niet-metaalglans wordt verder gespecificeerd (glasglans, vetglans, diamantglans, enz.)

In het vierde hokje wordt de Mohs-hardheid vermeld, gevolgd door de dichtheid. Wanneer de hardheid kan variëren dan wordt het interval gegeven. Datzelfde geldt voor de dichtheid.

Een aantal associaties (zie 2.6) zijn erg typisch en bijgevolg een hulpmiddel bij het herkennen en determineren van sommige mineralen.

De mineralen die in het laatste vakje van de determinatietabel worden opgesomd, begeleiden dikwijls het betreffende mineraal. Hun aanwezigheid op een te determineren specimen kan soms een determinatie bevestigen. Hun afwezigheid laat over het algemeen geen besluiten toe.

### 12.3 PRAKTISCH GEBRUIK VAN DE DETERMINATIETABEL

Wanneer men een mineraal wil determineren dan doet men er goed aan om van tevoren alle aan het specimen waarneembare kenmerken na te gaan. Men kan daarvoor gebruik maken van het “**werkblad mineralen herkennen**” in appendix 3.

Zo noteert men achtereenvolgens:

- glans
- kleur
- streepkleur
- hardheid
- dichtheid
- splijting
- breuk
- kristalmorfologie
- aggregaatvorm

Slechts wanneer men dit lijstje klaar heeft, gaat men naar de determinatiesleutel op bladzijde 262 en kan men in de tabel op zoek gaan naar mineralen die aan de waargenomen kenmerken voldoen. Deze aanpak is beter dan progressief te werk te gaan, omdat men dan al gauw geneigd is om in de tabel een keuze te maken zonder alle waarneembare kenmerken objectief vast te stellen.

Wanneer men geluk heeft dan vindt men in de determinatietabel één mineraal dat qua eigenschappen aan het te determineren mineraal voldoet. Toch moet men er steeds rekening mee houden dat geheel verschillende mineralen sterk op elkaar kunnen lijken. Het is een goede gewoonte om de eigenschappen van het gevonden mineraal nog eens in een mineralenboek op te zoeken en te vergelijken met het te determineren specimen.

Het werken met de determinatietabellen herleidt de determinatie dikwijls tot het maken van een keuze tussen enkele mineralen. In een dergelijke situatie dient men de verschillende kenmerken kritisch tegen elkaar af te wegen en kan een goed gekozen chemische test soms uitkomst bieden.

Wat te doen wanneer men er helemaal niet uitkomt?

In de eerste plaats moet men nagaan of men bij de bepaling van de diverse kenmerken wel voldoende kritisch is geweest. Werd de glans wel aan een vers breukvlak bepaald, was de hardheidsbepaling wel nauwkeurig, is er inderdaad geen splijting waarneembaar, enz.?

Bij sommige specimens kan het overigens vrijwel onmogelijk zijn om bepaalde kenmerken te bepalen (bijvoorbeeld de hardheid van microkristallen) en dan loopt men soms op die manier vast.

Overigens hebben determinatietabellen ook hun beperkingen, zij het in de eerste plaats al door het relatief klein aantal mineralen dat in de tabel werd opgenomen.

Wanneer een positieve determinatie onmogelijk is, dan zal men toch zijn toevlucht moeten nemen tot instrumentele technieken. In dat geval kan men te rade gaan bij de determinatiedienst van de Mineralogische Kring Antwerpen v.z.w.

## 12.4 DETERMINATIETABEL

De determinatietabel begint op volgende bladzijde met een determinatiesleutel. Vertrekkende vanuit die sleutel werkt men verder doorheen de tabel.

## DETERMINATIESLEUTEL

### **1. het mineraal heeft een uitgesproken metaalglans**

zo ja, zie bladzijde 263

zo neen, zie nummer 2

### **2. het mineraal heeft een gekleurde streep**

zo ja, zie bladzijde 280

zo neen, zie nummer 3

### **3. de streep is wit of slechts zwak gekleurd**

zie bladzijde 299

## MINERALEN MET EEN METAALGLANS

Deze mineralen zijn gerangschikt per kleur,  
naar toenemende hardheid en verder ruwweg  
naar toenemende dichtheid

kleur van het mineraal	tabelnummers
wit, grijs, grijszwart	1 - 18
zwart	19 - 34
geel	35 - 41
rood	42 - 44
blauw	45 - 46

kan men het mineraal in dit gedeelte van de tabel niet terugvinden,  
dan kan men bij de halfmetallisch glanzende mineralen proberen  
zie bladzijde 280

METAALGLANS		KLEUR: WIT, GRIJS, GRIJSZWART			gerangschikt naar toenemende hardheid en dichtheid	
NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
<b>PYROLUSIET</b>  $MnO_2$  oxiden   1	donkergrijs ijzerzwart  (het mineraal geeft zwart af)	<u>zwart: geeft zwart af            op papier</u>  metaalglans	<b>1</b> aardachtig verpulvert  4,7	bros aardachtig  perfect, maar meestal niet waarneembaar  splinterig oneffen	TETRAGONAAL  XX zijn zeldzaam, microkristallijn  meestal korrelig, massief, botryoïdaal, <u>vezelig</u> , dendrietisch, <u>aardachtig</u>	mangaaniet kwarts hematiet goethiet limoniet
<b>GRAFIET</b>  <b>C</b>  elementen   2	donkergrijs	grijs zwart  metaalglans	<b>1 - 2</b>  2,1 – 2,3	flexibel <u>voelt vet aan</u>  perfect	HEXAGONAAL  zeshoekige tafelige XX, <u>geïsoleerde kristallen zijn dunne plaatjes</u>  <u>bladerige massa's</u> , radiaalstralig, korrelig	veldspaat kaoliniet rutiel pyriet mica toermalijn spinel pyroxeen
<b>MOLYBDENIET</b>  $MoS_2$  sulfiden   3	<u>loodgrijs</u>	grijszwart  metaalglans	<u><b>1 - 1,5</b></u>  4,6 - 5,0	flexibel blaadjes voelen vet aan  <u>perfecte splijting</u> (blaadjes)  -	HEXAGONAAL  <u>bladerig</u> , tafelig, schubbig, blaadjes dikwijls gebogen  ook massief	cassiteriet scheeliet wolframiet fluoriet kwarts chalcopyriet

METAALGLANS	KLEUR: WIT, GRIJS, GRIJSZWART	gerangschikt naar toenemende hardheid en dichtheid
-------------	-------------------------------	--

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>STIBNIET</b> <b>Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub></b> <b>sulfiden</b>  <b>4</b>	<u>grijszwart</u> <u>loodgrijs</u>  soms met aanloopkleuren	<u>grijszwart</u>  metaalglans	<b>2</b>  4,5 - 4,6	flexibel  <u>perfecte splijting</u>  subconchoïdaal	ORTHOROMBISCH  prismatisch (met striaties in de lengterichting / XX soms gebogen), naaldvormig, stengelig, vezelig  radiaalstralig of in groepen of bussels	galeniet cinnaber sferiet bariet realgar auripigment arseen
--	---	--------------------------------------	---------------------------	---	--	---

<b>JAMESONIET</b> <b>Pb<sub>4</sub>FeSb<sub>6</sub>S<sub>14</sub></b> <b>sulfiden</b> <b>(sulfozouten)</b>  <b>5</b>	staalgrijs donkergrijs	<u>grijszwart</u>  metaalglans	<b>2,5</b>  5,5 - 6	bros  duidelijke splijting  -	MONOKLIEN  meestal naaldvormig, haarvormig  ook massief  langvezelig, parallel, radiaalstralig, in bundels	galeniet stibniet tetraëdriet sferiet
---	---------------------------	--------------------------------------	---------------------------	---	--	--

<b>CHALCOSIET</b> <b>Cu<sub>2</sub>S</b> <b>sulfiden</b>  <b>6</b>	<u>donkerloodgrijs</u>  loopt matzwart aan	donkergrijs  metaalglans	<b>2,5 - 3</b>  5,5 - 5,8	snijdbaar (niet duidelijk)  onduidelijke splijting  conchoïdaal	MONOKLIEN  XX zeldzaam; meestal kleine zeshoekige tafelige XX  massief met conchoïdale breuk, fijnkorrelig	<u>kopermineralen:</u>  borniet chalcopyriet energiet  pyriet galeniet
--	--	--------------------------------	---------------------------------	---	--	---



METAALGLANS	KLEUR: WIT, GRIJS, GRIJSZWART	gerangschikt naar toenemende hardheid en dichtheid
-------------	-------------------------------	--

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>BOURNONIET</b>  <b>PbCuSbS<sub>3</sub></b>  sulfiden (sulfozouten)  7	staalgrijs tot zwart	grijs  metaalglans	<b>2,5 - 3</b>  <u>5,7 - 5,9</u>	brs  onduidelijke splijting  subconchoïdaal tot oneffen	ORTHOROMBISCH  kortprismatisch, tafelig <u>typische tweelingen</u> (kruisvormig, tandwielvormig)  massief, korrelig	galeniet tetraëdriet chalcopyriet saleriet pyriet sideriet kwarts bariet
---	----------------------	--------------------------	--	---	--	---

<b>GALENIET</b>  <b>PbS</b>  sulfiden  8	loodgrijs	<u>grijszwart tot loodgrijs</u>  metaalglans	<b>2,5 - 3</b>  <u>7,2 - 7,6</u>	brs  <u>perfecte splijting</u>  -	KUBISCH  XX duidelijk, meestal kubus en octaëder  massief, grof- tot fijnkorrelig	saleriet pyriet marcasiet chalcopyriet dolomiet calciet kwarts bariet fluoriet cerussiet
--	-----------	--	--	---	---	---

<b>ZILVER</b>  <b>Ag</b>  elementen  9	zilverwit  loopt meestal aan tot grijszwart en bruin	zilverwit  metaalglans	<b>2,5 - 3</b>  <u>10,5</u>	<u>smeedbaar</u>  geen splijting  metaalbreuk (hakend)	KUBISCH  XX zeldzaam (meestal misvormd) als lange vervormde draden  massief (onregelmatig gevormde massa's), korsten, plaatjes  dendrietische- en bladvormige aggregaten, of in netwerken	pyriet bariet kwarts fluoriet calciet
--	---	------------------------------	-----------------------------------	---	--	---

METAALGLANS	KLEUR: WIT, GRIJS, GRIJSZWART	gerangschikt naar toenemende hardheid en dichtheid
-------------	-------------------------------	--

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>ENARGIET</b> <b>Cu<sub>2</sub>AsS<sub>4</sub></b> <b>sulfiden</b> <b>(sulfozouten)</b>  <b>10</b>	<u>grijszwart</u> <u>ijerzwart</u>	grijszwart  metaalglans	<b>3</b>  4,4 - 4,5	broos  <u>perfecte splijting</u>  oneffen	ORTHOROMBISCH  tafelig, prismatisch <u>striaties evenwijdig met de lengterichting</u>  meestal massief, fijnkorrelig  straalvormige aggregaten	chalcosiet borniet covelliet pyriet sfleriet galeniet
---	---------------------------------------	-------------------------------	---------------------------	---	---	--

<b>ARSEEN</b> <b>As</b> <b>elementen</b>  <b>11</b>	<u>tinwit</u> <u>loodgrijs</u>  loopt aan naar mat grijszwart	grijs zwart  metaalglans	<b>3,5</b>  5,6 – 5,8	broos  perfect, maar zelden waarneembaar  oneffen fijnkorrelig	TRIGONAAL  XX zeldzaam kubusachtige (eigenlijk romboëdrische) XX  meestal massief <u>schaalvormig</u> (breekt in schillen), <u>botryoïdaal, niervormig, korsten of korrelige massa's</u>	sfleriet chalcopyriet realgar auripigment calciet
---	---	-----------------------------------	-----------------------------	---	--	---

<b>MANGANIET</b> <b>MnO(OH)</b> <b>oxiden</b> <b>(hydroxiden)</b>  <b>12</b>	<u>staalgrijs</u> <u>ijerzwart</u>  (vers breukvlak bruinzwart)	<u>zwart, donkerbruin</u> <u>tot roodbruin</u>  metaalglans	<b>4</b>  4,2 - 4,4	broos  <u>perfecte splijting</u>  oneffen	MONOKLIEN (pseudo-orthorombisch)  <u>lang- tot kortprismatisch, dikwijls gestriëerd in de</u> <u>lengterichting</u>  kolomachtig tot grofvezelig, radiaalstralig	bariet calciet sideriet pyrolusiet limoniet
---	---	--	---------------------------	---	---	---

METAALGLANS		KLEUR: WIT, GRIJS, GRIJSZWART			gerangschikt naar toenemende hardheid en dichtheid	
NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
<b>TETRAËDRIET TENNANTIET</b>  $(\text{Cu}, \text{Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ $(\text{Cu}, \text{Fe})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$  <b>sulfiden</b> <b>(sulfozouten)</b>  <b>13</b>	grijszwart tot zwart	zwart tot bruin  metaalglans	<b>3,5 - 4,5</b>  4,4 - 5,1	broos  geen splijting  subconchoïdaal tot oneffen	KUBISCH  idiomorfe XX, <u>tetraëders</u>  massief, korrelig	chalcopyriet galeniet pyriet sflaleriet borniet
<b>CUPRIET</b>  $\text{Cu}_2\text{O}$  <b>oxiden</b>  <b>14</b>	<u>roodachtig grijs</u>	<u>bruinrood</u>  <u>metaalglans</u>	<b>3,5 - 4</b>  5,8 - 6,1	broos  onduidelijke splijting  conchoïdaal oneffen	KUBISCH  massief, korrelig	<u>kopermineralen:</u> koper malachiet azuriet chalcosiet chrysocolla  <u>limoniet</u>
<b>ARSENOPIYRIET</b>  $\text{FeAsS}$  <b>sulfiden</b>  <b>15</b>	zilverwit tinwit lichtstaalgrijs	zwart grijszwart  metaalglans	<b>5,5 - 6</b>  5,9 - 6,2	broos  splijting niet altijd duidelijk  conchoïdaal tot oneffen	MONOKLIEN ( <u>pseudo orthorombisch</u> )  kort- tot lang-prismatisch, naaldvormig  dikwijls massief, korrelig  XX soms vergroeid maar ook soms verspreid in het gesteente	galeniet sflaleriet pyriet chalcopyriet

METAALGLANS	KLEUR: WIT, GRIJS, GRIJSZWART	gerangschikt naar toenemende hardheid en dichtheid
-------------	-------------------------------	--

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>SKUTTERUDIET</b> <b>CoAs<sub>2,3</sub></b> <b>sulfiden</b>  <b>16</b>	tinwit lichtstaalgrijs zilvergrijs	grijszwart zwart  metaalglans	<b>5,5 - 6</b>  6,4 - 6,9	broos  geen splijting  conchoïdaal tot oneffen	KUBISCH  XX kubus en octaëder  meestal massief compact tot korrelig	nikkelien zilver arsenopyriet calciet
--	--	--	---------------------------------	---	---	--

<b>HEMATIET</b> <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> <b>oxiden</b>  <b>17</b>	staalgrijs tot ijzerzwart  (soms met aanloopkleuren)	<u>rood</u> <u>roodbruin</u> zwart  metaalglans	<b>5,5 - 6,5</b>  4,9 - 5,3	broos  geen splijting  conchoïdaal oneffen	TRIGONAAL  dikwijls idiomorfe XX dun- tot diktafelig lensvormig, zuilvormig  massief, grof tot fijnkorrelig  bladerig, schubbig, in rozetten (ijzerroos)	magnetiet kwarts
---	--	---	-----------------------------------	---	---	---------------------

<b>RUTIEL</b> <b>TiO<sub>2</sub></b> <b>oxiden</b>  <b>18</b>	loodgrijs ( <u>roodachtig</u> )	lichtbruin bruingeel  metaalglans halfmetaalglans	<b>6 - 6,5</b>  4,2 - 5,6	broos  duidelijke splijting  subconchoïdaal oneffen	TETRAGONAAL  naaldvormig, prismatisch (prismatische XX vertonen dikwijls striaties in de lengterichting) soms een <u>netwerk vqn vertweelingde naaldvormige</u> <u>XX</u> (sageniet)  massief, korrelig	kwarts mica hematiet
---	------------------------------------	---	---------------------------------	--	--	----------------------------

METAALGLANS		KLEUR: ZWART			gerangschikt naar toenemende hardheid en dichtheid	
NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
<b>PYROLUSIET</b>  <b>MnO<sub>2</sub></b>  <b>oxiden</b>         <b>19</b>	ijzerzwart donkergrijs  (het mineraal geeft zwart af)	<u>zwart: geeft zwart af op papier</u>  metaalglans	<b>1</b>  4,7	broos aardchtig  perfect, maar meestal niet waarneembaar  splinterig oneffen	TETRAGONAAL  XX zijn zeldzaam, microkristallijn  meestal korrelig, massief, botryoïdaal, <u>vezelig</u> , dendrietisch, <u>aardchtig</u>	manganiet kwarts hematiet goethiet limoniet
<b>GRAFIET</b>  <b>C</b>  <b>elementen</b>         <b>20</b>	donkergrijs zwart	grijs zwart  metaalglans	<b>1 - 2</b>  2,1 – 2,3	flexibel <u>voelt vet aan</u>  perfect	HEXAGONAAL  zeshoekige tafelige XX, <u>geïsoleerde kristallen zijn dunne plaatjes</u>  <u>bladerige massa's</u> , radiaalstralig, korrelig	veldspaat kaoliniet rutiel pyriet mica toermalijn spinel pyroxeen
<b>CHALCOSIET</b>  <b>Cu<sub>2</sub>S</b>  <b>sulfiden</b>         <b>21</b>	<u>grijszwart tot donkerloodgrijs</u>  loopt matzwart aan	donkergrijs  metaalglans	<b>2,5 - 3</b>  5,5 - 5,8	snijdbaar (niet duidelijk)  onduidelijke splijting  conchoïdaal	MONOKLIEN  XX zeldzaam; meestal kleine zeshoekige tafelige XX  massief met conchoïdale breuk, fijnkorrelig	<u>kopermineralen:</u>  borniet chalcopyriet energiet  pyriet galeniet

METAALGLANS	KLEUR: ZWART	gerangschikt naar toenemende hardheid en dichtheid
-------------	--------------	--

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>BOURNONIET</b> <b>PbCuSbS<sub>3</sub></b> <b>sulfiden</b> <b>(sulfozouten)</b>  22	ijzerzwart tot staalgrijs	grijs  metaalglans	<b>2,5 - 3</b>  5,7 - 5,9	bros  onduidelijke splijting  subconchoïdaal tot oneffen	ORTHOROMBISCH  kortprismatisch, tafelig, <u>typische tweelingen</u> (kruisvormig of tandwielvormig)  massief, korrelig	galeniet tetraëdriet chalcopyriet sfleriet pyriet sideriet kwarts bariet
--	------------------------------	--------------------------	---------------------------------	--	---	---

<b>ENARGIET</b> <b>Cu<sub>3</sub>As<sub>4</sub></b> <b>sulfiden</b> <b>(sulfozouten)</b>  23	<u>grijszwart</u> <u>ijzerzwart</u>	grijszwart zwart  metaalglans	<b>3</b>  4,4 - 4,5	bros  <u>perfecte splijting</u>  oneffen	ORTHOROMBISCH  tafelig, prismatisch <u>striaties evenwijdig met de lengterichting</u>  meestal massief, fijnkorrelig  straalvormige aggregaten	chalcosiet borniet covelliet pyriet sfleriet galeniet
---	--	--	---------------------------	--	---	--

<b>SFLERIET</b> <b>(Zn,Fe)S</b> <b>sulfiden</b>  24	zwart	bruinzwart  metaalglans halfmetaalglans	<b>3,5 - 4</b>  3,9 - 4,1	zeer bros  <u>perfecte splijting</u>  conchoïdaal	KUBISCH  tetraëder, dodecaëder (XX dikwijls vervormd)  massief (splijtbaar) grof- tot fijnkorrelig	<u>galeniet</u> marcasiet chalcopyriet calciet dolomiet pyrrhotiet <u>pyriet</u> magnetiet
---	-------	--	---------------------------------	---	---	---

METAALGLANS		KLEUR: ZWART			gerangschikt naar toenemende hardheid en dichtheid		
NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES	
<b>MANGANIET</b>  <b>MnO(OH)</b>  oxiden (hydroxiden)  25	staalgris ijerzwart  (vers breukvlak bruinzwart)	zwart, <u>donkerbruin</u> tot <u>roodbruin</u>  metaalglans	<b>4</b>  4,2 - 4,4	bros  perfecte splijting  oneffen	MONOKLIEN (pseudo-orthorombisch)  <u>lang- tot kortprismatisch, dikwijls gestreefd in de</u> <u>lengterichting</u>  kolomachtig tot grofvezelig, radiaalstraalig	bariet calciet sideriet pyrolusiet limoniet	
<b>TETRAËDRIET TENNANTIET</b>  <b>(Cu,Fe)<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub></b> <b>(Cu,Fe)<sub>12</sub>As<sub>4</sub>S<sub>13</sub></b>  sulfiden (sulfozouten)  26	grijszwart tot zwart	grijszwart tot zwart  metaalglans	<b>3,5 - 4,5</b>  4,4 - 5,1	bros  geen splijting  subconchoïdaal tot oneffen	KUBISCH  idiomorfe XX <u>tetraëders</u>  massief, korrelig	chalcopyriet galeniet pyriet sfaleriet borniet	
<b>WOLFRAMIET</b>  <b>(Fe,Mn)WO<sub>4</sub></b>  sulfaten (wolframaten)  27	<u>ijerzwart tot</u> <u>pekzwart tot</u> donkerbruin	zwart tot bruin  metaalglans	<b>4 - 4,5</b>  <u>7.1 - 7.5</u>	bros  <u>perfecte splijting</u>  oneffen	MONOKLIEN  XX dikwijls idiomorf, diktafelig, prismatisch, naaldvormig  massief, korrelig  bladerig, kolomvormige of lamellaire aggregaten	cassiteriet scheeliet kwarts pyriet galeniet sfaleriet arsenopyriet	

METAALGLANS	KLEUR: ZWART	gerangschikt naar toenemende hardheid en dichtheid
-------------	--------------	--

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>ANATAAS</b> <b>TiO<sub>2</sub></b> <b>oxiden</b>  <b>28</b>	zwart blauwzwart	wit geelwit  metaalglans halfmetaalglans	<b>5,5 - 6</b>  3,8 - 4,0	bros  perfecte splijting  subconchoïdaal	TETRAGONAAL  meestal in <u>kleine XX, spitse dipiramiden of tafelig, ook pseudo-octaëdrisch</u>	rutiel kwarts adulaar albiet calciet
--	---------------------	--	---------------------------------	--	---	--

<b>CHROMIET</b> <b>Fe<sup>2+</sup>Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub></b> <b>oxiden</b>  <b>29</b>	ijzerzwart bruinzwart	donkerbruin  metaalglans	<b>5,5</b>  4,2 - 5,1	bros  geen splijting  oneffen	KUBISCH  XX zeldzaam (kleine octaëders, meestal afgerond) meestal korrelig, massief	olivijn serpentine korund <u>uvaroviet</u> <u>chloriet</u> diopsiet
--	--------------------------	--------------------------------	-----------------------------	---	--	--

<b>ILMENIET</b> <b>Fe<sup>2+</sup>TiO<sub>3</sub></b> <b>oxiden</b>  <b>30</b>	ijzerzwart bruinzwart	<u>zwart</u> <u>bruin tot geel</u>  metaalglans tot halfmetaalglans	<b>5 - 6</b>  4 - 4,8	bros  geen splijting  conchoïdaal subconchoïdaal	TRIGONAAL  XX diktafelig en in dunne plaatjes meestal massief, korrelig, losse korrels	kwarts rutiel zirkoon monaziet
--	--------------------------	---	-----------------------------	---	---	---



METAALGLANS		KLEUR: ZWART			gerangschikt naar toenemende hardheid en dichtheid		
NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES	
<b>MAGNETIET</b> $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$ oxiden  31	ijzerzwart	<u>zwart</u>  metaalglans	<b>6</b>  4,9 -5,2	bros  geen splijting  subconchoïdaal oneffen	KUBISCH  XX dikwijls idiomorf; octaëders XX kunnen soms vergroeid zijn  massief, grof- tot fijnkorrelig  ( <u>magnetisch</u> )	mica sfaleriet chalcopyriet pyrrhotiet pyriet apatiet granaat diopsiet epidoot hematiet	
<b>HEMATIET</b> $\text{Fe}_2\text{O}_3$ oxiden  32	ijzerzwart tot staalgrijs  (soms met aanloopkleuren)	<u>rood</u> <u>roodbruin</u> zwart  metaalglans	<b>5,5 - 6,5</b>  4,9 - 5,3	bros  geen splijting  conchoïdaal oneffen	TRIGONAAL  dikwijls idiomorfe XX dun- tot diktafelig lensvormig, zuilvormig  massief, grof tot fijnkorrelig  bladerig, schubbig, in rozetten (ijzerroos)	magnetiet kwarts	
<b>RUTIEL</b> $\text{TiO}_2$ oxiden  33	ijzerzwart	lichtbruin geelgrijs  metaalglans	<b>6 - 6,5</b>  4,2 - 5,6	bros  duidelijke splijting  subconchoïdaal oneffen	TETRAGONAAL  naaldvormig, prismatisch (prismatische XX vertonen dikwijls striaties in de lengterichting) soms een <u>netwerk van vertweelinge naaldvormige            XX</u> (sageniet)  massief, korrelig	kwarts mica hematiet	

METAALGLANS	KLEUR: ZWART	gerangschikt naar toenemende hardheid en dichtheid
-------------	--------------	--

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>CASSITERIET</b>  <b>SnO<sub>2</sub></b>  <b>oxiden</b>          <b>34</b>	ijzerzwart bruinzwart	<u>meestal bijna wit</u> <u>maar ook lichtgeel</u> <u>tot lichtbruin</u>  metaalglans enkel op kristalvlakken halfmetaalglans <u>diamantglans</u> vetglans	<b>6 - 7</b>          <u>6,8 - 7,1</u>	bros          onduidelijke splijting          subconchoïdaal oneffen	<b>TETRAGONAAL</b>  soms in idiomorfe XX, lang- tot kortzuilig  meestal massief, korrelig, als fijne tot grove korrels in gesteente, als afgeronde korrels botryoïdaal, niervormig, geband, vezelig	kwarts toermalijn topaas fluoriet apatiet wolframiet molybdeniet arsenopyriet
--	--------------------------	--	--	--	---	--

METAALGLANS	KLEUR: GEEL	gerangschikt naar toenemende hardheid en dichtheid
-------------	-------------	--

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>GOUD</b>  <b>Au</b>  <b>elementen</b>          <b>35</b>	goudgeel  (lichter van kleur bij toenemend zilver- gehalte)	goudgeel  metaalglans	<u>2,5 - 3</u>          19,3	<u>smeedbaar</u>          geen splijting          metaalbreuk	<b>KUBISCH</b>  goed gevormde XX zijn eerder zeldzaam, indien in XX, dan meestal sterk vervormd  meestal in onregelmatige massa's (nuggets), korrels, plaatjes  dendrietisch, bladvormig	kwarts pyriet sfaleriet arsenopyriet chalcopyriet
---	---	-----------------------------	--	---	--	---

METAALGLANS		KLEUR: GEEL			gerangschikt naar toenemende hardheid en dichtheid		
NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES	
<b>BORNIET</b> $\text{Cu}_2\text{FeS}_4$ sulfiden  36	<u>bronsgeel tot koperrood</u>  <u>purpere en blauwe aanloopkleuren</u> na verloop van tijd zelfs zwart	grijszwart  metaalglans	<b>3</b>  4,9 - 5,3	bros tot stevig  onduidelijke splijting  conchoïdaal oneffen	KUBISCH  XX zeldzaam  meestal massief, compact tot korrelig in knollen, in plaatjes, als overkorsting	chalcosiet chalcopyriet covelliet pyrrhotiet pyriet	
<b>MILLERIET</b>  NIS sulfiden  37	messagingeel	zwart tot groenig zwart  metaalglans	<b>3 - 3,5</b>  5,3 - 5,6	bros  perfect, maar zelden waarneembaar  oneffen	TRIGONAAL  naaldvormige tot <u>haarvormige XX</u>  soms massief tot korrelig	calciet dolomiet fluoriet hematiet	
<b>CHALCOPYRIET</b> $\text{CuFeS}_2$ sulfiden  38	<u>messagingeel</u> <u>goudkleurig</u>  door aanloopkleuren: rood, blauw	<u>groenzwart</u> tot zwart  metaalglans	<b>3,5 - 4</b>  4,1 - 4,3	bros  onduidelijke splijting  oneffen	TETRAGONAAL  goed gevormde kristallen zijn niet zo frequent de sferoïdale XX lijken dikwijls op een tetraëder, de XL-vlakken zijn dikwijls oneffen en vertonen vaak briljante aanloopkleuren  meestal massief	pyriet pyrrhotiet sfaleriet galeniet kwarts sideriet dolomiet fluoriet bariet	

METAALGLANS	KLEUR: GEEL	gerangschikt naar toenemende hardheid en dichtheid
-------------	-------------	--

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>PYRRHOTIET</b> <b>Fe<sub>1-x</sub>S</b> (x = 0 - 0,2) <b>sulfiden</b>  39	<u>bronsgeel</u> <u>ietwat bruinachtig</u>	grijszwart  metaalglans	<b>4</b>  4,6 - 4,8	bros  geen splijting  conchoïdaal oneffen	MONOKLIEN of HEXAGONAAL  XX meestal tafelig, in dunne hexagonale plaatjes  massief, grof- tot fijnkorrelig  grofbladerig  <u>licht magnetisch</u>	pyriet chalcopyriet sferiet galeniet
---	---	-------------------------------	---------------------------	--	---	---

<b>MARCASJET</b> <b>FeS<sub>2</sub></b> <b>sulfiden</b>  40	licht messinggeel met eventueel een grijzige of groenige tint  <u>op een vers</u> <u>breukvlak zeer licht</u> <u>van kleur</u> (loopt geel tot bruin aan)	grijszwart zwart  metaalglans	<b>6 - 6,5</b>  4,9	bros  onduidelijke splijting  oneffen	ORTHOROMBISCH  <u>XX tafelig, soms naaldvormig</u>  <u>hanekamachtige aggregaten</u> , radiaalstralig, als concreties, knollen, kogelig, stalactietisch	sferiet galeniet pyriet
---	--	--	---------------------------	--	--	-------------------------------

<b>PYRIET</b> <b>FeS<sub>2</sub></b> <b>sulfiden</b>  41	licht messinggeel goudgeel  soms bonte aanloopkleuren,  soms limoniet verweringslaag (bruine kleur)	groenzwart bruinzwart zwart  metaalglans	<b>6 - 6,5</b>  5,0 - 5,2	bros  onduidelijke splijting  conchoïdaal	KUBISCH  XX frequent: <u>kubussen</u> (dikwijls met gestreepte vlakken), pentagondodecaëders, octaëders  massief, korrelig  radiaalstralig, knollen, stalactietisch	sferiet galeniet chalcopyriet pyrrhotiet
--	---	--	---------------------------------	--	--	---

METAALGLANS		KLEUR: ROOD			gerangschikt naar toenemende hardheid en dichtheid		
NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES	
<b>KOPER</b>  Cu  elementen  42	<u>op een vers breukvlak is de kleur licht rose</u> maar verandert snel in <u>koperrood</u> en dan bruin (met verlies van de metaalglans)	koperrood metallisch glanzend  metaalglans (op een vers oppervlak!)	<b>2,5 - 3</b>  <u>8,5 - 8,9</u>	smeedbaar  geen splijting  metaalbreuk (hakend)	KUBISCH  XX (kubussen en dodecaëders) zijn zeldzaam en meestal misvormd  meestal in onregelmatige (dikwijls hakende) massa's  boomvormig, dendrietisch, plaatvormig en draadvormig	cupriet malachiet azuriet epidoot calciet zeolieten	
<b>BORNIET</b>  Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>  sulfiden  43	<u>koperrood tot bronskleurig op vers breukvlak</u>  <u>purpere en blauwe aanloopkleuren</u> na verloop van tijd zelfs zwart	grijszwart  metaalglans	<b>3</b>  4,9 - 5,3	bros tot stevig  onduidelijke splijting  conchoïdaal oneffen	KUBISCH  XX zeldzaam  meestal massief, compact tot korrelig in knollen, in plaatjes	chalcosiet chalcopyriet covelliet pyrrhotiet pyriet	
<b>NIKKELIEN</b>  NiAs  sulfiden  44	<u>licht koperrood</u>  grijs tot zwart aanlopend	bruinzwart  metaalglans	<b>5 - 5,5</b>  7,5 - 7,8	bros  geen splijting  conchoïdaal oneffen	HEXAGONAAL  XX zeldzaam  massief, korrelig	pyrrhotiet chalcopyriet zilver	

METAALGLANS	KLEUR: BLAUW	gerangschikt naar toenemende hardheid en dichtheid
-------------	--------------	--

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>COVELLIET</b>  <b>CuS</b>  <b>sulfiden</b>       <b>45</b>	indigoblaauw donkerblauw tot blauwzwart	indigoblaauw loodgrijs tot zwart  metaalglans	<b>1,5 - 2</b>   4,6 - 4,8	plaatjes zijn buigzaam  <u>perfecte splijting</u> <u>(levert flexibele</u> <u>plaatjes)</u>  -	HEXAGONAAL  XX zeldzaam (tafelige tot bladerige XX)  massief, fijnkorrelig, bladerig, als overkorsting	chalcosiet chalcopyriet borniet energiet
--	---	--	-------------------------------------	---	---	---

<b>ANATAAS</b>  <b>TiO<sub>2</sub></b>  <b>oxiden</b>       <b>46</b>	donkerblauw tot blauwzwart	wit geelwit  metaalglans halfmetaalglans	<b>5,5 - 6</b>   3,8 - 4,0	bros   perfecte splijting   subconchoïdaal	TETRAGONAAL  <u>meestal in kleine XX, spitse dipiramiden of tafelig,</u> <u>ook pseudo-octaëdrisch</u>	rutiel kwarts adulaar albiet calciet
--	-------------------------------	--	-------------------------------------	--	---	--

## MINERALEN MET EEN GEKLEURDE STREEP

Deze mineralen zijn gerangschikt naar streepkleur  
en verder naar toenemende hardheid

<b>streepkleur</b>	<b>tabelnummers</b>
rood	47 - 51
geel	52 - 65
bruin	66 - 76
zwart	77 - 81
blauw	82 - 86
groen	87 - 95

kan men het mineraal in dit gedeelte van de tabel niet terugvinden,  
en heeft het een halfmetaalglans, dan kan men op bladzijde 263  
proberen, heeft het geen metaalglans maar een zwak gekleurde of  
onduidelijke streep dan probeert men op bladzijde 299

NIET-METAAL- & HALFMETAALGLANS, GEKLEURDE STREEP	STREEPKLEUR: ROOD	gerangschikt naar toenemende hardheid
---	-------------------	---------------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>BAUXIET</b> mengsel van $\text{AlO}(\text{OH})$ en $\text{Al}(\text{OH})_3$ oxiden (hydroxiden)  47	dieprood tot roodbruin	rood roodbruin  mat	<b>aardachtig</b> (1 - 3)  2 - 2,5	aardachtig  -  aardachtig	-  geen XX (cryptokristallijn)  korrelig, vast tot aardachtig	verwerings- product van aluminium- houdende gesteenten
--	---------------------------	------------------------------	---	---------------------------------------	---	--

<b>ERYTHRIEN</b> $\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ arsenaten  48	<u>blauwachtig rose</u> <u>tot donker fram-</u> <u>bozenrood,</u> <u>donkerrose</u>	rood  glasglans parelmoerglans	<b>1,5 - 2,5</b>  2,9 - 3,1	brs  perfecte splijting  -	MONOKLIEN  prismatische XX (met striaties in de lengterichting), meestal naaldvormige tot haarvormige XX  als beslag, aardachtig  XX soms in bundels of radiaalstralig, meestal als opvulling van scheuren	verwerings- product van cobalt arseniden  malachiet
--	--	---	-----------------------------------	--	--	---

<b>CINNABER</b> $\text{HgS}$ sulfiden  49	<u>rood tot bruinrood,</u> <u>steenrood,</u> roodgrijs tot staalgrijs	<u>rood</u>  XX: diamantglans tot metaalglans  massief: halfmetaalglans tot mat	<b>2 - 2,5</b>  <u>8 - 8,2</u>	brs  perfecte splijting  subconchoïdaal oneffen splinterig	TRIGONAAL  XX eerder zeldzaam  meestal massief, korrelig, aardachtig, verdeeld in gesteente, overkorstingen	pyriet marcasiet stibniet kwarts bariet calciet fluoriet
---	---	--	--------------------------------------	--	--	--



NIET-METAAL & HALFMETAALGLANS, GEKLEURDE STREEP	STREEPKLEUR: ROOD	gerangschikt naar toenemende hardheid
--	-------------------	---------------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>CUPRIET</b>  <b>Cu<sub>2</sub>O</b>  <b>oxiden</b>  <b>50</b>	<u>rood tot bruinrood</u>	<u>bruinrood</u>  <u>halfmetaalglans</u> <u>diamantglans</u>	<b>3,5 - 4</b>  5,8 - 6,1	bros  onduidelijke splijting  conchoïdaal oneffen	<b>KUBISCH</b>  octaëders, dodecaëders, kubussen, soms naald- tot haarvormig  massief, korrelig	<u>kopermineralen:</u>  koper malachiet azuriet chalcosiet chrysocolla  <u>limoniet</u>
--	---------------------------	---	---------------------------------	---	--	---

<b>HEMATIET</b>  <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>  <b>oxiden</b>  <b>51</b>	donkerrood tot staalgrijs, roodbruin  (soms met aanloopkleuren)	<u>dieprood tot</u> <u>bruinrood,</u> <u>roodbruin</u>  halfmetaalglans tot mat	<b>5,5 - 6,5</b>  4,9 - 5,3	bros of aardchtig  geen splijting	<b>TRIGONAAL</b>  microkristallijn  massief, fijn- tot heel fijnkorrelig aardchtig, poederachtig, okerachtig  schubbig, fijnvezelig, botryoïdaal	
---	---	--	-----------------------------------	--	---	--

NIET-METAAL & HALFMETAALGLANS, GEKLEURDE STREEP	STREEPKLEUR: GEEL	gerangschikt naar toenemende hardheid
--	-------------------	---------------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>LIMONIET (GOETHIET)</b>  <b>FeO(OH).nH<sub>2</sub>O</b>  oxiden (hydroxiden)  52	<u>geel tot geelbruin</u>	geel tot geelbruin  mat	<b>aardachtig</b>  -	<u>aardachtig</u>  -  -	AMORF tot cryptokristallijn  aardachtig, als korstjes  Limoniet is een verzamelnaam voor niet eenvoudig te determineren waterhoudende ijzeroxiden en ijzerhydroxiden	verwerings- product van ijzerhoudende mineralen
--	---------------------------	-------------------------------	----------------------------	-------------------------------------	--	--

<b>BAUXIET</b>  <b>mengsel van AlO(OH) en Al(OH)<sub>3</sub></b>  oxiden (hydroxiden)  53	lichtgeel tot bruingeel	geel  mat	<b>aardachtig</b> (1 - 3)	<u>aardachtig</u>  -  aardachtig	-  geen XX (cryptokristallijn)  aardachtig, korrelig	verwerings- product van aluminium- houdende gesteenten
--	----------------------------	-----------------	------------------------------	--	--	--

<b>AURIPIGMENT</b>  <b>As<sub>2</sub>S<sub>3</sub></b>  sulfiden  54	<u>citroengeel tot oranjegeel</u>	citroengeel tot oranjegeel  vetglans harsglans  op splijtvlak: parelmoerglans	<b>1,5 - 2</b>  3,4 - 3,5	snijdbaar (dunne blaadjes buigzaam)  <u>perfecte splijting</u>  -	MONOKLIEN  XX tafelig of kortprismatisch (zelden duidelijk)  aardachtig, korrelig, als beslag  <u>bladerig</u> , grofbladerig, radiaalstralig, kogelig	<u>realgar</u> <u>stibniet</u>
--	---------------------------------------	--	---------------------------------	---	--	-----------------------------------

NIET-METAAL & HALFMETAALGLANS, GEKLEURDE STREEP	STREEPKLEUR: GEEL	gerangschikt naar toenemende hardheid
--	-------------------	---------------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>REALGAR</b> <b>AsS</b> <b>sulfiden</b>  <b>55</b>	hevig rood roodoranje	oranjegeel  harsglans vetglans	1,5 - 2  3,5 - 3,6	bros  perfecte splijting  subconchoïdaal splinterig	MONOKLIEN  prismatische XX, kortprismatisch met striaties in de lengterichting  massief, grof- tot fijnkorrelig, aardachtig, als overkorsting	auripigment stibniet
--	--------------------------	---	--------------------------	--	---	-------------------------

<b>ZWAVEL</b> <b>S</b> <b>elementen</b>  <b>56</b>	lichtgeel	geel tot wit  diamantglans harsglans vetglans	<b>1,5 - 2,5</b>  2,0 - 2,1	zeer bros  onduidelijke splijting  conchoïdaal oneffen	ORTHOROMBISCH  XX piramidaal  massief (dikwijls als onregelmatige massa's), korrelig, stalactietisch, aardachtig	calciet gips celestien aragoniet
--	-----------	---	-----------------------------------	--	---	---

<b>AUTUNIET</b> <b>Ca(UO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub></b> <b>10-12H<sub>2</sub>O</b> <b>fosfaten</b>  <b>57</b>	zwavelgeel citroengeel groengeel   sterke groene fluorescentie	geel  parelmoerglans glasglans	<b>2 - 2,5</b>  3,1 - 3,2	bros  perfecte splijting  -	TETRAGONAAL  dun- tot diktafelig (tetragonale plaatjes) XX in groepjes of afzonderlijk  aardachtig, massief, als overkorstingen  bladerig, schubbig	andere secundaire uranium- mineralen
--	--	---	---------------------------------	---	--	---

NIET-METAAL- & HALFMETAALGLANS, GEKLEURDE STREEP	STREEPKLEUR: GEEL	gerangschikt naar toenemende hardheid
---	-------------------	---------------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>CROCOIET</b>  <b>PbCrO<sub>4</sub></b>  <b>sulfaten (chromaten)</b>  58	<u>hevig</u> <u>geelachtigrood,</u> <u>oranje</u>	oranjegeel  diamantglans vetglans	<b>2,5 - 3</b>  5,9 - 6,1	broos  (on)duidelijke splijting  oneffen	MONOKLIEN  <u>langprismatisch</u> , prismatische XX met striaties in de lengterichting, zuilvormig, naaldvormig  massief	galeniet cerussiet mimetesiet pyromorfiet wulfeniet
--	---	--	---------------------------------	---	---	---

<b>VANADINIET</b>  <b>Pb<sub>5</sub>(VO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>Cl</b>  <b>vanadaten</b>  59	roodbruin oranjerood oranje lichtbruin lichtgeel dieprood	lichtgeel roodgeel  vetglans diamantglans	<b>3</b>  6,5 - 7,1	broos  geen splijting  conchoïdaal oneffen	HEXAGONAAL  <u>prismatisch, zuil- tot tonvormig</u>  globulair, niervormig, stengelig tot vezelig, als korsten	descloiziet wulfeniet pyromorfiet
--	--	---	---------------------------	---	--	---

<b>SFALERIET</b>  <b>(Zn,Fe)S</b>  <b>sulfiden</b>  60	honinggeel bruingeel	lichtgeel tot bruingeel  halfmetaalglans diamantglans <u>vetglans</u> <u>harsglans</u>	<b>3,5 - 4</b>  3,9 - 4,1	zeer broos  <u>perfecte splijting</u>  conchoïdaal	KUBISCH  tetraëder, dodecaëder (XX dikwijls vervormd)  massief (splijtbaar) grof- tot fijnkorrelig	<u>galeniet</u> marcasiet chalcopyriet calciet dolomiet pyrrhotiet <u>pyriet</u> magnetiet
--	-------------------------	---	---------------------------------	--	---	---

NIET-METAAL- & HALFMETAALGLANS, GEKLEURDE STREEP	STREEPKLEUR: GEEL	gerangschikt naar toenemende hardheid
---	-------------------	---------------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>GOETHIET</b> <b>LIMONIET</b> (verzamelnaam) <b>FeO(OH)</b> <b>oxiden</b> <b>(hydroxiden)</b>  <b>61</b>	<u>geel</u> <u>geelbruin</u> <u>okergeel</u> bruin zwartbruin	<u>geel tot bruingeel</u>  diamantglans zijdeglans mat	<b>5 - 5,5</b>  3,3 - 4,3	broos  perfecte splijting (niet altijd waarneembaar)	ORTHOROMBISCH  prismatisch, naaldvormig  vezelig, korstvormig, straalvormig, botryoïdaal, oölietisch, stalactietisch, aardachtig	verwerings- product van ijzerhoudende mineralen
--	---	--	---------------------------------	--	---	--

<b>HOORNLENDE</b>  <b>Ca<sub>2</sub>(Fe<sup>2+</sup>,Mg)<sub>4</sub>Al</b> <b>(Si<sub>7</sub>Al)O<sub>22</sub>(OH,F)<sub>2</sub></b>  <b>inosilicaten</b> <b>(amfibolen)</b>  <b>62</b>	bruinzwart tot zwart	grijsgeel  glasglans  (vezelige variëteiten soms zijdeglans)	<b>5 - 6</b>  2,9 - 3,4	broos  <u>perfecte splijting</u> <u>56° - 124°</u>  subconchoïdaal oneffen	MONOKLIEN  <u>prismatisch, zuilvormig</u> tot vezelig  XX soms vergroeid, soms afzonderlijk in gesteente  straalvormig, parallel, korrelig	granaat hedenbergiet epidoot magnetiet sfaleriet chalcopyriet
---	----------------------	---	-------------------------------	--	--	--

<b>BROOKIET</b>  <b>TiO<sub>2</sub></b>  <b>oxiden</b>  <b>63</b>	rood geelrood geelbruin zwart kleurloos	geel geelbruin  diamantglans halfmetaalglans	<b>5,5 - 6</b>  4,1 - 4,2	broos  onduidelijk  subconchoïdaal oneffen	ORTHOROMBISCH  altijd in XX <u>duntafelig tot tafelig</u> en dikwijls met kleurvariatie, zelden prismatisch  geen aggregaten, maar losstaande kristallen op matrix	kwarts adulaar albiet anataas titaniet
---	---	--	---------------------------------	---	---	--

NIET-METAAL- & HALFMETAALGLANS, GEKLEURDE STREEP	STREEPKLEUR: GEEL	gerangschikt naar toenemende hardheid
---	-------------------	---------------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>RUTIEL</b>  <b>TiO<sub>2</sub></b>  <b>oxiden</b>         <b>64</b>	<u>roodachtig grijs</u> <u>grijsrood tot</u> <u>bruinrood</u>	bruingeel tot geel  halfmetaalglans <u>diamantglans</u> vetglans	<b>6 - 6,5</b>  4,2 - 5,6	brs  duidelijke splijting  subconchoïdaal oneffen	TETRAGONAAL  prismatisch (prismatische XX vertonen dikwijls striaties in de lengterichting) <u>naaldvormig tot zuilvormig</u>  massief, korrelig	kwarts mica hematiet
---	---	--	---------------------------------	--	--	----------------------------

<b>CASSITERIET</b>  <b>SnO<sub>2</sub></b>  <b>oxiden</b>         <b>65</b>	geel tot bruin roodbruin tot zwart	<u>bruingeel tot geel</u>  halfmetaalglans <u>diamantglans</u> vetglans mat	<b>6 - 7</b>  <u>6,8 - 7,1</u>	brs  onduidelijke splijting  subconchoïdaal oneffen	TETRAGONAAL  soms in idiomorfe XX, lang- tot kortzuilig  meestal massief, korrelig, als fijne tot grove korrels in gesteente, als afgeronde korrels  botryoïdaal, niervormig, geband, vezelig	kwarts toermalijn topaas fluoriet apatiet wolframiet molybdeniet arsenopyriet
--	---------------------------------------	--	--------------------------------------	---	--	--

NIET-METAAL- & HALFMETAALGLANS, GEKLEURDE STREEP	STREEPKLEUR: BRUIN	gerangschikt naar toenemende hardheid
---	--------------------	---------------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>LIMONIET</b> <b>FeO(OH).nH<sub>2</sub>O</b>  oxiden (hydroxiden)  66	geelbruin bruin zwart	geelbruin bruin  mat	<b>aardachtig</b>  -	<u>aardachtig</u>  -  -	AMORF tot cryptokristallijn  aardachtig, als korstjes  Limoniet is een verzamelnaam voor niet eenvoudig te determineren waterhoudende ijzeroxiden en ijzerhydroxiden	verwerings- product van ijzerhoudende mineralen
---	-----------------------------	-------------------------------	----------------------------	-------------------------------------	--	--

<b>BAUXIET</b> <b>mengsel van AlO(OH) en Al(OH)<sub>3</sub></b>  oxiden (hydroxiden)  67	bruin geelbruin roodbruin	bruin  mat	<b>aardachtig</b> ( 1 – 3 )  -	bros <u>aardachtig</u>  -  aardachtig	-  geen XX (cryptokristallijn)  aardachtig, korrelig, kleiachtig	verwerings- product van aluminium- houdende gesteenten
--	---------------------------------	------------------	---	--	--	--

<b>SFALERIET</b> <b>(Zn,Fe)S</b>  sulfiden  68	licht- tot donkerbruin roodbruin	geelbruin licht- tot donkerbruin  halfmetaalglans diamantglans <u>vetglans</u>	<b>3,5 - 4</b>  3,9 - 4,1	bros tot zeer bros  <u>perfecte splijting</u>  conchoïdaal	<b>KUBISCH</b>  tetraëder, dodecaëder (XX dikwijls vervormd)  massief (splijtbaar) grof- tot fijnkorrelig	<u>galeniet</u> marcasiet chalcopyriet calciet dolomiet pyrrhotiet <u>pyriet</u> magnetiet
---	-------------------------------------	---	---------------------------------	---	--	---

NIET-METAAL & HALFMETAALGLANS, GEKLEURDE STREEP	STREEPKLEUR: BRUIN	gerangschikt naar toenemende hardheid
--	--------------------	---------------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>MANGANIET</b> <b>MnO(OH)</b> oxiden (hydroxiden)  69	bruinzwart	<u>donkerbruin tot roodbruin</u>  halfmetaalglans	<b>4</b>  4,2 - 4,4	brs  perfecte splijting  oneffen	MONOKLIEN (pseudo-orthorombisch)  <u>lang- tot kortprismatisch, dikwijls gestreefd in de lengterichting</u> , meestal in XL-groepen  kolomachtig tot grofvezelig, radiaalstraalig	bariet calciet sideriet pyrolusiet limoniet
--	------------	---	---------------------------	--	---	---

<b>WOLFRAMIET</b> <b>(Fe,Mn)WO<sub>4</sub></b> sulfaten (wolframaten)  70	<u>ijzerzwart tot pekzwart</u> tot donkerbruin	zwart tot bruin  halfmetaalglans vetglans diamantglans	<b>4 - 4,5</b>  <u>7,1 - 7,5</u>	brs  <u>perfecte splijting</u>  oneffen	MONOKLIEN  XX dikwijls idiomorf, diktafelig, prismatisch, naaldvormig  massief, korrelig  bladerig, kolomvormige of lamellaire aggregaten	cassiteriet scheeliet kwarts pyriet galeniet sfaleriet arsenopyriet
--	--	--	--	---	---	---

<b>GOETHIET</b> <b>LIMONIET(verzamelnaam)</b> <b>FeO(OH)</b> oxiden (hydroxiden)  71	<u>bruin</u> <u>geelbruin</u> zwartbruin	<u>bruin</u> <u>bruingeel</u>  diamantglans zijdeglans mat	<b>5 - 5,5</b>  3,3 - 4,3	brs  perfecte splijting (niet altijd waarneembaar)  -	ORTHOROMBISCH  prismatisch, naaldvormig  vezelig, korstvormig, straalvormig, botryoïdaal, oëlietisch, stalactietisch, aardachtig	verwerings- product van ijzerhoudende mineralen
--	--	---	---------------------------------	--	--	--



NIET-METAAL- & HALFMETAALGLANS, GEKLEURDE STREEP	STREEPKLEUR: BRUIN	gerangschikt naar toenemende hardheid
---	--------------------	---------------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>CHROMIET</b> $\text{Fe}^{2+}\text{Cr}_2\text{O}_4$ oxiden  72	ijzerzwart bruinzwart	donkerbruin  <u>halfmetaalglans</u> vetglans pekglans	<b>5,5</b>  4,2 - 5,1	bros  geen splijting  oneffen	KUBISCH  XX zeldzaam (kleine octaëders, meestal afgerond)  meestal korrelig, massief	olivijn serpentine korund <u>uvaroviet</u> <u>chloriet</u> diopsiet
--	--------------------------	---	-----------------------------	---	--	--

<b>HOORNLENDE</b> $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+},\text{Mg})_4\text{Al}(\text{Si},\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH},\text{F})_2$ inosilicaten (amfibolen)  73	bruinzwart tot zwart	grijsbruin tot grijsgeel  glasglans  (vezelige variëteiten soms zijdeglans)	<b>5 - 6</b>  2,9 - 3,4	bros  <u>perfecte splijting</u> <u>56° - 124°</u>  subconchoïdaal oneffen	MONOKLIEN  <u>prismatisch, zuilvormig</u> tot vezelig  XX soms vergroeid, soms afzonderlijk in gesteente  straalvormig, parallel, korrelig	granaat hedenbergiet epidoot magnetiet sfaleriet chalcopyriet
--	----------------------	---	-------------------------------	---	--	--

<b>AUGIET</b> $(\text{Ca},\text{Na})(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al},\text{Ti})(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_6$ inosilicaten (pyroxenen)  74	zwart bruinzwart	grijsbruin tot wit  glasglans	<b>5 - 6</b>  3,2 - 3,4	bros  perfecte splijting  oneffen	MONOKLIEN  <u>korprismatisch</u> (in doorsnede, vierkant of achthoekig)  geen aggregaten; <u>afzonderlijke XX in gesteente</u>	in donkere stollings- gesteenten
---	---------------------	--	-------------------------------	---	--	--

NIET-METAAL- & HALFMETAALGLANS, GEKLEURDE STREEP	STREEPKLEUR: BRUIN	gerangschikt naar toenemende hardheid
---	--------------------	---------------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>RUTIEL</b> <b>TiO<sub>2</sub></b> <b>oxiden</b>  <b>75</b>	ijzerzwart	geelbruin  halfmetaalglans	<b>6 - 6,5</b>  4,2 - 5,6	bros  duidelijke splijting  subconchoïdaal oneffen	TETRAGONAAL  prismatisch (prismatische XX vertonen dikwijls striaties in de lengterichting) <u>naaldvormig tot zuilvormig</u> <u>dikwijls netwerk van vertweelingde naaldvormige XX</u>  massief, korrelig	kwarts mica hematiet
---	------------	----------------------------------	---------------------------------	---	--	----------------------------

<b>CASSITERIET</b> <b>SnO<sub>2</sub></b> <b>oxiden</b>  <b>76</b>	ijzerzwart tot zwartbruin roodbruin bruin	bruin  halfmetaalglans <u>diamantglans</u> vetglans mat	<b>6 - 7</b>  <u>6,8 - 7,1</u>	bros  onduidelijke splijting  subconchoïdaal oneffen	TETRAGONAAL  soms in idiomorfe XX, lang- tot kortzuielig  meestal massief, korrelig, als fijne tot grove korrels in gesteente, als afgeronde korrels  botryoïdaal, niervormig, geband, vezelig	kwarts toermalijn topaas fluoriet apatiet wolframiet molybdeniet arsenopyriet
--	--	--	--------------------------------------	--	--	--

NIET-METAAL- & HALFMETAALGLANS, GEKLEURDE STREEP		STREEPKLEUR: ZWART			gerangschikt naar toenemende hardheid	
NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
<b>COVELLIET</b>  <b>CuS</b>  <b>sulfiden</b>      77	<u>blauwzwart tot indigoblaauw</u>	zwart tot loodgrijs  metaalglans halfmetaalglans mat	<b>1,5 - 2</b>  4,6 - 4,8	plaatjes zijn buigzaam  <u>perfecte splijting (levert flexibele plaatjes)</u>  -	HEXAGONAAL  XX zeldzaam (tafelige tot bladerige XX)  massief, fijnkorrelig, bladerig, als overkorsting	chalcosiet chalcopyriet borniet energiet
<b>ENARGIET</b>  <b>Cu<sub>2</sub>AsS<sub>4</sub></b>  <b>sulfiden (sulfozouten)</b>      78	<u>grijszwart ijzerzwart</u>	grijszwart zwart  metaalglans halfmetaalglans	<b>3</b>  4,4 - 4,5	bros  <u>perfecte splijting</u>  oneffen	ORTHOROMBISCH  tafelig, prismatisch <u>striaties evenwijdig met de lengterichting</u>  meestal massief, fijnkorrelig  straalvormige aggregaten	chalcosiet borniet covelliet pyriet sfaleriet galeniet
<b>ARSEEN</b>  <b>As</b>  <b>elementen</b>      79	<u>tinwit loodgrijs</u>  <u>loopt aan naar mat grijszwart</u>	grijs zwart  metaalglans halfmetaalglans	<b>3,5</b>  5,6 - 5,8	bros  perfect, maar zelden waarneembaar  oneffen fijnkorrelig	TRIGONAAL  XX zeldzaam kubusachtige (eigenlijk romboëdrische) XX  meestal massief <u>schaalvormig</u> (breekt in schillen), <u>botryoïdaal, niervormig, korsten of korrelige massa's</u>	sfaleriet chalcopyriet realgar auripigment calciet

NIET-METAAL- & HALFMETAALGLANS, GEKLEURDE STREEP	STREEPKLEUR: ZWART	gerangschikt naar toenemende hardheid
---	--------------------	---------------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>SFALERIET</b>  (Zn,Fe)S  sulfiden  80	zwart	bruinzwart  halfmetaalglans diamantglans	3,5 - 4  3,9 - 4,1	broos tot zeer broos  <u>perfecte splijting</u>  conchoïdaal	KUBISCH  tetraëder, dodecaëder (XX dikwijls vervormd)  massief (splijtbaar) grof- tot fijnkorrelig	<u>galeniet</u> marcasiet chalcopryiet calciet dolomiet pyrrhotiet <u>pyriet</u> magnetiet
--	-------	---	--------------------------	---	---	---

<b>URANINIET</b>  UO <sub>2</sub>  oxiden  81	<u>pekzwart</u> <u>bruinzwart</u> <u>groenachtig zwart</u> <u>grijzig zwart</u>	grijszwart <u>bruinzwart</u> tot donkergroen  halfmetaalglans vetglans <u>pekglans</u>	4 - 6  <u>6.5 - 9.7</u>	broos  niet waarneembaar  conchoïdaal oneffen	KUBISCH  XX eerder zeldzaam (octaëders, kubus)  meestal massief, in aders of lagen  botryoïdaal, niervormig, schilvormig	cassiteriet chalcopryiet pyriet arsenopyriet fluoriet zilver goud
---	--	--	-------------------------------	---	--	---

NIET-METAAL- & HALFMETAALGLANS, GEKLEURDE STREEP	STREEPKLEUR: BLAUW	gerangschikt naar toenemende hardheid
---	--------------------	---------------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>AURICHALCIET</b> $(\text{Zn,Cu})_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6$ carbonaten  82	lichtgroen blauwachtiggroen groenblauw, hemelsblauw	groenachtig blauw  zijdeglans parelmoerglans	1 - 2  3,6 - 4,2	zacht flexibel  perfect	ORTHOROMBISCH  fijne naaldjes, blaadjes  rozetten, korsten,	limoniet calciet smithsoniet hemimorfiet hydrozinciet malachiet azuriet cupriet
---	--	---	------------------------	----------------------------------	---	--

<b>VIVIANIET</b> $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ fosfaten  83	lichtblauw blauw indigo zwartgroen	wit tot blauw  parelmoerglans glasglans mat	<b>1,5 - 2</b>  2,6 - 2,7	bros (dunne blaadjes zijn buigzaam)  perfecte splijting  subconchoïdaal	MONOKLIEN  XX eerder zeldzaam, prismatisch, ook afgeplat, dikwijls afgerond tot bladachtige of lancetvormige kristallen  vezelig, straalvormig, rozetten, in kogels of knollen  aardachtig, pulverig	limoniet
--	---	---	---------------------------------	---	--	----------

<b>CHRYSOCOLLA</b> $(\text{Cu,Al})_2\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_4 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ fyllosilicaten  84	groenblauw blauw	blauw groenblauw  glasglans mat	2 - 4  1,9 - 2,4	bros (snijdbaar)  -  conchoïdaal	MONOKLIEN  geen XX waarneembaar  meestal massief, cryptokristallijn, niervormig, korsten, aardachtig massief materiaal is soms opaal-achtig in uiterlijk	malachiet azuriet cupriet dioptaas koper
---	---------------------	---	------------------------	--	--	--

NIET-METAAL- & HALFMETAALGLANS, GEKLEURDE STREEP	STREEPKLEUR: BLAUW	gerangschikt naar toenemende hardheid
---	--------------------	---------------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>AZURIET</b> $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ carbonaten  85	lichtblauw tot bijna zwart <u>azuurblauw</u>	blauw groenblauw  glasglans	<b>3,5 - 4</b>  3,8	brs  duidelijke splijting  conchoïdaal	MONOKLIEN  tafelig, kortzuilig, prismatisch, naaldvormig, in XL- groepjes  radiaalstralig, kogelig, botryoïdaal  als overkorsting, aardachtig, pulverig	malachiet limoniet cupriet chrysocolla chalcosiet calciet koper
---	--	--------------------------------------	---------------------------	--	--	---

<b>RIEBECKIET</b> $\text{Na}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_3\text{Fe}^{3+}_2$ $\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ inosilicaten (amfibolen)  86	<u>lavendelblauw</u> <u>blauw</u> diepblauwzwart	blauw  glasglans zijdeglans	<b>5,5 - 6</b>  3,1 - 3,4	-  duidelijk of vezelig  -	MONOKLIEN  XX zeldzaam  <u>vezelig, asbestachtig</u> (= crocidoliet asbest)	
---	--	--------------------------------------	---------------------------------	---	---	--



NIET-METAAAL- & HALFMETAAALGLANS, GEKLEURDE STREEP	STREEPKLEUR: GROEN	gerangschikt naar toenemende hardheid
---	--------------------	---------------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>MALACHIET</b> $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$ carbonaten  90	<u>licht- tot donkergroen</u>	lichtgroen	<b>3,5 - 4</b>	broos	MONOKLIEN prismatisch, naaldevormig tot vezelig	azuriet cupriet koper
		zijdeglans mat glasglans	3,9 - 4	perfecte splijting (zelden waarneembaar)  splinterig	botryoïdaal, radiaalstralig, stalactietisch, geband (met vezelige breuk), aardachtig, korrelig, overkorsting	

<b>URANINIET</b> $\text{UO}_2$ oxiden  91	<u>zwart groenachtig zwart</u>	donkergroen	<b>4 - 6</b>	broos	KUBISCH XX eerder zeldzaam (octaëders, kubus)	cassiteriet chalcopyriet pyriet arsenopyriet fluoriet zilver goud
		halfmetaalglans vetglans pekglans	<u>6,5 - 9,7</u>	niet waarneembaar  conchoïdaal oneffen	meestal massief, in aders of lagen  botryoïdaal, niervormig, schilvormig	

<b>HOORNLENDE</b> $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_7\text{Al}(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH}, \text{F})_2$ inosilicaten (amfibolen)  92	<u>zwartgroen groenzwart</u>	grijsgroen	<b>5 - 6</b>	broos	MONOKLIEN prismatisch, zuilvormig tot vezelig	granaat hedenbergiet epidoot magnetiet sferiet chalcopyriet
		glasglans  (vezelige variëteiten soms zijdeglans)	2,9 - 3,4	perfecte splijting <u><math>56^\circ - 124^\circ</math></u>  subconchoïdaal oneffen	XX soms vergroeid, soms afzonderlijk in gesteente  straalvormig, parallel, korrelig	



NIET-METAAL- & HALFMETAALGLANS, GEKLEURDE STREEP	STREEPKLEUR: GROEN	gerangschikt naar toenemende hardheid
---	--------------------	---------------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>ACTINOLIET</b> $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ inosilicaten (amfibolen)  93	licht- tot donkergroen	groen tot wit  glasglans	<b>5 - 6</b>  3 - 3,3	bros  perfecte splijting (splijtvlak soms splinterig)  subconchoïdaal oneffen	MONOKLIEN  <u>prismatisch, stengelig, zuilvormig</u>  vezelig (actinolietasbest)	kwarts epidoot
---	------------------------	--------------------------------	-----------------------------	--	--	-------------------

<b>AUGIET</b> $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al}, \text{Ti})$ $(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$ inosilicaten (pyroxenen)  94	zwart groenzwart	grijsgroen  glasglans	<b>5 - 6</b>  3,2 - 3,4	bros  perfecte splijting  oneffen	MONOKLIEN  <u>kortprismatisch (in doorsnede, vierkant of achthoekig)</u>  geen aggregaten; <u>afzonderlijke XX in gesteente</u>	in stollings- gesteente
--	---------------------	-----------------------------	-------------------------------	---	---	----------------------------

<b>EPIDOOT</b> $\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$ sorosilicaten  95	<u>donkergroen</u> <u>zwartgroen</u> <u>geelgroen</u>	groen tot wit  glasglans	<b>6 - 7</b>  3,2 - 3,5	bros  perfecte splijting  oneffen	MONOKLIEN  <u>kort- tot langprismatisch</u> , stengelig tot naaldvormig  XX in bundels  massief tot fijnkorrelig	granaat diopsiet vesuvianiet calciet
--	---	--------------------------------	-------------------------------	---	--	---

## MINERALEN MET EEN WITTE STREEP

Deze mineralen zijn onderverdeeld in drie categorieën van hardheid en verder opgesplitst in mineralen met al dan niet een perfecte splijting

hardheid	splijting	tabelnummers
H < 3,5	geen, onduidelijk, of moeilijk waarneembaar	96 - 109
	perfect	110 - 123
3,5 < H < 5,5	geen, onduidelijk, of moeilijk waarneembaar	124 - 138
	perfect	139 - 158
H > 5,5	geen, onduidelijk, of moeilijk waarneembaar	159 - 180
	perfect	181 - 195

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID < 3,5 (krasbaar met messing)	SPLIJTING: GEEN of NIET PERFECT
-----------------------------------	--	---------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>BAUXIET</b> mengsel van $\text{AlO}(\text{OH})$ en $\text{Al}(\text{OH})_3$ oxiden (hydroxiden) 96	wit geelwit	wit  mat	<b>aardachtig</b> (1 - 3)	<u>aardachtig</u>  -  -	-  geen XX (cryptokristallijn)  aardachtig, korrelig	verwerings- product van aluminium- houdende gesteenten
---	----------------	----------------	------------------------------	-------------------------------------	--	--

<b>KAOLIEN</b> mengsel van kaolinit, dickiet, nakriet $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ fyllosilicaten 97	wit geelwit	wit  mat	<b>niet meetbaar</b> (breekt)  2.6	zacht, voelt vet aan ( <u>kleiachtig</u> )  ( <b>perfect</b> ) <b>niet waarneembaar</b>  -	-  geen XX waarneembaar  meestal in <u>kleiachtige massa's</u> , aardachtig	kaolien is in principe een gesteente (kaolienklei)
--	----------------	----------------	---	--	---	---

<b>ULEXIET</b> $\text{NaCaB}_3\text{O}_6 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ boraten  98	wit	wit  mat zijdeglans	<b>1 - 2,5</b>  1,9 - 2,0	brs  ( <b>perfect</b> ) <b>zelden waarneembaar</b>  -	TRIKLIEN  bladerig, kortprismatisch  in <u>knollen, vezelig</u> , aardachtig	borax colemianiet
---	-----	------------------------------	---------------------------------	--	--	----------------------

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID < 3,5 (krasbaar met messing)	SPLIJTING: GEEN of NIET PERFECT
-----------------------------------	--	---------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>BORAX</b> $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ boraten  99	wit kleurloos grijswit geelwit  <u>heldere XX worden mat wit</u> door verlies van kristalwater	wit	<b>2 - 2,5</b>	broos	MONOKLIEN <u>prismatisch</u>	hallet gips ulexiet colemaniet
		glasglans mat	1,7	<b>duidelijke splijting</b>  conchoïdaal	massief, aardachtig	

<b>ZWAVEL</b> S elementen  100	<u>lichtgeel</u>	wit	<b>1,5 - 2,5</b>	<u>zeer broos</u>	ORTHOROMBISCH  XX piramidaal	calciet gips celestien aragoniet
		diamantglans harsglans vetglans	2,0 - 2,1	<b>onduidelijke splijting</b>  conchoïdaal oneffen	massief (dikwijls als onregelmatige massa's), korrelig, stalactietisch, aardachtig	

<b>CHRYSOCOLLA</b> $(\text{Cu},\text{Al})_2\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ n $\text{H}_2\text{O}$ fyllosilicaten  101	<u>blauwgroen</u> <u>groenblauw</u>	wit	<b>2 - 4</b>	broos (snijdbaar)	MONOKLIEN  geen XX waarneembaar	malachiet azuriet cupriet dioptas koper
		glasglans mat	1,9 - 2,4	-  <u>conchoïdaal</u>	meestal massief, cryptokristallijn, niervormig, korsten, aardachtig massief materiaal is soms opaal-achtig in uiterlijk	

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID < 3,5 (krasbaar met messing)	SPLIJTING: GEEN of NIET PERFECT
-----------------------------------	--	---------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>HYDROZINCIET</b> $Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$ carbonaten  102	wit geelwit lichtgrijs  <u>meestal sterk fluorescerend</u>	wit  mat	<b>2 - 2,5</b>  3,2 - 3,8	brs aardchtig  <b>splijting niet waarneembaar</b>  onregelmatig	MONOKLIEN  XX zeldzaam, bladerig tot latvormig  in korsten, schillen, niervormig, stalactietisch, aardchtig, poreus tot compact, krijtachtig	<u>zinkmineralen</u> : hemimorfiet sferiet limoniet
--	--	----------------	---------------------------------	--	---	--

<b>ANGLESIET</b> $PbSO_4$ sulfaten  103	wit witachtig grijs	wit  <u>diamantglans</u> vetglans	<b>3</b>  <u>6,2 – 6,4</u>	brs  <b>duidelijke splijting</b>  conchoïdaal	ORTHOROMBISCH  dun- tot dik-tafelig, prismatisch en dan meestal vlakkenrijk en soms erg complex  massief, korrelig, botryoïdaal, stalactietisch, als overkorsting op galeniet	<u>galeniet</u> cerussiet pyromorfiet malachiet
---	------------------------	--	----------------------------------	---	---	--

<b>WULFENIET</b> $PbMoO_4$ sulfaten (molybdaten)  104	<u>geel tot oranjegeel</u> <u>oranjerood tot</u> <u>rood</u> grijs wit	wit  glasglans vetglans diamantglans (altijd sterke glans)	<b>3</b>  6,5 - 7,0	brs  <b>duidelijke splijting</b>  subconchoïdaal	TETRAGONAAL  XX meestal vierkant tafelig, soms erg dun, zelden kortprismatisch, piramidaal  in XL-groepen of afzonderlijke XX  in korsten, massief	galeniet anglesiet cerussiet vanadinet pyromorfiet
--	--	---	---------------------------	--	---	--

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID < 3,5 (krasbaar met messing)	SPLIJTING: GEEN of NIET PERFECT
-----------------------------------	--	---------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>VANADINIET</b> <b>Pb<sub>2</sub>(VO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>Cl</b> <b>vanadaten</b>  <b>105</b>	roodbruin oranjerood oranje lichtbruin lichtgeel dieproud	wit  vetglans diamantglans	<b>3</b>  6,5 - 7,1	bros  <b>geen splijting</b>  conchoïdaal oneffen	HEXAGONAAL <u>prismatisch, zuil- tot tonvormig</u>  globulair, niervormig, stengelig tot vezelig, als korsten	descloiziet wulfeniet pyromorfiet
--	--	-------------------------------------	---------------------------	---	--	---

<b>WITHERIET</b> <b>BaCO<sub>3</sub></b> <b>carbonaten</b>  <b>106</b>	wit grijs geelachtig	wit  glasglans vetglans	<b>3 - 3,5</b>  4,3	bros  <b>duidelijke splijting</b>  oneffen	ORTHOROMBISCH  XX pseudohexagonaal zuilvormig, dipiramidaal, XX dikwijls met striaties loodrecht op de lengterichting  straalvormig, vezelig, niervormig, kogelig, massief	galeniet bariet calciet
--	----------------------------	----------------------------------	---------------------------	--	--	-------------------------------

<b>CERUSSIET</b> <b>PbCO<sub>3</sub></b> <b>carbonaten</b>  <b>107</b>	<u>wit</u> <u>kleurloos</u> <u>geelachtig wit</u> <u>grijs</u>	wit  <u>diamantglans</u>	<b>3 - 3,5</b>  <u>6,4 - 6,6</u>	bros  <b>onduidelijke splijting</b>  conchoïdaal	ORTHOROMBISCH  XX tafelig, zuilvormig, XX hebben erg variabele habitus  XX in bundels, stengelig, korrelig tot massief, als overkorsting, aardachtig	anglesiet hemimorfiet pyromorfiet malachiet galeniet sferiet
--	---	--------------------------------	--	--	--	---

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID < 3,5 (krasbaar met messing)	SPLIJTING: GEEN of NIET PERFECT
-----------------------------------	--	---------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>WAVELLIET</b>  $\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH},\text{F})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  fosfaten  108	groen wit tot grijs geel bruin zwart	wit  glasglans zijdeglans	<b>3 - 4</b>  2,4	broos  <b>goede splijting</b>  oneffen subconchoïdaal	ORTHOROMBISCH  XX zeldzaam  <u>meestal in radiaalstralige- en globulaire aggregaten</u>  vult meestal, in kleine hoeveelheden, spleten in gesteente op	
---	--	------------------------------------	-------------------------	--	--	--

<b>SERPENTIJN</b> groep mineralen van het type: $\text{A}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  $\text{A} = \text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Ni}$  fyllosilicaten  109	<u>licht- tot donkergroen</u> wit bruingeel zwart	wit  (zijdeglans op vezelige breuk)  wasglans vetglans mat	<b>2 - 5</b> <b>meestal 4</b>  2,5 - 2,6	broos <u>vezels zijn</u> <u>flexibel</u>  <b>niet</b> <b>waarneembaar</b>  -	MONOKLIEN en ORTHOROMBISCH  geen XX  bladerig, schubbig, massief  <u>kort- tot lang-parallelvezelig</u> (chrysotielasbest)	magnesiet talk chromiet
---	--	---	---	---	--	-------------------------------

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID < 3,5 (krasbaar met messing)	SPLIJTING: PERFECT
-----------------------------------	--	--------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>TALK</b> <b>Mg<sub>3</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub></b> <b>fylosilicaten</b>  <b>110</b>	wit groenwit groen zilverwit geelwit bruin	wit  parelmoerglans vetglans mat	<u>1</u>  2,6 - 2,8	zeer zacht flexibel voelt vet aan  <b>perfecte splijting</b>  -	MONOKLIEN en TRIKLIEN  XX zijn zeldzaam  bladerig, schubbig  massief	chloriet serpentine calciet
--	---	--	---------------------------	---	--	-----------------------------------

<b>VIVIANIET</b> <b>Fe<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·8H<sub>2</sub>O</b> <b>fosfaten</b>  <b>111</b>	<u>lichtblauw</u> <u>blauw</u> <u>indigo</u> <u>zwartgroen</u>	wit  parelmoerglans glasglans mat	<u>1,5 - 2</u>  2,6 - 2,7	bros (dunne blaadjes zijn buigzaam)  <b>perfecte splijting</b>  subconchoïdaal	MONOKLIEN  XX eerder zeldzaam, prismatisch, afgeplat, dikwijls afgerond tot bladachtige of lancetvormige kristallen  vezelig, straalvormig, rozetten, in kogels of knollen  aardachtig, pulverig	limoniet
--	---	---	---------------------------------	--	---	----------

<b>BORAX</b> <b>Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·10H<sub>2</sub>O</b> <b>boraten</b>  <b>112</b>	wit kleurloos grijswit geelwit  <u>heldere XX worden mat wit door verlies van kristalwater</u>	wit  glasglans mat	<b>2 - 2,5</b>  1,7	bros  <b>perfecte splijting</b>  conchoïdaal	MONOKLIEN  <u>prismatisch</u>  massief, aardachtig	haliet gips ulexiet colemantiet
--	---	-----------------------------	---------------------------	--	--	--



NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID < 3,5 (krasbaar met messing)	SPLIJTING: PERFECT
-----------------------------------	--	--------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>SYLVIET</b>  KCl  halogeniden    113	kleurloos wit grijs rood geel	wit  glasglans vetglans	<b>2</b>  2,0	bros  <b>perfecte splijting</b>  conchoïdaal	KUBISCH  XX kubus en octaëder; meestal in combinatie  massief, grof- tot fijnkorrelig	haliet
---	---	----------------------------------	---------------------	--	---	--------

<b>HALIET</b>  NaCl  halogeniden    114	kleurloos wit grijs geel oranje rood bruin	wit  glasglans vetglans	<b>2 - 2,5</b>  2,1 - 2,6	bros  <b>perfecte splijting</b>  conchoïdaal	KUBISCH  <u>XX meestal kubussen</u>  grof- tot fijnkorrelig, massief, parallelvezelig	gips sylviet calciet
---	--	----------------------------------	---------------------------------	--	---	----------------------------

<b>GIPS</b>  CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O  sulfaten    115	kleurloos wit grijs geel bruin	wit  glasglans zijdeglans parelmoerglans	<b>2</b>  2,2 - 2,4	zacht tot bros flexibel  <b>perfecte splijting</b>  -	MONOKLIEN  XX tafelig, zuilvormig, naaldvormig, lensvormig, XX los of in groepen, XX zijn dikwijls vertweelind; zwaluwstaartweeling  grof- tot fijnkorrelig tot massief  vezelig, schubbig, concreties (woestijnrozen)	haliet dolomiet calciet zwavel pyriet kwarts
--	--	--	---------------------------	--	--	---

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID < 3,5 (krasbaar met messing)	SPLIJTING: PERFECT
-----------------------------------	--	--------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>CHLORIETGROEP</b> van het type: $(\text{Mg,Fe})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ <b>fylosilicaten</b>  116	<u>lichtgroen</u> <u>groen</u> <u>zwartgroen</u>	wit  glasglans parelmoerglans mat	<b>2 - 2,5</b>  2,6 - 3,5	brs ( <u>blaadjes</u> <u>flexibel</u> )  <b>perfecte</b> <b>splijting</b>  -	MONOKLIEN  tafelig, pseudo-hexagonale tafelige XX, zuilvormig (soms wormachtig gebogen)  bladerig, schubbig, aardachtig, poederachtig	granaat diopsiet kwarts albiet calciet dolomiet actinoliet epidoot
--	--	---	---------------------------------	--	--	---

<b>MUSCOVIET</b> $\text{KA}_2(\text{Si}_2\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ <b>fylosilicaten</b> (micagroep)  117	kleurloos zilverwit grijs lichtbruin  <u>zilverkleurige</u> <u>verweringslaag</u>	wit  parelmoerglans glasglans zijdeglans	<b>2 - 2,5</b>  2,7 - 3	brs <u>blaadjes zijn</u> <u>elastisch</u>  <b>perfecte</b> <b>splijting</b>  -	MONOKLIEN  pseudo-hexagonaal dun- tot diktafelig  grofbladerig, grof- tot fijnschubbig	kwarts veldspaat
---	---	--	-------------------------------	---	--	---------------------

<b>LEPIDOLIET</b> $\text{K}(\text{Li,Al})_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{F,OH})_2$ <b>fylosilicaten</b> (micagroep)  118	<u>rose</u> <u>roseviolet</u> grijswit	wit  parelmoerglans glasglans	<b>2,5</b>  2,8 - 3,3	<u>blaadjes zijn</u> <u>elastisch</u>  <b>perfecte</b> <b>splijting</b>  -	MONOKLIEN  XX zijn zeldzaam (pseudo-hexagonaal)  schubbig tot fijnkorrelig	toermalijn topaas spodumeen beryl amblygoniet
---	--	--	-----------------------------	--	--	---

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID < 3,5 (krasbaar met messing)	SPLIJTING: PERFECT
-----------------------------------	--	--------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>FLOGOPIET</b> $\text{KMg}_3\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$  fyllosilicaten (micagroep)  119	goudbruin geelbruin roodachtig bruin donkerbruin	wit  parelmoerglans glasglans	2,5 - 3  2,7 - 2,9	bros <u>blaadjes zijn</u> <u>elastisch</u>  <u>perfecte</u> <u>splijting</u>	MONOKLIEN  pseudo-hexagonaal tafelig  bladerig, schubbig	<u>marmor</u>
--	--	--	--------------------------	---	--	---------------

<b>BIOTIET</b> $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})_2(\text{Al},\text{Fe}^{3+})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$  fyllosilicaten (micagroep)  120	zwart donkerbruin donkergroen groenzwart  goudkleurige verweringslaag	wit  parelmoerglans glasglans	2,5 - 3  2,7 - 3,4	<u>blaadjes zijn</u> <u>elastisch</u>  <u>perfecte</u> <u>splijting</u>  -	MONOKLIEN  pseudo-hexagonaal tafelig  meestal niet in grote stukken maar als onderdeel van gesteente	meestal als onderdeel van gesteente
--	---	--	--------------------------	--	--	---

<b>CALCIET</b> $\text{CaCO}_3$  carbonaten  121	kleurloos wit grijs geel bruin  (lichte tinten)	wit  glasglans parelmoerglans	3  2,6 - 2,8	bros  <u>perfecte</u> <u>splijting</u> <u>romboëders</u>  -	TRIGONAAL  XX scalenoëders, romboëders, zuilvormig, tafelig, spits, naaldvormig XX in groepen  massief, grof- tot heel fijnkorrelig  parallelvezelig, stalactietisch, oölietisch, poreus	
--	---	--	--------------------	---	--	--

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID < 3,5 (krasbaar met messing)	SPLIJTING: PERFECT
-----------------------------------	--	--------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>CELESTIEN</b>  <b>SrSO<sub>4</sub></b>  <b>sulfaten</b>       <b>122</b>	wit kleurloos <u>blauwachtig</u>	wit  glasglans parelmoerglans vetglans	<u>3 - 3,5</u>  3,9 - 4,0	brs  <b>perfecte splijting</b>  oneffen conchoïdaal	ORTHOROMBISCH  XX zuilvormig tot tafelig in XL-groepen  ook massief, korrelig, vezelig	calciet dolomiet gips haliet zwavel fluoriet galeniet sfaleriet
--	--	--	---------------------------------	--	---	--

<b>BARIET</b>  <b>BaSO<sub>4</sub></b>  <b>sulfaten</b>       <b>123</b>	wit grijs geelachtig roodachtig rose kleurloos blauwachtig bruin grijszwart	wit  glasglans vetglans parelmoerglans	<b>3 - 3,5</b>  <u>4,3 - 4,7</u>	brs  <b>perfecte splijting</b>  oneffen conchoïdaal	ORTHOROMBISCH  XX dik tot duntafelig, zuilvormig  korrelig, vezelig, massief, niervormig, concreties	fluoriet calciet dolomiet kwarts galeniet pyriet chalcopyriet
---	---	--	--	--	--	---

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID $3,5 < H < 5,5$	SPLIJTING: GEEN of NIET PERFECT
-----------------------------------	--------------------------	---------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>WAVELLIET</b> $\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH},\text{F})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ fosfaten 124	groen wit tot grijs geel bruin zwart	wit  glasglans zijdeglans	<b>3 - 4</b>  2,4	broos  <b>goede splijting</b>  oneffen subconchoïdaal	ORTHOROMBISCH XX zeldzaam meestal in radiaalstralige- en globulaire aggregaten vult meestal, in kleine hoeveelheden, spleten in gesteente op	
---	--	------------------------------------	-------------------------	--	---	--

<b>SERPENTIJN</b> groep mineralen van het type: $\text{A}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ $\text{A} = \text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Ni}$ fyllosilicaten 125	<u>licht- tot donkergroen</u> wit bruinegeel zwart	wit  (zijdeglans op vezelige breuk)  wasglans vetglans mat	<b>2 - 5</b> <b>meestal 4</b>  2,5 - 2,6	broos <u>vezels zijn</u> <u>flexibel</u>  <b>niet</b> <b>waarneembaar</b>  -	MONOKLIJN en ORTHOROMBISCH geen XX bladerig, schubbig, massief <u>kort- tot lang-parallelvezelig</u> (chrysotielasbest)	magnesiet talk chromiet
---	---	---	---	---	--	-------------------------------

<b>ARAGONIET</b> $\text{CaCO}_3$ carbonaten 126	kleurloos wit lichtgeel  ook: bruinachtig groenachtig blauwachtig roodachtig	wit  glasglans vetglans	<b>3,5 - 4</b>  2,9 - 3	broos  <b>duidelijk tot</b> <b>onduidelijk</b>  subconchoïdaal	ORTHOROMBISCH naaldvormig, <u>pseudo-hexagonaal</u> zuilvormig, tafelig radiaalstralig, parallelstralig, stalactietisch, koraalachtig, vezelig, schillen, sferolieten	gips sideriet calciet dolomiet
--	--	----------------------------------	-------------------------------	---	--	---

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID 3,5 < H < 5,5	SPLIJTING: GEEN of NIET PERFECT
-----------------------------------	------------------------	---------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>MAGNESIET</b> <b>MgCO<sub>3</sub></b> carbonaten  127	wit grijs geel bruin	wit  glasglans mat	<b>3,5 - 5</b>  2,9 - 3,2	broos  <u>duidelijke tot perfecte splijting</u>  conchoïdaal	TRIGONAAL  XX zeldzaam (meestal cryptokristallijn)  meestal massief, grof- tot fijnkorrelig	serpentiin dolomiet
--	-------------------------------	-----------------------------	---------------------------------	--	---	------------------------

<b>STRONTIANIET</b> <b>SrCO<sub>3</sub></b> carbonaten  128	kleurloos wit grijsachtig geelachtig groenachtig	wit  glasglans vetglans	<b>3,5 - 4</b>  3,7	broos  <u>duidelijke splijting</u>  oneffen	ORTHOROMBISCH  XX pseudo-hexagonaal zuilvormig, naaldvormig  vezelig, straalvormig, in bundels, massief	bariet calciet celestien
---	--	----------------------------------	---------------------------	---	---	--------------------------------

<b>PYROMORFIET</b> <b>Pb<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>Cl</b> fosfaten  129	<u>groen</u> bruin geel	wit  vetglans diamantglans	<b>3,5 - 4</b>  <u>6,5 - 7,1</u>	broos  <u>onduidelijke splijting</u>  subconchoïdaal oneffen	HEXAGONAAL  <u>prismatische XX, zuilvormig, tonvormig</u> , diktafelig  botryoïdaal, massief, korrelig, aardachtig, korstvormig	galeniet cerussiet anglesiet mimetesiet bariet limoniet vanadinit malachiet
--	-------------------------------	-------------------------------------	--	---	---	--

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID 3,5 < H < 5,5	SPLIJTING: GEEN of NIET PERFECT
-----------------------------------	------------------------	---------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>SCHEELIET</b> <b>CaWO<sub>4</sub></b> <b>sulfaten</b> <b>(wolframaten)</b>  <b>130</b>	grijsachtigwit tot - geel lichtbruin lichtgroen oranje grijs tot zwart  <u>fluoresceert blauw- achtig wit tot geel onder korte golf UV</u>	wit  vetglans diamantglans glasglans	<b>4,5 - 5</b>  <u>5,9 – 6,1</u>	bros  <b>duidelijk</b>  conchoïdaal oneffen splinterig	<b>TETRAGONAAL</b>  meestal idiomorfe XX, dipiramiden, en pseudo- octaëdrisch, spitsdipiridaal, tafelig  korrelig, massief, overkorsting  ook pseudomorf na wolframiet	cassiteriet topaas fluoriet apatiet wolframiet
--	---	--	--	--	---	--

<b>CHABAZIET</b> <b>CaAl<sub>2</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>12</sub>·6H<sub>2</sub>O</b> <b>tectosilicaten</b> <b>(zeolieten)</b>  <b>131</b>	kleurloos wit geel rose rood	wit  <u>glasglans</u>	<b>4 - 5</b>  2,1 - 2,2	bros  <b>duidelijke splijting</b>  oneffen	<b>TRIGONAAL</b>  meestal in <u>romboëdrische XX</u> die er bijna als een kubus uitzien	zeolieten
--	--	-----------------------------	-------------------------------	--	--	-----------

<b>NATROLIET</b> <b>Na<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub>·2H<sub>2</sub>O</b> <b>tectosilicaten</b> <b>(zeolieten)</b>  <b>132</b>	<u>kleurloos</u> <u>wit</u>  zelden geel tot roodachtig	wit  glasglans zijdeglans parelmoerglans op spijtvlak	<b>5 - 5,5</b>  2,2	bros  <b>duidelijke splijting</b>  oneffen conchoïdaal	<b>ORTHOROMBISCH</b>  prismatisch, <u>naaldvormig</u>  radiaalstralig, in bundels, kogelig, vezelig  massief, korrelig	zeolieten calciet
--	---	--	---------------------------	---	--	----------------------

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID 3,5 < H < 5,5	SPLIJTING: GEEN of NIET PERFECT
-----------------------------------	------------------------	---------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>ANALCIEM</b> <b>NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>·H<sub>2</sub>O</b> <b>tectosilicaten</b>  <b>133</b>	kleurloos wit roodachtig groenachtig	wit  glasglans	<b>5 - 5,5</b>  2,3	bros  <b>onduidelijk</b>  subconchoïdaal oneffen	KUBISCH  <u>meestal in afzonderlijke XX</u> of in groepen  ook massief korrelig	zeolieten calciet prehniet
---	---	----------------------	---------------------------	---	---	----------------------------------

<b>TURKOOIS</b> <b>CuAl<sub>6</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>(OH)<sub>8</sub>·4 H<sub>2</sub>O</b> <b>fosfaten</b>  <b>134</b>	<u>hemelsblauw</u> <u>groenblauw</u> , <u>blauwgroen</u> <u>groen</u>	wit  wasglans	<b>5 - 6</b>  2,6 – 2,9	bros  <b><u>perfect, zelden</u></b> <b><u>waarneembaar</u></b>  conchoïdaal effen	TRIKLIEN  zelden in microscopische XX  massief, compact, fijnkorrelig, botryoïdaal, overkorsting, dunne aders, concreties	chaledoon kaolien limoniet
--	--	---------------------	-------------------------------	---	--	----------------------------------

<b>APATIET</b> <b>Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(F,Cl,OH)</b> <b>fosfaten</b>  <b>135</b>	kleurloos wit  lichte tinten van groen bruin geel violet blauw	wit  glasglans vetglans	<b>5</b>  3,1 - 3,2	bros  <b>onduidelijke</b> <b>splijting</b>  conchoïdaal	HEXAGONAAL  <u>XX dikwijls idiomorf, lang- tot kortprismatisch,</u> <u>diktafelig</u>  massief, korrelig  knollen, botryoïdaal	
---	--	----------------------------------	---------------------------	--	---	--



NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID 3,5 < H < 5,5	SPLIJTING: GEEN of NIET PERFECT
-----------------------------------	------------------------	---------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>TITANIET (SFEEN)</b>  <b>CaTiSiO<sub>5</sub></b>  nesosilicaten  136	geel geelgroen groen bruin roodbruin zwart	wit  diamantglans glasglans harsglans	<b>5 - 5,5</b>  3,4 - 3,6	brs  <b>duidelijke splijting</b>  conchoïdaal	MONOKLIEN  tafelig, prismatisch, dikwijls in <u>wigvormige XX</u> <u>dikwijls vertweelngd en herkenbaar aan inspringende hoek</u>  meestal in XX	albiet kwarts
---	---	---	---------------------------------	---	---	------------------

<b>SMITHSONIET</b>  <b>ZnCO<sub>3</sub></b>  carbonaten  137	kleurloos grijs wit geel lichtgroen lichtblauw bruin rood	wit  glasglans vetglans	<b>5</b>  4,3 - 4,4	brs  <b><u>duidelijke tot perfecte splijting</u></b>  conchoïdaal	TRIGONAAL  XX zeldzaam en meestal vrij klein  botryoïdaal, niervormig, stalactietisch, korsten, geband	sfaleriet galeniet hemimorfiet cerussiet calciet limoniet
--	--	----------------------------------	---------------------------	---	---	--

<b>DIOPSIET</b>  <b>CaMgSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub></b>  inosilicaten (pyroxenen)  138	kleurloos wit licht- tot donkergroen geelachtig	wit  glasglans vetglans	<b>5 - 6</b>  3,3 - 3,5	brs  <b>duidelijke splijting</b>  conchoïdaal	MONOKLIEN  <u>prismatische XX</u> , stengelig  massief, korrelig	calciet granaat chloriet epidoot zoisiet vesuvianiet tremoliet
---	--	----------------------------------	-------------------------------	---	--	--

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID $3,5 < H < 5,5$	SPLIJTING: PERFECT
-----------------------------------	--------------------------	--------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>STILBIET</b> <b><math>\text{NaCa}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{36}\cdot 14\text{H}_2\text{O}</math></b> <b>tectosilicaten</b> <b>(zeolieten)</b>  <b>139</b>	wit geel bruin rood	wit  glasglans parelmoerglans zijdeglans	<b>3,5 - 4</b>  2,1 - 2,2	bros  <b>perfecte splijting</b> parelmoerglans op splijtvlak  onregelmatig	MONOKLIEN  <u>XX meestal bundelvormig</u> (schoofvormig) XX tafelig	zeolieten calciet
--	------------------------------	--	---------------------------------	--	--	----------------------

<b>HEULANDIET</b> <b><math>(\text{Na,Ca})_{2-3}\text{Al}_3(\text{Al,Si})_2</math></b> <b><math>\text{Si}_{13}\text{O}_{36}\cdot 12\text{H}_2\text{O}</math></b> <b>tectosilicaten</b> <b>(zeolieten)</b>  <b>140</b>	wit kleurloos roodachtig geelachtig	wit  glasglans zijdeglans  <u>parelmoerglans op het splijtvlak</u>	<b>3,5 - 4</b>  2,1 - 2,2	bros  <b>perfecte splijting</b>  subconchoïdaal oneffen	MONOKLIEN  XX dik- tot duntafelig, <u>XX zijn dikwijls pseudo- orthorombisch</u>  bladerig, schubbig	zeolieten calciet
--	--	---	---------------------------------	--	--	----------------------

<b>DOLOMIET</b> <b>ANKERIET</b> <b><math>\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2</math></b> <b><math>\text{Ca}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Mn})(\text{CO}_3)_2</math></b> <b>carbonaten</b>  <b>141</b>	kleurloos wit lichtroze geel bruin	wit  glasglans parelmoerglans	<b>3,5 - 4</b>  2,8	bros  <b>perfecte splijting</b>  conchoïdaal	TRIGONAAL  <u>XX romboëdrisch</u> , soms met <u>gebogen vlakken</u> (zadelvormig)  massief, grof- tot fijnkorrelig	calciet fluoriet bariet sideriet
---	--	--	---------------------------	--	---	---

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID 3,5 < H < 5,5	SPLIJTING: PERFECT
-----------------------------------	------------------------	--------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>MAGNESIET</b> <b>MgCO<sub>3</sub></b> carbonaten  142	wit grijs geel bruin	wit  glasglans mat	<b>3,5 - 5</b>  2,9 - 3,2	bros  <b><u>duidelijke tot perfecte splijting</u></b>  conchoïdaal	TRIGONAAL  XX zeldzaam (meestal cryptokristallijn)  meestal massief, grof- tot fijnkorrelig	serpentiin dolomiet
--	-------------------------------	-----------------------------	---------------------------------	--	---	------------------------

<b>RHODOCHROSIET</b> <b>MnCO<sub>3</sub></b> carbonaten  143	<u>licht- tot donkerrose</u>  ook: grijs, bruin	wit  glasglans parelmoerglans	<b>3,5 - 4</b>  3,5 - 3,7	bros  <b><u>perfecte splijting</u></b>  conchoïdaal	TRIGONAAL  XX romboëdrisch, scalenoëdrisch  massief, korrelig, in korsten, geband	
--	---	--	---------------------------------	---	---	--

<b>SIDERIET</b> <b>FeCO<sub>3</sub></b> carbonaten  144	<u>licht- tot donkerbruin</u> bruingeel	wit  parelmoerglans glasglans mat	<b>3,5 - 4</b>  3,7 - 3,9	bros  <b><u>perfecte splijting</u></b>  conchoïdaal	TRIGONAAL  XX romboëdrisch  grof- tot fijnkorrelig, massief  botryoïdaal	pyriet chalcopyriet galeniet kwarts
---	--	---	---------------------------------	---	--	--

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID $3,5 < H < 5,5$	SPLIJTING: PERFECT
-----------------------------------	--------------------------	--------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>SFALERIET</b> <b>(Zn,Fe)S</b> <b>sulfiden</b>  <b>145</b>	geel lichtbruin	wit  diamantglans	<b>3,5 - 4</b>  3,9 - 4,1	bros tot zeer bros  <u>perfecte splijting</u>  conchoïdaal	KUBISCH  tetraëder, dodecaëder (XX dikwijls vervormd)  massief (splijtbaar) grof- tot fijnkorrelig	galeniet marcasiet chalcopryiet calciet dolomiet pyrhotiet pyriet magnetiet
--	--------------------	-------------------------	---------------------------------	---	---	--

<b>COLEMANIET</b> <b>Ca<sub>2</sub>B<sub>6</sub>O<sub>11</sub>.5H<sub>2</sub>O</b> <b>boraten</b>  <b>146</b>	kleurloos tot wit geelwit grijs	wit  glasglans mat	<b>4 - 4,5</b>  2,4	bros  <u>perfecte splijting</u>  subconchoïdaal oneffen	MONOKLIEN  XX kort- tot langprismatisch, tafelig  dikwijls massief, korrelig, bladerig	ulexiet borax
---	---------------------------------------	-----------------------------	---------------------------	--	--	------------------

<b>FLUORIET</b> <b>CaF<sub>2</sub></b> <b>halogeniden</b>  <b>147</b>	varieert enorm: lichtgroen geel blauwgroen violet kleurloos wit rose blauw bruin	wit  <u>glasglans</u>	<b>4</b>  3,1 - 3,2	bros  <u>perfecte splijting</u>  conchoïdaal splinterig	KUBISCH  dikwijls in <u>idiomorfe XX</u> ; kubus, octaëder  massief, grof- tot fijnkorrelig, radiaalstralig, geband	galeniet sfaleriet chalcopryiet calciet dolomiet gips celestien bariet kwarts
---	---	-----------------------------	---------------------------	--	---	---

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID 3,5 < H < 5,5	SPLIJTING: PERFECT
-----------------------------------	------------------------	--------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>CHABAZIET</b> <b>CaAl<sub>2</sub>Si<sub>8</sub>O<sub>12</sub>.6H<sub>2</sub>O</b>  tectosilicaten (zeolieten)  148	kleurloos wit geel rose rood	wit  <u>glasglans</u>	<b>4 - 5</b>  2,1 - 2,2	bros  <b>perfecte splijting</b>  oneffen	TRIGONAAL  meestal in <u>romboëdrische XX</u> die er bijna als een kubus uitzien	zeolieten
---	--	-----------------------------	-------------------------------	--	--	-----------

<b>APOFYLLIET</b> <b>KCa<sub>4</sub>Si<sub>8</sub>O<sub>20</sub>(F,OH).8H<sub>2</sub>O</b>  fyllsilicaten  149	kleurloos wit lichte tinten van groen, rose en geel	wit  <u>glasglans en parelmoerglans</u> ( <u>parelmoerglans enkel op het bazaalvlak</u> )	<b>4,5 - 5</b>  2,3 - 2,4	bros  <b>perfecte splijting</b>  oneffen	TETRAGONAAL  meestal in <u>idiomorfe XX</u> ; deze kristallen lijken dikwijls op de combinatie van een kubus met een octaëder  ook bladerig, korrelig	zeolieten calciet
---	--	--	---------------------------------	--	---	----------------------

<b>WOLLASTONIET</b> <b>CaSiO<sub>3</sub></b>  inosilicaten  150	<u>wit</u> tot kleurloos rose <u>grijs</u> geelachtig	wit  glasglans parelmoerglans zijdeglans	<b>4,5 - 5,5</b>  2,8 - 3	bros  <b>perfecte splijting</b>  splinterig	TRIKLIEN  zelden in goede XX (tafelig)  <u>meestal massief; splijtbaar tot vezelig, radiaalstralig</u>	calciet diopsiet granaat kwarts vesuvianiet epidoot
--	--	--	---------------------------------	---	--	--

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID 3,5 < H < 5,5	SPLIJTING: PERFECT
-----------------------------------	------------------------	--------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>HEMIMORFIET</b> <b>Zn<sub>4</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>(OH)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O</b> <b>sorosilicaten</b>  <b>151</b>	kleurloos wit lichte tinten van blauw, groen, geel, bruin	wit  glasglans zijdeglans	<b>4,5 - 5</b>  3,3 - 3,5	broos  <b>perfecte splijting</b>  subconchoïdaal oneffen	ORTHOROMBISCH  XX tafelig, zuilvormig, <u>dikwils in radiaalstralige groepen</u>  massief, stalactietisch, korrelig  niervormig, korsten, vezelig	smithsoniet sfleriet cerussiet anglesiet galeniet
---	---	------------------------------------	---------------------------------	---	---	---

<b>KYANIET</b> <b>Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub></b> <b>nesosilicaten</b>  <b>152</b>	<u>blauw tot blauwwit</u> wit grijs geelachtig groen	wit  glasglans parelmoerglans op splijtvlakken	<b>4,5 - 5</b> in de lengterichting van het XL (loodrecht daarop: Z)  3,6 - 3,7	broos  <b>perfecte splijting</b>  -	TRIKLIEN  <u>meestal in lange, platte XX</u> (dikwils licht gebogen)  bladerig, straalvormig	granaat stauroliet
--	--	--	---	---	--	-----------------------

<b>SMITHSONIET</b> <b>ZnCO<sub>3</sub></b> <b>carbonaten</b>  <b>153</b>	kleurloos grijs wit geel lichtgroen lichtblauw bruin rood	wit  glasglans vetglans	<b>5</b>  4,3 - 4,4	broos  <b>perfecte splijting</b>  conchoïdaal	TRIGONAAL  XX zeldzaam en meestal vrij klein  botryoïdaal, niervormig, stalactietisch, korsten, geband	sfleriet galeniet hemimorfiet cerussiet calciet limoniet
--	--	----------------------------------	---------------------------	---	---	---

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID 3,5 < H < 5,5	SPLIJTING: PERFECT
-----------------------------------	------------------------	--------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>NATROLIET</b>  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  tectosilicaten (zeolieten)  154	<u>kleurloos</u> <u>wit</u>  zelden geel tot roodachtig	wit  glasglans zijdeglans parelmoerglans op spijtvlak	<b>5 - 5,5</b>  2,2	bros  <b>perfecte splijting</b>  oneffen conchoïdaal	ORTHOROMBISCH  prismatisch, <u>naaldvormig</u>  radiaalstralig, in bundels, kogelig, vezelig  massief, korrelig	zeolieten calciet
---	---	--	---------------------------	---	---	----------------------

<b>HOORNBLENDE</b>  $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_4\text{Al}(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH}, \text{F})_2$  inosilicaten (amfibolen)  155	licht- tot donkergroen groenzwart bruinzwart zwart	wit  glasglans  (vezelige variëteiten soms zijdeglans)	<b>5 - 6</b>  2,9 - 3,4	bros  <b>perfecte splijting</b> <u>56° - 124°</u>  subconchoïdaal oneffen	MONOKLIEN  <u>prismatisch, zuilvormig</u> tot vezelig  XX soms vergroeid, soms afzonderlijk in gesteente  straalvormig, parallel, korrelig	granaat hedenbergiet epidoot magnetiet sfaleriet chalcopyriet
---	---	---	-------------------------------	---	--	--

<b>ACTINOLIET TREMOLIET</b>  $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3\text{Si}_6\text{O}_{22}(\text{OH})_2$  inosilicaten (amfibolen)  156	licht- tot donkergroen wit grijs	wit  glasglans zijdeglans	<b>5 - 6</b>  3 - 3,3	bros  <b>perfecte splijting</b> (spijtvlak soms splinterig)  subconchoïdaal oneffen	MONOKLIEN  <u>prismatisch, stengel</u> ig, zuilvormig  vezelig (actinolietasbest)	
--	--	------------------------------------	-----------------------------	--	---	--

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID 3,5 < H < 5,5	SPLIJTING: PERFECT
-----------------------------------	------------------------	--------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>AUGIET</b> <b>(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)</b> <b>(Si,Al)<sub>2</sub>O<sub>6</sub></b>  inosilicaten (pyroxenen)  157	groen groenachtig zwart bruinachtig zwart pekwart	wit  glasglans	<b>5 - 6</b>  3,2 - 3,4	broos  <b>perfecte splijting</b>  oneffen	MONOKLIEN  prismatisch  korrelig tot massief  soms afzonderlijke XX in gesteente	
---	--	----------------------	-------------------------------	---	--	--

<b>DIOPSIET</b> <b>CaMgSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub></b>  inosilicaten (pyroxenen)  158	kleurloos wit licht- tot donkergroen geelachtig	wit  glasglans vetglans	<b>5 - 6</b>  3,3 - 3,5	broos  <b>perfecte splijting</b>  conchoïdaal	MONOKLIEN  <u>prismatische XX</u> , stengelig  massief, korrelig	calciet granaat chloriet epidoot zoisiet vesuvianiet tremoliet
---	--	----------------------------------	-------------------------------	---	--	--



NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID $H > 5,5$ (krassen vensterglas)	SPLIJTING: GEEN of NIET PERFECT
-----------------------------------	--	---------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>SODALIET</b> $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{Cl}_2$ tectosilicaten  159	<u>licht- tot donkerblauw</u>	wit	<b>5,5 - 6</b>	broos	KUBISCH XX zeldzaam	nefeliën
	wit groen grijs kleurloos	glasglans vetglans	2,3	<b>onduidelijke splijting</b>  conchoïdaal oneffen	meestal massief	

<b>LEUCIET</b> $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$ tectosilicaten  160	wit grijs kleurloos	wit	<b>5,5 - 6</b>	broos	TETRAGONAAL meestal in losse, dikwijls afgeronde XX of groepen <u>trapezoëdrische XX</u> dikwijls als <u>afzonderlijke XX</u> in gesteente	
		glasglans <u>mat</u>	2,4 - 2,5	-  conchoïdaal		

<b>NEFELIËN</b> $(\text{Na},\text{K})\text{AlSiO}_4$ tectosilicaten  161	kleurloos wit grijs roodachtig geelachtig groenachtig bruinachtig	wit	<b>5,5 - 6</b>	broos	HEXAGONAAL XX zeldzaam, prismatisch, in XL-aggregaten meestal massief en als korrels in gesteente	augiet olivijn spinel
		glasglans <u>vetglans</u>	2,5 - 2,6	<b>duidelijke splijting</b>  subconchoïdaal oneffen		

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID $H > 5,5$ (krassen vensterglas)	SPLIJTING: GEEN of NIET PERFECT
-----------------------------------	--	---------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>TURKOOIS</b>  $\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$  fosfaten  162	<u>hemelsblauw</u> <u>groenblauw</u> , <u>blauwgroen</u> <u>groen</u>	wit  wasglans	<b>5 - 6</b>  2,6 – 2,9	bros  <b>perfect, zelden</b> <b>waarneembaar</b>  conchoïdaal effen	TRIKLIEN  zelden in microscopische XX  massief, compact, fijnkorrelig, botryoïdaal, overkorsting, dunne aders, concreties	chaledoon kaolien limoniet
--	--	---------------------	-------------------------------	---	--	----------------------------------

<b>RIEBECKIET</b>  $\text{Na}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_3\text{Fe}^{3+}_2$ $\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$  inosilicaten (amfibolen)  163	<u>lavendelblauw</u> <u>blauw</u> diepblauwzwart	wit  glasglans zijdeglans	<b>5,5 - 6</b>  3,1 - 3,4	-  <b>duidelijke</b> <b>splijting of</b> <b>vezelig</b>  -	MONOKLIEN  XX zeldzaam  <u>vezelig, asbestachtig</u> (= crocidoliet asbest)	
--	--	------------------------------------	---------------------------------	--	---	--

<b>DIOPSIET</b>  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$  inosilicaten (pyroxenen)  164	kleurloos wit licht- tot donkergroen geelachtig	wit  glasglans vetglans	<b>5 - 6</b>  3,3 - 3,5	bros  <b>duidelijke</b> <b>splijting</b>  conchoïdaal	MONOKLIEN  <u>prismatische XX</u> , stengelig  massief, korrelig	calciët granaat chloriet epidoot zoisiet vesuvianiet tremoliet
--	--	----------------------------------	-------------------------------	--	--	--

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID $H > 5,5$ (krassen vensterglas)	SPLIJTING: GEEN of NIET PERFECT
-----------------------------------	--	---------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>BROOKIET</b>  <b>TiO<sub>2</sub></b>  oxiden    <b>165</b>	rood geelrood geelbruin kleurloos	wit  diamantglans	<b>5,5 - 6</b>  4,1 - 4,2	broos  <b>onduidelijk</b>  subconchoïdaal oneffen	ORTHOROMBISCH  altijd in XX <u>duntafelig tot tafelig</u> en dikwijls met kleurvariatie, zelden prismatisch  geen aggregaten, maar losstaande kristallen op matrix	kwarts adulaar albiet anataas titaniet
---	--	-------------------------	---------------------------------	--	---	--

<b>PREHNIET</b>  <b>Ca<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub></b>  inosilicaten (overgang naar fyllosilicaten)  <b>166</b>	<u>lichtgroen</u> tot wit geelgroen tot groen	wit  glasglans parelmoerglans	<b>6 - 6,5</b>  2,8 - 2,9	broos  <b>duidelijke splijting</b>  oneffen	ORTHOROMBISCH  XX zeldzaam  <u>botryoïdaal</u> , stalactietisch, kogelig	zeolieten calciet epidoot
---	--	--	---------------------------------	---	--	---------------------------------

<b>VESUVIANIET</b>  <b>Ca<sub>10</sub>Mg<sub>2</sub>Al<sub>4</sub> (SiO<sub>4</sub>)<sub>5</sub>(Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>4</sub></b>  sorosilicaten  <b>167</b>	bruin groenbruin groen geelbruin	wit  glasglans vetglans	<b>6,5</b>  3,3 - 3,5	broos  -  conchoïdaal oneffen splinterig	TETRAGONAAL  <u>prismatisch, zuilvormig, soms in pseudo-kubussen</u>  korrelig, massief	granaat pyroxeen epidoot wollastoniet chalcopyriet pyrrhotiet sferiet arsenopyriet
--	---	----------------------------------	-----------------------------	--	---	---

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID $H > 5,5$ (krassen vensterglas)	SPLIJTING: GEEN of NIET PERFECT
-----------------------------------	--	---------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>RUTIEL</b> <b>TiO<sub>2</sub></b> oxiden  168	<u>rood</u> <u>bruinrood</u> zwart	wit  diamantglans	<b>6 - 6,5</b>  4,2 - 5,6	broos  <b>duidelijke splijting</b>  subconchoïdaal oneffen	TETRAGONAAL  prismatisch (prismatische XX vertonen dikwijls striaties in de lengterichting) <u>naaldvormig tot zuilvormig</u>  massief, korrelig	kwarts mica hematiet
--	--	-------------------------	---------------------------------	---	--	----------------------------

<b>CASSITERIET</b> <b>SnO<sub>2</sub></b> oxiden  169	zwart bruinzwart geelachtig- tot roodachtig bruin geelachtig	wit  <u>diamantglans</u> vetglans mat	<b>6 - 7</b>  <u>6,8 - 7,1</u>	broos  <b>onduidelijke splijting</b>  subconchoïdaal oneffen	TETRAGONAAL  soms in idiomorfe XX, lang- tot kortzuielig  meestal massief, korrelig, als fijne tot grove korrels in gesteente, als afgeronde korrels  botryoïdaal, niervormig, geband, vezelig	kwarts toermalijn topaas fluoriet apatiet wolframiet molybdeniet arsenopyriet
---	--	---	--------------------------------------	---	---	--

<b>OLIVIJN</b> <b>(Mg,Fe<sup>2+</sup>)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub></b> nesosilicaten  170	<u>licht- tot olijfgroen</u> geelgroen groenzwart lichtgrijs bruin	wit  <u>glasglans</u>	<b>6,5 - 7</b>  3,2 - 4,3	broos  <b>onduidelijke splijting</b>  conchoïdaal	ORTHOROMBISCH  XX zeldzaam  meestal als <u>korrels in korrelige massa's</u>	plagioklaas pyroxeen magnetiet korund chromiet serpentine
--	--	-----------------------------	---------------------------------	---	---	--

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID $H > 5,5$ (krassen vensterglas)	SPLIJTING: GEEN of NIET PERFECT
-----------------------------------	--	---------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>KWARTS</b>  $\text{SiO}_2$  <b>oxiden of tectosilicaten</b> (afhankelijk van het gebruikte systeem)	kleurloos, wit  alle kleuren mogelijk  variëteitsnamen afhankelijk van de kristalliniteit en van de kleur.  <b>macrokristallijne kwarts:</b> <i>bergkristal:</i> kleurloos <i>rookkwarts:</i> bruin tot bijna zwart <i>amethyst:</i> purper <i>citrien:</i> lichtgeel <i>melkkwarts:</i> melkwit <i>rose kwarts:</i> rose (meestal massief)  <b>microkristallijne kwarts:</b> <i>chalcedoon:</i> algemene benaming <i>agaat:</i> gebande chalcedoon <i>karneool:</i> oranje-rood <i>jaspis:</i> rood, bruin, geel of donkergroen	wit  <u>glasglans</u> vetglans op breuk	$Z$  2,6	bros  <b>onduidelijke splijting</b>  conchoïdaal	TRIGONAAL  er wordt onderscheid gemaakt tussen macrokristallijne en micro- tot cryptokristallijne kwarts  <b>macrokristallijne kwarts:</b> meestal <u>prismatische tot kortprismatische XX</u> met <u>striaties op de prismavlakken loodrecht op de</u> <u>lengterichting</u> en eindigend op een 'punt' (romboëdervlakken)  ook massief, grof- tot fijnkorrelig  <b>micro- tot cryptokristallijne kwarts:</b> massief (chalcedoon)	
171						

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID $H > 5,5$ (krassen vensterglas)	SPLIJTING: GEEN of NIET PERFECT
-----------------------------------	--	---------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>GRANAATGROEP</b> van het type: $A_3B_2(SiO_4)_3$ waarin $A = Ca, Mg, Fe^{2+}, Mn$ $B = Al, Fe^{3+}, Cr, V, Ti, Zr$  nesosilicaten  172	rood bruinrood bruin zwart groen geel wit	wit  glasglans tot vetglans	<b>6 - 7,5</b>  3,5 - 4,3	bros  <b>geen splijting</b>  conchoïdaal oneffen splinterig	KUBISCH  <u>XX dikwijls idiomorf; dodecaëder, trapezoëder,</u> meestal in combinatie  <u>meestal als afzonderlijke XX in gesteente</u>  massief, korrelig	
---	---	--------------------------------------	---------------------------------	---	--	--

<b>CORDIERIET</b>  $Mg_2Al_7Si_5O_{18}$  cyclosilicaten  173	<u>blauw tot blauwgrijs</u>	wit  glasglans vetglans op breuk	<b>7 - 7,5</b>  2,6 - 2,7	-  <b>onduidelijke splijting</b>  subconchoïdaal	ORTHOROMBISCH  XX meestal kortprismatisch  ook korrelig en massief	
--	-----------------------------	---	---------------------------------	--	--	--

<b>TOERMALIJNGROEP</b> algemene formule: (Ca, K, Na) (Mg, Fe, Al, Li, Mn) <sub>3</sub> (Al, Cr, Fe, V) <sub>6</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> (Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> )(OH, F) <sub>4</sub>  cyclosilicaten  174	zwart bruin rose rood groen blauw kleurloos	wit  glasglans vetglans	<b>7 - 7,5</b>  3,0 - 3,3	-  <b>geen splijting</b>  oneffen conchoïdaal splinterig	TRIGONAAL  <u>XX lang- tot kortprismatisch (dikwijls met striaties in</u> <u>de lengterichting)</u> dikwijls 'afgeronde' prismavlakken (de <u>doorsnede</u> loodrecht op lengterichting van het kristal ziet er dan uit als een <u>sferische driehoek</u> )  ook massief	albiet kwarts muscoviet lepidoliet beryl apatiet fluoriet
--	---	----------------------------------	---------------------------------	--	--	---

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID $H > 5,5$ (krassen vensterglas)	SPLIJTING: GEEN of NIET PERFECT
-----------------------------------	--	---------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>STAUROLIET</b> $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Zn})_2\text{Al}_9$ $(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ nesosilicaten  175	rood- tot zwartbruin tot zwart	wit  glasglans vetglans op breuk	<u>7 - 7,5</u>  3,6 - 3,8	bros  <b>duidelijke splijting</b>  subconchoïdaal oneffen splinterig	MONOKLIEN (pseudo-orthorombisch)  <u>prismatische XX (soms in kruisen)</u> (XX verspreid in gesteente)	granaat kyaniet
--	-----------------------------------	---	---------------------------------	--	---	--------------------

<b>ANDALUSIET</b> $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ nesosilicaten  176	grijs rose bruin wit vleeskleur olijfgroen	wit  glasglans	<u>7,5</u>  3,1 - 3,2	bros  <b>onduidelijke splijting</b>  conchoïdaal oneffen	ORTHOROMBISCH  meestal in <u>vrij ruw gevormde prismatische XX</u> met bijna vierkante doorsnede  dikzuilig, zuilvormig tot naaldvormig  de variëteit chiasoliet is gemakkelijk te herkennen aan de kruisvormige ordening van donkergekleurde inluitsels	kyaniet sillimaniet
--	---	----------------------	-----------------------------	---	---	------------------------

<b>ZIRKON</b> $\text{ZrSiO}_4$ nesosilicaten  177	bruin roodbruin geelrood grijs groen kleurloos geel violet	wit  <u>diamantglans</u> (soms ook mat)	<u>7,5</u>  4 - 4,7	bros  <b>onduidelijke splijting</b>  conchoïdaal	TETRAGONAAL  meestal in XX ( <u>dikwijs idiomorf</u> ), prismatisch tot dipiramidaal, zuilvormig, kortzuilig	
---	---	--	---------------------------	--	---	--

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID $H > 5,5$ (krassen vensterglas)	SPLIJTING: GEEN of NIET PERFECT
-----------------------------------	--	---------------------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>BERYL</b> $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ cyclosilicaten  178	grijs geelachtig groenachtig blauwachtig wit rose groen	wit  glasglans (ook mat)	<b>7,5 - 8</b>  2,6 - 2,8	bros  <b>onduidelijke splijting</b>  conchoïdaal oneffen	HEXAGONAAL  <u>prismatische XX</u> , lang- tot kortzuilig  massief	kwarts orthoklaas toermalijn topaas
---	---	-----------------------------------	---------------------------------	---	--	--

<b>SPINEL</b> $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ oxiden  179	groen rood blauw violet oranjebruin lila wit	wit  <u>glasglans</u>	<b>8</b>  3,5 - 3,6	bros  <b>geen splijting</b>  conchoïdaal	KUBISCH  <u>XX meestal idiomorf</u> ; voornamelijk als octaëder in combinatie met dodecaëder  massief als onregelmatige korrels	zirkoon granaat korund
---	--	-----------------------------	---------------------------	--	--	------------------------------

<b>KORUND</b> $\text{Al}_2\text{O}_3$ oxiden  180	bruin zwart geel rood blauw violet kleurloos	wit  diamantglans glasglans (ook mat)	<b>9</b>  <u>3,9 - 4,1</u>	bros  <b>geen splijting</b>  conchoïdaal oneffen splinterig	TRIGONAAL  zuil- tot tonvormig, <u>tafelig</u> meestal in ruwe kristallen  massief, grof- tot fijnkorrelig	chloriet mica olivijn serpentiin magnetiet spinel kyaniet
---	--	---	----------------------------------	---	---	---



NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID $H > 5,5$ (krassen vensterglas)	SPLIJTING: PERFECT
-----------------------------------	--	--------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>HOORNLENDE</b> $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_3\text{Al}(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH}, \text{F})_2$ inosilicaten (amfibolen)  181	licht- tot donkergroen groenzwart bruinzwart zwart	wit  glasglans  (vezelige variëteiten soms zijdeglans)	<b>5 - 6</b>  2,9 - 3,4	broos  <b>perfecte splijting</b> $56^\circ - 124^\circ$  subconchoïdaal oneffen	MONOKLIEN  prismatisch, zuilvormig tot vezelig  XX soms vergroeid, soms afzonderlijk in gesteente  straalvormig, parallel, korrelig	granaat hedenbergiet epidoot magnetiet sfaleriet chalcopyriet
--	---	---	-------------------------------	---	---	--

<b>ACTINOLIET TREMOLIET</b> $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3\text{Si}_6\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ inosilicaten (amfibolen)  182	licht- tot donkergroen wit grijs	wit  glasglans zijdeglans	<b>5 - 6</b>  3 - 3,3	broos  <b>perfecte splijting</b> (splijtvlak soms splinterig)  subconchoïdaal oneffen	MONOKLIEN  prismatisch, stengelig, zuilvormig  vezelig (actinolietasbest)	
--	--	------------------------------------	-----------------------------	--	---	--

<b>AUGIET</b> $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al}, \text{Ti})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$ inosilicaten (pyroxenen)  183	groen groenachtig zwart bruinachtig zwart pekszwart	wit  glasglans	<b>5 - 6</b>  3,2 - 3,4	broos  <b>perfecte splijting</b>  oneffen	MONOKLIEN  prismatisch  korrelig tot massief  soms afzonderlijke XX in gesteente	
---	--	----------------------	-------------------------------	---	--	--

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID $H > 5,5$ (krassen vensterglas)	SPLIJTING: PERFECT
-----------------------------------	--	--------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>DIOPSIET</b> $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ inosilicaten (pyroxenen)  184	kleurloos wit licht- tot donkergroen geelachtig	wit  glasglans vetglans	5 - 6  3,3 - 3,5	bros  <b>duidelijke splijting</b>  conchoïdaal	MONOKLIEN  <u>prismatische XX</u> , stengelig  massief, korrelig	granaat chloriet epidoot zoisiet vesuvianiet
--	--	----------------------------------	------------------------	--	--	--

<b>RHODONIET</b> $(\text{Mn}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Ca})\text{SiO}_3$ inosilicaten  185	licht- tot donkerrood <u>roserood</u> <u>grijsachtig bruin</u>  meestal: <u>zwartgevekt of</u> <u>-gaderd</u>	wit  glasglans parelmoerglans	<b>5,5 - 6</b>  3,4 - 3,7	bros  <b>perfecte splijting</b>  splinterig	TRIKLIEN  tafelig  meestal massief (splijtbaar tot compact), korrelig	magnetiet mangaanoxiden
---	---	--	---------------------------------	---	---	----------------------------

<b>ANATAAS</b> $\text{TiO}_2$ oxiden  186	donkerblauw tot zwart geel tot geelbruin	wit  halfmetaalglans diamantglans	<b>5,5 - 6</b>  3,8 - 4,0	bros  <b>perfecte splijting</b>  subconchoïdaal	TETRAGONAAL  <u>meestal in kleine XX</u> , spitse dipiramiden of tafelig, <u>ook pseudo-octaëdrisch</u>	rutil kwarts adulaar albiet calciet
---	--	--	---------------------------------	---	--	---

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID $H > 5,5$ (krassen vensterglas)	SPLIJTING: PERFECT
-----------------------------------	--	--------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>VELDSPAATGROEP</b>  <b>formule van het type:</b> $XZ_2O_8$ <b>waarin:</b> $X = K, Na, Ca, Ba$ $Z = Si, Al, B$  <b>tectosilicaten</b>  <b>voorbeelden:</b>  <b>orthoklaas,</b> <b>microklien:</b> $KAlSi_3O_8$  <b>sanidien:</b> $(K, Na)AlSi_3O_8$  <b>albiet:</b> $NaAlSi_3O_8$  <b>anorthiet:</b> $CaAl_2Si_2O_8$  187	kleurloos wit grijswit lichtrood vleeskleur groenig gelig	wit  glasglans parelmoerglans	<b>6</b>  2,5 - 2,7	broos  <u>perfecte splijting</u>  oneffen conchoïdaal splinterig	MONOKLIEN en TRIKLIEN  kort- tot langzuilig, dun- tot diktafelig  massief, grof- tot fijnkorrelig  <b>orthoklaas:</b> MONOKLIEN <u>kort-prismatisch</u> , XX zijn dikwijls vertweelnd massief (splijtbare massa's), grofkorrelig  <b>albiet – anorthiet:</b> <u>tafelig</u> , XX meestal vertweelnd. Overigens vrijwel altijd polysynthetische tweelingvorming aanwezig en gekenmerkt door <u>striaties op het splijtvlak</u> of het daaraan evenwijdige XL-vlak massief, grofkorrelig	
--	---	--	---------------------------	--	--	--

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID $H > 5,5$ (krassen vensterglas)	SPLIJTING: PERFECT
-----------------------------------	--	--------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>AMBLYGONIET</b> $(\text{Li,Na})\text{Al}(\text{PO}_3)(\text{F,OH})$  fosfaten  188	wit lichtgroen grijswit grijsblauw	wit  glasglans parelmoerglans op slijtvlakken	<b>6</b>  3,0 - 3,1	brs  <b>perfecte splijting</b>  oneffen subconchoïdaal	TRIKLIEN  XX zeldzaam  massief (slijtbaar), grofkorrelig	spodumeen toermalijn lepidoliet apatiet
--	---	---	---------------------------	---	--	--

<b>ZOISIET</b> $\text{Ca}_2\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_2(\text{OH})$  sorosilicaten  189	grijs geelgrijs groengrijs rose	wit  glasglans parelmoerglans	<b>6 - 6,5</b>  3,1 - 3,4	brs  <b>perfecte splijting</b>  subconchoïdaal oneffen	ORTHOROMBISCH  XX naaldvormig tot <u>stengelig</u> (zonder eindvlakken) tot vezelig	
---	--	--	---------------------------------	---	--	--

<b>SILLIMANIET</b> $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  nesosilicaten  190	wit bruinachtig groenachtig	wit  glasglans zijdeglans vetglans	<b>6 - 7</b>  3,2 - 3,3	brs  <b>perfecte splijting</b>  oneffen splinterig conchoïdaal	ORTHOROMBISCH  <u>vezelig tot stengelig</u> (zonder eindvlakken)	andalusiet kyaniet
---	-----------------------------------	--	-------------------------------	--	--	-----------------------

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID $H > 5,5$ (krassen vensterglas)	SPLIJTING: PERFECT
-----------------------------------	--	--------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>EPIDOOT</b> $\text{Ca}_2(\text{Al,Fe}^{3+})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$ sorosilicaten  191	<u>donkergroen</u> <u>zwartgroen</u> <u>geelgroen</u>	groen tot wit  glasglans	<b>6 - 7</b>  3,2 - 3,5	brös  <b>perfecte splijting</b>  oneffen	MONOKLIEN  <u>kort- tot langprismatisch</u> , stengelig tot naaldvormig  XX in bundels  massief tot fijnkorrelig	granaat diopsiet vesuvianiet calciet
---	---	--------------------------------	-------------------------------	--	--	---

<b>SPODUMEEN</b> $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ inosilicaten  192	wit geelwit groenwit grijs geel lila rose groen	wit  glasglans	<b>6,5 - 7</b>  3,1 - 3,2	-  <b>perfecte splijting</b>  <u>splinterig</u> oneffen	MONOKLIEN  XX zeldzaam  in splijtbare massa's	amblygoniet lepidoliet petaliet
--	--	----------------------	---------------------------------	--	---	---------------------------------------

<b>KYANIET</b> $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ nesosilicaten  193	<u>blauw tot blauwwit</u> wit grijs geelachtig groen	wit  glasglans parelmoerglans op splijtvlakken	<b>4,5 - 5</b> in de lengte- richting van het XL (loodrecht daarop: Z)  3,6 - 3,7	brös  <b>perfecte splijting</b>  -	TRIKLIEN  <u>meestal in lange, platte XX</u> (dikwijls licht gebogen)  bladerig, straalvormig	granaat stauroliet
---	--	--	--	--	---	-----------------------

NIET-METAALGLANS, WITTE STREEP	HARDHEID H > 5,5 (krassen vensterglas)	SPLIJTING: PERFECT
-----------------------------------	--	--------------------

NAAM FORMULE KLASSE	KLEUR	STREEPKLEUR GLANS	HARDHEID DICHTHEID	STEVIGHEID SPLIJTING BREUK	KRISTALLEN AGGREGATEN	ASSOCIATIES
---------------------------	-------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------

<b>TOPAAS</b> $\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{F},\text{OH})_2$ nesosilicaten  194	kleurloos wit lichtblauw lichtgeel geelbruin rosebruin rose	wit  glasglans	<u>8</u>  3,4 - 3,6	brs  <u>perfecte splijting</u>  conchoïdaal oneffen	ORTHOROMBISCH  <u>XX</u> prismatisch, dikwijls vlakkenrijk  meestal in XX maar ook massief, korreilig	toermalijn cassiteriet apatiet fluoriet beryl kwarts mica veldspaat
--	---	----------------------	---------------------------	--	---	--

<b>DIAMANT</b> <b>C</b> elementen  195	kleurloos wit grijs tot zwart geelachtig blauwachtig groenachtig bruinachtig roodachtig	-  <u>diamantglans</u> <u>vetglans</u>	<u>10</u>  3,5	brs  <u>perfecte splijting</u>  conchoïdaal	KUBISCH  XX, octaëder, dodecaëder, maar ook tetraëder of kubus maar ook tetraëder of kubus dikwijls gebogen XL-vlakken	
--	--	---	----------------------	---	---	--



# APPENDICES



## Capitulum. xxxi.

**C**arbunculus. Ex libro de na. re. Carbunculus est lapis oim preciosissimus atq; carissimus. et omnium lapidum prohibet fructu predicti. Huius color ignis est. et nocte magis quam die lucet. Nam die obscuratur: nocte vero tantum



EEN 15DE EEUWSE EDELSTENENVERKOPER  
*Ortus Sanitatis, Strasbourg, 1497*

## APPENDIX 1

### *BOEKEN, TIJDSCHRIFTEN EN WEBSITES OVER MINERALOGIE*

Wanneer men zich in de mineralogie wil verdiepen, dan doet men er goed aan om enkele degelijke handboeken aan te schaffen. Men zou zelfs kunnen stellen dat voor wie zich met mineralen bezighoudt, een uitgebreide boekencollectie zeker zo belangrijk is als een uitgebreide mineralencollectie. Jammer genoeg zijn de meeste mineralogie leerboeken in een vreemde taal (Engels of Duits). Het merendeel van de Nederlandstalige werken (welhaast uitsluitend vertalingen) zijn slechts inleidende mineralengidsen. De keuze van deze mineralengidsen is subjectief en men kan ervoor terecht bij de goed gesorteerde boekhandel.

Volgt nu een beknopte lijst van de betere buitenlandse mineralogieboeken en van enkele tijdschriften die zich specifiek tot de mineralenliefhebber richten. Deze lijst omvat uitsluitend recente werken die momenteel bij de boekhandel te koop zijn.

#### *mineralengidsen:*

##### **A Field Guide to Rocks and Minerals (The Peterson Field Guide Series)**

**F.H. Pough**

Houghton Mifflin Company, New York (1998) 6<sup>de</sup> uitgave  
ISBN 0-395-91096-X (paperback), prijsindicatie € 20,-

Een degelijke mineralengids met algemene informatie over verzamelen, mineralen, gesteenten en determinatie. In het beschrijvende gedeelte worden een driehonderdtal mineraalsoorten behandeld (met kleurenfoto's).

De nadruk ligt op het determineren.

#### *leerboeken:*

##### **Dana's Minerals and How to Study Them**

**C.S. Hurlbut, W.E. Sharp**

John Wiley and Sons, New York etc. (1998) 4<sup>de</sup> uitgave  
ISBN 0-471-15677-9, prijsindicatie € 55,-

Op te vatten als een vereenvoudigde uitgave van de 'Manual of Mineral Science'. Algemene inleiding mineralogie met hoofdstukken over chemie, fysische kenmerken, kristallografie en het ontstaan van mineralen. Met een beschrijvend gedeelte van ongeveer 150 soorten. Een aanrader voor de beginnende mineralenliefhebber.

## **Manual of Mineral Science**

**C. Klein**

John Wiley and Sons, New York etc. (2002) 22<sup>ste</sup> uitgave

ISBN 0-471-25177-1, prijsindicatie € 115,-

Zonder enige twijfel het beste leerboek mineralogie. Erg degelijk zijn de inleidingen in de kristallografie en de kristalchemie. Bevat tevens een beschrijvend gedeelte en handige determinatietabellen. Vereist wel wat achtergrondkennis.

### *determinatietabellen:*

#### **Minerale - Bestimmen nach äußeren Kennzeichen**

**R. Hochleitner, H. Von Philipsborn, K.L. Weiner**

Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart (1996) 3<sup>de</sup> uitgave

ISBN 3-510-65164-2, prijsindicatie € 50,-

De kern van dit boek vormt de bijna 300 bladzijden tellende determinatietabel waarin een 500-tal mineralen worden gerangschikt naar streepkleur, hardheid, enz. Naast de determinatietabel bevat het boek nog wat algemene informatie over de eigenschappen van mineralen.

### *systematiek:*

#### **Strunz Mineralogical Tables. A chemical-structural mineral classification system.**

**H. Strunz, E.H. Nickel**

Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart (2001) 9<sup>de</sup> uitgave

ISBN 3-510-65188-X, prijsindicatie € 150,-

Volledige lijst van alle mineralen (tot en met 1999) gerangschikt op een kristalchemische basis. Van elk mineraal wordt de chemische samenstelling en de kristallografische informatie (celparameters en symmetriegroep) vermeld. Dit boek is voornamelijk geschikt voor wie zich in de mineralensystematiek wil verdiepen.

### *mineralenindex:*

#### **Fleischer's Glossary of Mineral Species 1999**

**J.A. Mandarino**

The Mineralogical Record, Tucson (1999) 8<sup>ste</sup> uitgave

Prijsindicatie € 18,-

Volledige alfabetische lijst van alle (tot 1999) officieel erkende mineralen. Van elk mineraal vindt men er de internationaal erkende Engelstalige naam, chemische formule, kristalstelsel, verwantschap met andere mineralen, kleur (indien relevant) en een referentie naar de literatuur. Een handig referentiewerkje voor wat betreft de chemische formules en voor wie een systematische verzameling wenst aan te leggen.

Aanvullingen en verbeteringen verschijnen geregeld in het tijdschrift "The Mineralogical Record".

*referentiewerken:***Dana's New Mineralogy****R.V. Gaines, H.C.W. Skinner, E.E. Foord, B. Mason, A. Rosenzweig**John Wiley & Sons, Inc. New York (1997) 8<sup>ste</sup> uitgave

ISBN 0-471-19310-0, prijsindicatie € 325,-

Beschrijving van alle tot eind september 1995 gekende mineralen, geordend volgens het systeem van Dana. Voornamelijk van belang voor de systematische verzamelaar.

*tijdschriften:***Geonieuws**

Mineralogische Kring Antwerpen, v.z.w., Antwerpen, België

dit tijdschrift bestaat sedert 1975, 10 nummers per jaar

Website: [www.minerant.org/MKA/](http://www.minerant.org/MKA/)

Nederlandstalig tijdschrift met publicaties over alle aspecten van de mineralogie. Geonieuws streeft naar een evenwicht tussen hobby en wetenschappelijke interesse.

**GEA**

Stichting Geologische Activiteiten, Amsterdam, Nederland

dit tijdschrift bestaat sedert 1968, 4 nummers per jaar

Website: [www.gea-geologie.nl/](http://www.gea-geologie.nl/)

Nederlandstalig tijdschrift met publicaties over mineralogie, paleontologie en algemene geologie.

**Lapis**

Christian Weise Verlag GmbH, München, Duitsland

dit tijdschrift bestaat sedert 1976, 12 nummers per jaar

Website: [www.lapis.de/](http://www.lapis.de/)

Duitstalig tijdschrift voor liefhebbers van mineralen en edelstenen. Vindplaatsbeschrijvingen, voornamelijk Europees georiënteerd.

**Mineralogical Record**

Mineralogical Record, Inc. Tucson, Arizona, USA

dit tijdschrift bestaat sedert 1970, 6 nummers per jaar

Website: [www.minrec.org/](http://www.minrec.org/)

Engelstalig tijdschrift met degelijke publicaties over mineralen en mineralenvindplaatsen. Zowel voor de beginnende als voor de gevorderde mineralenliefhebber.

*websites:*

Naast boeken en tijdschriften is ook het "World Wide Web" een enorme bron van informatie voor de mineralenliefhebber. Met betrekking tot mineralen determineren en herkennen zijn er een aantal interessante mineralendatabe-standen op het web te consulteren. Omdat de continuïteit van websites nogal wisselend is, wordt hier enkel verwezen naar de website van de Mineralogische Kring Antwerpen v.z.w.

**<http://www.minerant.org/MKA>**

Naast informatie over de vereniging zelf, brengt deze website uitgebreide en gedeeltelijk becommentarieerde lijsten van internetpagina's met relevante informatie voor de mineralenliefhebber.

*discussielijsten:*

Er zijn op het www diverse discussiegroepen met betrekking tot de mineralogie. Er is ook een Nederlandstalige discussielijst "e-min" waar men met allerlei mogelijke vragen over mineralen en het verzamelen ervan terecht kan. Zie ook op de website van MKA voor meer informatie

## APPENDIX 2

### MINERALENVERENIGINGEN

Wie zich met het verzamelen en bestuderen van mineralen wil bezighouden, doet er goed aan om zich aan te sluiten bij een mineralenvereniging. Men komt er in contact met gelijk geïnteresseerden, men kan er informatie uitwisselen en mineralen ruilen. De meeste verenigingen hebben ook een bibliotheek waar men boeken en tijdschriften kan raadplegen.

Hier volgt een alfabetische lijst van verenigingen voor mineralenliefhebbers in Vlaanderen en Nederland met hun contactadressen en met hun website-adres (indien voorhanden). Voor een up-to-date lijst van alle verenigingen wordt verwezen naar: <http://www.minerant.org/MKA/>

#### *Vlaanderen:*

##### **Academie voor Mineralogie**

Hoge Kaart 73, 2930 Brasschaat  
<http://acam.be>

##### **Geologische en Archeologische Werkgroep Noord-Limburg**

Broeseinderdijk 144, 3910 Neerpelt  
<http://home.tiscali.be/de.steenbreker/>

##### **Geologische Kring Tellus**

Vuntlaan 54, 3012 Wilsele  
<http://www.5stars.be/tellus/>

##### **Geologische Vereniging Limburg**

Schoorbroekstraat 36, 3806 Sint-Truiden  
<http://www.geolithos.be/>

##### **Homo et Natura**

Mastellestraat 67, 3020 Veltem-Beisem  
<http://www.hona.be>

##### **Lithos**

A. Rodenbachlaan 19, 8530 Harelbeke  
<http://www.lithos-harelbeke.org/>

##### **Mineralogische Kring Antwerpen**

Pieter Van den Bemdenlaan 107, 2650 Edegem  
<http://www.minerant.org/MKA/>

**Nautilus-Gent**

Heidestraat 14, 9820 Merelbeke  
<http://surf.to/nautilus-gent>

*Nederland:***GEA, Stichting Geologische Activiteiten**

Struweel 30, 3892 CE Zeewolde  
<http://www.gea-geologie.nl/>

**GEODE, Zwijndrecht**

Haringvlietstraat 79, 4301 XG Zierikzee  
<http://www.xs4all.nl/~geode/>

**Geologische Vereniging "Amathysta"**

Rietschoot 133, 1511 WE Oostzaan  
<http://www.amathysta.nl/>

**Geologische Vereniging "Het Kristal"**

Omloop 70, 9401 VK Assen  
<http://www.kristal groningen.nl/>

**Geologische Vereniging IJsselland**

Roerdomp 44, 7423 CW Deventer

**Kring Zwarte Woud Mineralen Nederland**

Roerdomp 44, 7423 CW Deventer

**Nederlandse Geologische Vereniging**

Kwaadeindstraat 75, 5041 JK Tilburg  
<http://www.geo.uu.nl/ngv/>

**Nederlandse Lapidaristen Club**

Gladioolweg 17, 1338 LK Almere-Buiten  
<http://www.mineralennlc.nl/>

**Stichting Geologische Kring Den Bosch**

Beneluxlaan 3, 5298 TH Liempde  
<http://www.geokring.nl/>

**Zuid Nederlandse Lapidaristen Vereniging**

Heggenroosstraat 2-b  
5644 EH Eindhoven

## APPENDIX 3

### WERKBLAD MINERALEN HERKENNEN

Voor het **leren mineralen herkennen** is de determinatietabel in hoofdstuk 12 erg geschikt, vooral wanneer ze gebruikt wordt binnen het kader van begeleide oefeningen. Bij dergelijke oefeningen wordt uitsluitend met mineralen gewerkt die in de determinatietabel voorkomen. Op die manier leert men deze mineralen nauwkeurig te observeren en hun kenmerken in te schatten. Om het observeren en vaststellen van eigenschappen op een systematische manier te doen verlopen kan men dit werkblad gebruiken.

**MINERAALNAAM:** .....

**GLANS:** .....

- ga na of het mineraal een metaalglans of een niet-metaalglans heeft.
- indien men een metaalglans vermoedt, dan de glans bepalen aan een vers oppervlak. Als een scherp onderscheid onmogelijk is, dan spreekt men van half-metaalglans.
- in geval van niet-metaalglans eventueel verder specificeren (diamantglans, glasglans, parelmoerglans, zijdeglans, vetglans, harsglans, ...)

**KLEUR:** .....

- In geval van metaalglans, kleur bepalen aan vers oppervlak.

**STREEP:** .....

- Bepalen met behulp van ongeglazuurd porselein plaatje (beperkt tot mineralen met hardheid kleiner dan 7).
- Een gekleurd mineraal met kleurloze streep is meestal allochromatisch.



**HARDHEID:** .....

- Beschadig een mooi mineraal specimen nooit met een hardheidstest!
- Hier volstaat een benaderende waarneming als volgt:
  - het mineraal is krasbaar met vingernagel  $H < 2.5$
  - het mineraal wordt door een mes gekrast  $H < 5$
  - het mineraal krast zelf vensterglas  $H > 6$
- Hardheid altijd bepalen op een vers breukvlak.
- Bekijk het ontstane krasje met de loep.

**DICHTHEID:** .....

- Beschrijf de dichtheid als relatief laag, gemiddeld of relatief hoog.
- Als gemiddelde dichtheid voor niet-metallisch glanzende mineralen neemt men 2.65 tot 2.75 voorbeelden: kwarts (2.65), calciet (2.72), veldspaten (2.6 - 2.75).
- Als gemiddelde dichtheid voor metallisch glanzende mineralen neemt men 5.0 (pyriet)

**SPLIJTING:** .....

- Geef eerst de kwaliteit van de splijting aan; bv. perfect, duidelijk, onduidelijk, afwezig.
- Geef vervolgens aan of er meerdere, verschillend georiënteerde, splijtvlakken aan een kristal waar te nemen zijn.
- Niet alle mineralen vertonen splijting en niet altijd is aanwezige splijting duidelijk met het blote oog waarneembaar; men kijkt dus steeds met de loep.

**BREUK:** .....

- Wanneer een mineraal niet breekt volgens splijtvlakken dan treedt breuk op.
- Om een breuk te beschrijven gebruikt men o.a. volgende termen: conchoïdaal, subconchoïdaal, metaalbreuk (hakende breuk), effen, oneffen, splinterig, ruw, vezelig, ...

## KRISTALMORFOLOGIE: .....

.....

- Wanneer een kristal goed ontwikkeld is, dan kan men het meestal in een van de zeven kristalstelsels onderbrengen; kubisch, tetragonaal, orthorombisch, hexagonaal, trigonaal, monoklien, triklien.
- Het globale uitzicht kan men als volgt weergeven:
  - i. Kristallen die sterk uitgegroeid zijn in één richting beschrijft men als kolom- en zuilvormig. Afhankelijk van de lengte/dikte verhouding spreekt men ook van stengelig, naaldvormig, haarvormig (capillair) etc. Men kan ook de term prismatisch gebruiken en naargelang het uitzicht spreekt men dan van kort- tot langprismatisch.
  - ii. Kristallen die sterk uitgegroeid zijn in twee richtingen noemt men tafelig (dun- tot diktafelig), plaatvormig of bladerig.
  - iii. Kristallen die in alle richtingen gelijkmatig ontwikkeld zijn; men spreekt soms van isometrische kristallen (van zo'n kristal zijn lengte, breedte en hoogte ongeveer gelijk).

## AGGREGAATVORM: .....

.....

- Als de kristallen in aggregaten voorkomen, gebruik dan volgende termen; bladerig, lamellair, geband, bolvormig, niervormig, korrelig, oölietisch, dendrietisch, stalactietisch, geode ...



## INDEX

(de schuine vetgedrukte nummers verwijzen naar de nummers in de determinatietabel van hoofdstuk 12).

### A

- aanloopkleur, ..... 170  
aardalkalimetalen, ..... 37  
aardkorst, ..... 17, 25  
absorptie, ..... 168, 175, 238  
accessorische mineralen, ..... 19  
actiniden, ..... 38, 169, 175  
actinoliet, ..... 8, 226, **93**, **156**, **182**  
activator, ..... 175  
ader, ..... 20  
adulaar, ..... 170, (orthoklaasvariëteit)  
adularescentie, ..... 170  
afdeling, ..... 212  
afzetting, ..... 22, 26  
afzettingsgesteente, ..... 22  
agaat, ..... 9, 128, zie kwarts  
aggregaat, ..... 129, 142, 148  
aggregatietoestand, ..... 57  
albiet, ..... 8, 79, 100, 227, **187**  
alkalimetalen, ..... 37  
allochromatisch, ..... 172  
alluvium, ..... 23  
almandien, ..... 8, zie granaat  
Alpiene rekspleet, ..... 20  
aluminosilicaat, ..... 47  
amblygoniet, ..... 225, **188**  
amethyst, ..... 9, zie kwarts  
amfibool, ..... 8  
ammoniumion, ..... 47  
amorf, ..... 58, 128  
analcien, ..... 227, **133**  
analyse, ..... 233, 242  
analyse, chemische, ..... 233, 237  
anataas, ..... 223, **28**, **46**, **186**  
andalusiet, ..... 226, **176**  
andradiet, ..... 8, 47, zie granaat  
anglesiet, ..... 225, **103**  
Ångström, ..... 152  
anhedrisch, ..... 128  
anion, ..... 44, 59, 212  
anisotroop, ..... 164  
ankeriet, ..... 224, **141**  
anorthiet, ..... 8, 79, **187**  
antigoriet, ..... zie serpentijn  
antimoniet, ..... zie stibniet  
apatiet, ..... 8, 225, **135**  
apofylliet, ..... 227, **149**  
aquamarijn, ..... 9, zie beryl  
aragoniet, ..... 224, **126**  
arseen, ..... 221, **11**, **79**  
arsenaat, ..... 46  
arsenaten, ..... 212, 214, 216, 218, 222, 229  
arsenieten, ..... 214, 219, 223  
arsenopyriet, ..... 222, **15**  
asbest, ..... 131, zie ook **109**, **156**, **182**  
assenstelsel, ..... 110  
associatie, ..... 26, 247  
aatom, ..... 31, 39, 44  
aatomkern, ..... 31  
aatommassa, ..... 32, 35, 150, 233  
aatommassa-eenheid, ..... 32  
aatommodel, ..... 39  
aatomnummer, ..... 32, 35, 61, 62  
aatomprocent, ..... 233  
aatoomsort, ..... 31, 34  
aatomverhouding, ..... 234  
augiet, ..... 8, 226, **74**, **94**, **157**, **183**  
aurichalciet, ..... 224, **82**  
auripigment, ..... 222, **54**  
autuniet, ..... 226, **57**  
azuriet, ..... 224, **85**
- ### B
- balans, ..... 153  
bariet, ..... 225, **123**  
barsten, ..... 185  
basaalvlak, ..... 103  
basalt, ..... 18  
basispinacoïd, ..... 103, 115, 117-122  
bauxiet, ..... 8, **47**, **53**, **67**, **96**  
bergkristal, ..... 9, zie kwarts  
beryl, ..... 9, 226, **178**  
Berzelius, ..... 211  
bijkomstige mineralen, ..... 19  
bindingstype, ..... 43, 58  
biotiet, ..... 8, 227, **120**  
blaaspip, ..... 181

- blaaspijpvlam, ..... 190, 199  
 bladerig, ..... 126, 129, 130  
 Bohr, Niels, ..... 39  
 bol-en-staafjes-model, ..... 63  
 bolvormig, ..... 129  
 boraat, ..... 46, 215  
 boraten, ..... 46, 212, 214, 218, 224, 229  
 borax, ..... 224, **99, 112**  
 boraxparel, ..... 199  
 borniet, ..... 222, **36, 43**  
 borosilicaat, ..... 219  
 botryoïdaal, ..... 129, 132  
 bournoniet, ..... 222, **7, 22**  
 Bragg, W.H., ..... 211, 244  
 Bragg-vergelijking, ..... 244  
 Bravais (wet van), ..... 90  
 brekingsindex, ..... 163, 164, 166  
 breukvlak, ..... 142, 148, 166  
 bromoform, ..... 155, 156  
 brookiet, ..... 223, **63, 165**  
 bros, ..... 143  
 brutoformule, ..... 233  
 bunsenbrander, ..... 180
- C**
- calciet, .....  
 .....77, 100, 132, 145, 164, 224, 245, **121**  
 capillair, ..... 126  
 carbiden, ..... 213, 221  
 carbonaat, ..... 45, 46  
 carbonaten, .. 212, 214, 216, 218, 224, 229  
 Carrageot, Arnoult, ..... 86  
 cassiteriet, ..... 223, **34, 65, 76, 169**  
 celestien, ..... 100, 225, **122**  
 celparameters, ..... 74, 152, 243  
 cerussiet, ..... 224, **107**  
 chabaziet, ..... 227, **131, 148**  
 chalcedoon, ..... 9, zie kwarts  
 chalcogenen, ..... 37  
 chalcopyriet, ..... 222, **38**  
 chalcosiet, ..... 222, **6, 21**  
 chemie, ..... 29  
 chemische analyse, ..... 233, 237  
 chemische binding, ..... 41, 42, 59  
 chemische elementen, ..... 35  
 chemische formule, .....  
 ..... 44-48, 76, 78, 150, 233  
 chemische samenstelling, 24, 150, 170, 233
- chemische verwerking, ..... 22, 79  
 chloride, ..... 45  
 chloriet, ..... 8, 227, **87, 116**  
 chromaat, ..... 46  
 chromaten, ..... 212, 214, 216, 218, 225  
 chromiet, ..... 223, **29, 72**  
 chromofoor, ..... 169-171  
 chrysocola, ..... 227, **84, 89, 101**  
 chrysotiel ..... (zie serpentijn) **109, 125**  
 cinnaber, ..... 222, **49**  
 citrien, ..... 9, zie kwarts  
 classificatie, ..... 211, 212, 217  
 Clerici oplossing, ..... 155  
 clinografische projectie, ..... 84  
 CNMMN, ..... 5  
 coelestien ..... (zie celestien)  
 colemaniet, ..... 224, **146**  
 concentrisch, ..... 129  
 conchoïdaal, ..... 148  
 concretie, ..... 130  
 conglomeraat, ..... 23  
 contactmetamorfose, ..... 24  
 coördinatenstelsel, ..... 74  
 coördinatie, ..... 64  
 coördinatiegetal, ..... 62, 64  
 coördinatiepolyeder, ..... 62, 64  
 cordieriet, ..... 226, **173**  
 covalent, ..... 45, 66  
 covalente binding, ..... 43, 66  
 covellien (zie covelliet), ..... 222  
 covelliet, ..... 222, **45, 77**  
 crocidoliet ..... (asbestvormig riebeckiet)  
 crocoiet, ..... 225, **58**  
 cryptokristallijn, ..... 128  
 cupriet, ..... 223, **14, 50**  
 cyaniet ..... (zie kyaniet), 226  
 cyclosilicaat, ..... 214, 216, 226
- D**
- Dalton, John, ..... 31  
 Dana, James Dwight, ..... 217, 247  
 defect, ..... 124, 126  
 dendriet, ..... 79, 130  
 detector, ..... 238, 241, 245  
 determinatiesleutel, ..... 260, 262  
 determinatietabel, ..... 249, 255, 262  
 determineren, ..... 8, 233, 247, 255  
 diagenese, ..... 23  
 diamant, ..... 68, 70, 76, 151, 221, **195**

- diamantglans, ..... 166  
dichtheid, ..... 150, 152, 157, 163  
dichtheidsbalans, ..... 153  
dieptegesteente, ..... 18  
diffractie, ..... 170, 242  
diffractometer, ..... 245  
diopsiet, ..... 8, 226, **138, 158, 164, 184**  
dipiramide, ..... 104, 114, 118, 120, 122  
dipool, ..... 69  
disfenoïd, ..... 118, 119  
dispersie, ..... 170  
dodecaëder, ..... 110, 112  
dolomiet, ..... 224, **141**  
doorloper, ..... 26  
doorschijnend, ..... 165, 166  
doorvallend licht, ..... 165  
doorzichtig, ..... 165, 166  
doorzichtigheid, ..... 165  
dracht, ..... 104  
draviet, ..... 8, zie toermalijn  
drietallige as, ..... 94, 111, 127  
driewaardig, ..... 44  
dubbelbrekend, ..... 164  
dubbelbreking, ..... 164  
ductiel, ..... 143  
d-waarde, ..... 242, 244
- E**
- edelgassen, ..... 37, 41, 69  
edelsteen, ..... 23, 79  
edelsteenmineralen, ..... 23  
edelsteenvariëteiten, ..... 9  
éénatomig anion, ..... 45  
eerste orde, ..... 114, 118  
eerste orde prismavlak, ..... 114  
effen breuk, ..... 148  
elastisch, ..... 143  
elbriet, ..... 8, zie toermalijn  
elektromagnetische golf, ..... 161  
elektron, ..... 32, 168  
elektronegativiteit, ..... 66, 67  
elektronenconfiguratie, ..... 41, 59  
elektronengas, ..... 71  
elektronenmicroscop, ..... 239, 241  
elektronenmicrosonde, ..... 237  
elektronenschil, ..... 39  
elektronenstructuur, ..... 39  
elektronenwolk, ..... 31, 42, 60  
element, ..... 31, 35, 171, 199, 215
- elementaire cel, ..... 74, 75, 88, 152  
elementen, . 34, 37, 212, 215, 217, 221, 228  
emissiespectrum, ..... 162  
enargiet, ..... 222, **10, 23, 78**  
enkelbrekend, ..... 164  
enkelvoudige stof, ..... 34  
epidoot, ..... 226, **95, 181**  
EPMA, ..... 237  
ertsader, ..... 20, 22  
erythrien, ..... 225, **48**  
etsputjes, ..... 102  
euhedrisch, ..... 124  
evenwichtsafstand, ..... 60
- F**
- fase, ..... 58  
fayaliet, ..... 8, 78, 151, zie olivijn  
fijnkorrelig, ..... 18  
flexibel, ..... 143  
flogopiet, ..... 8, 227, **119**  
fluorapatiet, ..... 8, 46, zie apatiet  
fluorescentie, ..... 162, 174  
fluoride, ..... 45  
fluoriet, ..... 88, 101, 133, 145, 223, **147**  
formule, ..... 44, 151, 233  
formulegewicht, ..... 150, 152, 233  
forsteriet, ..... 8, 78, 151, zie olivijn  
fosfaat, ..... 46, 47  
fosfaten, ..... 212, 214, 216, 218, 226, 229  
fosfiden, ..... 213, 215, 221  
fosforescentie, ..... 174  
fosforzout, ..... 199  
fotonen, ..... 161, 168, 174  
fyllosilicaat, ..... 214, 216, 227  
fysische kenmerken, ..... 137, 247
- G**
- galeniet, ..... 222, **8**  
gas, ..... 57, 91  
geband, ..... 129, 133  
geode, ..... 130  
gesloten vorm, ..... 104, 110  
gesloten-buisjes-test, ..... 184  
gesteente, ..... 17  
gesteentevormende mineralen, ..... 18, 19  
getal van Avogadro, ..... 152  
gewichtsprocent, ..... 233  
gips, ..... 100, 225, **115**  
glans, ..... 157, 166  
glas, ..... 18

glasglans, .....	166
globulair, .....	129
gloeien, .....	162, 185
goethiet, .....	8, 133, 223, 240, <b>52, 61, 71</b>
golflengte, .....	161, 238, 242, 244
golftheorie, .....	161
goud, .....	221, 241, <b>35</b>
grafiet, .....	70, 76, 151, 221, <b>2, 20</b>
granaat, .....	8, 226, <b>172</b>
graniet, .....	18
grint, .....	23, 26
groeisnelheid, .....	89, 92, 124
groep, .....	7, 8, 77, 129, 216, 226, 237
groepsnaam, .....	8
grofkorrelig, .....	18
grossulaar, .....	8, zie granaat
<b>H</b>	
haarvormig, .....	126
habitus, .....	105, 124, 126
hakende breuk, .....	149
halfmetaal, .....	213, 215
halfmetaalglans, .....	166
haliet, .....	59, 62, 63, 75, 223, <b>114</b>
halogenen, .....	37, 218
halogeniden, .....	212, 215, 218, 223, 228
hardheid, .....	137, 142, 151
hardheidsschaal, .....	138
hardheidsstiften, .....	140
harsglans, .....	166
hematiet, .....	130, 132, 223, <b>17, 32, 51</b>
hemimorfiet, .....	226, <b>151</b>
herkennen, .....	228, 250, 256
heulandiet, .....	227, <b>140</b>
hexaëder, .....	111
hexagonaal, .....	99, 101, 114, 116
hoek (tussen kristalvlakken), .....	86, 87
holte, .....	130
hoornblende, ..	8, 226, <b>62, 73, 92, 155, 181</b>
hydraat, .....	47
hydrothermaal, .....	20, 23
hydroxide, .....	46, 213, 222
hydrozinciet, .....	224, <b>102</b>
<b>I</b>	
idiochromatisch, .....	170
idiomorf, .....	124
ilmeniet, .....	223, <b>30</b>
IMA, .....	3
indicator, .....	156
infrarood, .....	161
inosilicaat, .....	214, 216, 226
inluisel, .....	79, 165
interferentiekleur, .....	170
invalshoek, .....	163, 243
invariabele vorm, .....	104
ion, .....	42, 44, 59, 60
ionbinding, .....	42, 59
ionkristal, .....	61
ionstraal, .....	60
isometrisch, .....	126
isomorfe reeks, .....	78
isomorfisme, .....	78, 213
isostructureel, .....	77
isotroop, .....	164
<b>J</b>	
jamesoniet, .....	222, <b>5</b>
jaspis, .....	9, zie kwarts
jodaten, .....	214, 218, 223
<b>K</b>	
kalksteen, .....	23, 24
kaolien, .....	(= mengsel, <b>97</b> )
kaoliniet, .....	227, <b>97</b>
kation, .....	44, 59, 62
kern, .....	31, 39, 61, 130
keukenzout, .....	34
klasse, .....	212, 228
klei, .....	22
kleisteen, .....	23
kleur, .....	168, 174
kleur van het poeder, .....	174
kleurcentra, .....	169
kleurenspeel, .....	170
kobaltglas, .....	197
kolomvormig, .....	126
koningswater, .....	202
koper, .....	221, <b>42</b>
korrelig, .....	130, 149
korund, .....	9, 147, 223, <b>180</b>
kras, .....	138, 142
kristal, .....	58, 72, 83, 109
kristalgroei, .....	92
kristalkiem, .....	91
kristalklasse, .....	99, 101, 109
kristallijn, .....	128
kristallisatie, .....	91
kristallografie, .....	110
kristalrooster, .....	72, 90

- kristalstelsel, ..... 99, 109  
kristaltekening, ..... 84  
kristalvlak, ..... 83, 90, 92  
kristalvorm, ..... 102  
kristalwater, ..... 47, 215, 218  
kubisch, ..... 99, 101, 110  
kubus, ..... 88, 94, 98, 111-113  
kwalitatieve analyse, ..... 233  
kwantitatieve analyse, ..... 233, 239, 241  
kwantumtheorie, ..... 161  
kwarts, ..... 83, 127, 223, **171**  
kwik, ..... 3  
kyaniet, ..... 226, **152, 193**
- L**
- lamellair, ..... 129  
lanthaniden, ..... 37, 169, 175  
legering, ..... 213, 217, 222  
lepidoliet, ..... 8, 227, **118**  
leuciet, ..... 227, **160**  
licht, ..... 161, 168, 174  
lichtbreking, ..... 163, 168  
limoniet, ..... 8, **52, 61, 66, 71**  
luminescentie, ..... 162, 174, 185
- M**
- magma, ..... 18, 24  
magmatisch gesteente, ..... 18, 22  
magnesiet, ..... 224, **127, 142**  
magnetiet, ..... 223, **31**  
magnetisch, ..... 187  
magnetisme, ..... 157  
malachiet, ..... 224, **90**  
manganiet, ..... 223, **12, 25, 69**  
marcasiet, ..... 222, **40**  
marmer, ..... 23  
mat, ..... 167  
meeratomig anion, ..... 45  
Mendeleev, ..... 35  
mengkristal, ..... 78, 151  
metaal, ..... 71, 213, 215  
metaalbinding, ..... 71  
metaalglans, ..... 166  
metaalstructuur, ..... 71  
metallisch, ..... 157, 166  
metamorfe gesteente, ..... 23  
metamorfose, ..... 23  
methyleeniodide, ..... 155, 156  
mica, ..... 8  
microkristallijn, ..... 128  
micron (micrometer), ..... 245  
microscoop, ..... 128  
microsonde, ..... 237  
Miller indices, ..... 110  
milleriet, ..... 222, **37**  
mineraal, ..... 3  
mineraalnamen, ..... 6  
mineraalsoort, ..... 5  
mineralenafzetting, ..... 26  
mineralengroepen, ..... 7  
mineralennamen, ..... 10  
mineralogie, ..... 211  
Mohs (hardheidsschaal van), ..... 138  
molecule, ..... 34, 69  
molybdaat, ..... 46  
molybdaten, ..... 212, 214, 216, 219, 225  
molybdeniet, ..... 222, **3**  
monoëder, ..... 123  
monoklien, ..... 99, 100, 122  
morfologie, ..... 83, 88, 92  
morganiet, ..... 9  
mosagaat, ..... 79, zie kwarts  
muscoviet, ..... 8, 227, **117**
- N**
- naaldvormig, ..... 126  
nanometer, ..... 31  
natroliet, ..... 227, **132, 154**  
nefelen, ..... 227, **161**  
nesosilicaat, ..... 214, 216, 226  
net, ..... 73  
neutron, ..... 31  
niet-metaal, ..... 166, 213, 221  
niet-metaalglans, ..... 166  
nikkelien, ..... 222, **44**  
nitraat, ..... 46  
nitraten, ..... 212, 214, 218, 224  
normalen, ..... 87
- O**
- obsidiaan, ..... 18  
octaëder, ..... 65, 89, 110-113  
octetstructuur, ..... 40  
olivijn, ..... 8, 78, 151, 226, **170**  
oölietisch, ..... 130, 133  
opaak, ..... 165  
opaal, ..... 170  
opbruisen, ..... 202  
open vorm, ..... 103, 104, 114, 118  
open-buisjes-test, ..... 188



- optisch anisotroop, ..... 164  
optisch isotroop, ..... 164  
optische dichtheid, ..... 163  
orthoklaas, ..... 8, 97, 227, **187**  
orthorombisch, ..... 99, 120, 122  
overeenkomstige vlakken, ..... 85, 86  
overgangsmetalen, ..... 38, 169, 171, 175  
oxide, ..... 45, 213, 222, 235  
oxiden, ..... 212, 215, 218, 223, 229, 235  
oxiderende vlam, ..... 181, 199
- P**
- paragenese, ..... 26  
paragenetische sequentie, ..... 26  
parelmoerglans, ..... 167  
parting, ..... 146  
patroon, ..... 58, 72, 74, 88, 96  
pedion, ..... 123  
pegmatiet, ..... 19  
pentagondodecaëder, ..... 111, 112  
periode, ..... 37  
periodiek systeem, ..... 35, 36  
perspectieftekening, ..... 84, 85  
pinacoïd, ..... 115, 117, 118, 120, 122  
piramide, ..... 103, 104, 114, 116, 118  
plaatvormig, ..... 126, 129  
platinadraad, ..... 197, 199  
plutoniet, ..... 18  
plutonisch, ..... 18  
poeder, kleur van het, ..... 174  
poederdiffractometer, ..... 245  
polymorf, ..... 76, 242  
ppb, ..... 236  
ppm, ..... 236, 239  
prehniet, ..... 226, **166**  
primaire ertsafzetting, ..... 22  
prisma, ..... 103, 114-122, 162  
prismatisch, ..... 115, 126  
procent ionisch karakter, ..... 68  
projectie, ..... 84  
proton, ..... 31  
psilomelaan, ..... 8  
puntdefect, ..... 170  
pyriet, ..... 96, 222, **41**  
pyritoëder, ..... 111  
pyrolusiet, ..... 223, **1, 19**  
pyromorfiet, ..... 225, **129**  
pyroop, ..... 8, zie granaat  
pyroxeen, ..... 8
- pyrrhotiet, ..... 157, 222, **39**
- R**
- radiaalstralig, ..... 129, 131  
rasterelektronenmicroscoop, ..... 239, 241  
realgar, ..... 222, **55**  
reducerende vlam, ..... 182, 199  
reductie, ..... 182  
referentieverzameling, ..... 220  
reflectie, ..... 163, 168, 242  
refractie, ..... 163, 168  
regionale metamorfose, ..... 23  
rekspleet, ..... 20  
rhodochrosiet, ..... 224, **143**  
rhodoniet, ..... 226, **185**  
ribbe, ..... 91  
riebeckiet, ..... 8, 226, **86, 163**  
rivierafzetting, ..... 26  
robijn, ..... 9, zie korund  
rombendodecaëder, ..... 111  
romboëder, ..... 116, 117  
Romé de l'Isle, Louis, ..... 86  
Röntgenstralen, ..... 161, 237  
rookkwarts, ..... 9, zie kwarts  
rooster, ..... 73  
roosterpunt, ..... 73, 90  
rozekwarts, ..... 9, zie kwarts  
Rutherford, Ernest, ..... 39  
rutiel, ..... 223, **18, 33, 64, 75, 168**
- S**
- saffier, ..... 9, zie korund  
salpeterzuur, ..... 183  
samengestelde stof, ..... 34  
samenstelling, ..... 44, 170, 233  
samenstelling aardkorst, ..... 25  
scalenoëder, ..... 116  
schaal van Mohs, ..... 138  
scheeliet, ..... 225, **130**  
schelpvormige breuk, ..... 148  
schijn, ..... 170  
schil, ..... 39, 41, 42, 168  
schist, ..... 23  
schörl, ..... 8, zie toermalijn  
Schrödinger, Erwin, ..... 40  
secundaire mineralen, ..... 22  
sediment, ..... 22  
sedimentgesteente, ..... 22  
SEM, ..... 239, 241  
serpentijn, ..... 227, **109, 125**

sfaleriet,.....	222, <b>24, 60, 68, 80, 145</b>	streping, .....	126
sferisch, .....	129	striatie, .....	102, 126, 147
sideriet,.....	224, <b>144</b>	strontianiet,.....	224, <b>128</b>
silicaat, .....	45, 46, 78	Strunz, Hugo, .....	212, 221
silicaten, ...	46, 79, 212, 214, 216, 227, 229	sublimaatvorming,.....	187
siliciden, .....	213, 215, 221	sublimatie,.....	91
sillimaniet, .....	226, <b>190</b>	substitutie,.....	78, 79, 216
skutterudiet,.....	222, <b>16</b>	sulfaat, .....	45, 46
smaragd,.....	9, zie beryl	sulfaten,.....	212, 214, 216, 218, 225, 229
smeedbaar, .....	143	sulfide,.....	45, 78
smeltbaar,.....	190	sulfiden,.....	212, 215, 217, 222, 228
smelten, .....	184	sulfieten,.....	214, 218, 223
smeltpunt, .....	58, 91, 190	sulfozouten, .....	213, 215, 217, 222
smithsoniet,.....	224, <b>137, 153</b>	sylviet, .....	223, <b>113</b>
sodalië,.....	227, <b>159</b>	symmetrie, .....	93, 99, 109
soort, .....	74, 84, 110	symmetrieas,.....	93, 99, 116
soortelijk gewicht,.....	150, 152	symmetriecentrum,.....	97
soortelijke massa,.....	150	symmetrie-element, .....	93, 98, 109
sorosilicaat, .....	214, 216, 226	symmetrievlak, .....	98
species, .....	5	systematiek, .....	209
spectrum, .....	241	systematische verzameling,.....	220, 256
spessartien, .....	8, zie granaat	<b>T</b>	
spiegelvlak,.....	98	taaiheid, .....	143
spinel, .....	223, <b>179</b>	tabel van Mendeleev, .....	35, 36
splijtfragment,.....	145	tafelig, .....	126
splijting, .....	144	talk, .....	227, <b>110</b>
splijtrichting,.....	145	talligheid, .....	94
splijtvlak,.....	144	tautozonaal, .....	84
splinterig, .....	148	tectosilicaat,.....	214, 216, 227
spodumeen,.....	8, 226, <b>192</b>	tennantiet,.....	222, <b>13, 26</b>
sporen,.....	78, 236	terminatie,.....	115
stalactiet,.....	130, 132	terugkaatsingshoek,.....	163
stapeling, .....	63, 151	tetraëder, .....	65, 68, 111-113, 118
stapelingsmodel, .....	63	tetraëdriet, .....	222, <b>13, 26</b>
stauroliet, .....	226, <b>175</b>	tetragonaal,.....	99, 101, 118
stelsel,.....	99, 109	thalliumformaat, .....	156
stengelig, .....	126	thalliummalonaat, .....	156
Steno (zie Stensen), .....	86, 90	thermoluminescentie, .....	185
Stensen, Nils, .....	86	thermometamorfose, .....	23
stevigheid, .....	143	titanië,.....	226, <b>136</b>
stibniet, .....	222, <b>4</b>	toermalijn,.....	8, 127, 226, <b>174</b>
stilbiet, .....	227, <b>139</b>	topaas,.....	226, <b>194</b>
stollingsgesteente, .....	18	torberniet,.....	226, <b>88</b>
stralenverhouding, .....	64, 65	transuraan,.....	38
streek (zie streep), .....	174	trapezoëder, .....	111-113
streep,.....	174	tremoliet,.....	226, <b>156, 182</b>
streepkleur, .....	174	trigonaal,.....	99, 100, 116
streepplaatje,.....	174	triklien, .....	99, 100, 123

turkoois,.....	225, <b>134, 162</b>	vulkanisch gesteente,.....	18
tweede orde,.....	114, 118	<b>W</b>	
tweelingvorming,.....	146	wad,.....	8
tweetailige as,.....	94	wavelliet,.....	131, 225, <b>108, 124</b>
tweevlakshoek,.....	86	websites,.....	247
tweewaardig,.....	44	weerkaatsing,.....	163, 168
<b>U</b>		wet van Archimedes,.....	153
uitvloeingsgesteente,.....	18	wet van Bragg,.....	211, 244
ulexiet,.....	224, <b>98</b>	wet van Bravais,.....	90
ultraviolet,.....	162, 174	wet van Stensen,.....	86, 90
uraninit,.....	223, <b>81, 91</b>	wisselende valentie,.....	44
uranyl,.....	214, 223-226	wit licht,.....	168
uvaroviet,.....	8, zie granaat	witheriet,.....	224, <b>106</b>
UV-licht,.....	174	wolframaat,.....	46
<b>V</b>		wolframaten,.....	212, 214, 216, 219, 225
valentie,.....	41, 44, 46, 139, 169	wolframiet,.....	223, <b>27, 70</b>
valentie-elektron,.....	41	wollastoniet,.....	226, <b>150</b>
valse splijting,.....	146	wulfeniet,.....	101, 225, <b>104</b>
van der Waals, Diderik,.....	69	<b>X</b>	
van der Waals-krachten,.....	69	x-stralen,.....	161, 211, 237, 242-245
vanadaat,.....	46	x-stralendiffractie,.....	211, 242-245
vanadaten,.....		x-stralen-poederdiffractometrie,.....	242
.....	212, 214, 216, 218, 223, 226, 229	<b>Z</b>	
vanadiniet,.....	101, 225, <b>59, 105</b>	zand,.....	23, 26
variabele vorm,.....	104	zandsteen,.....	23
variëteitnaam,.....	9	zeldzame aarden,.....	38
vaste stof,.....	58	zeoliet,.....	214, 216, 219, 227
veiligheidsvoorschriften,.....	156, 183, 187	zestallige as,.....	96
veldbenaming,.....	8	zichtbaar licht spectrum,.....	161
veldspaat,.....	8, <b>187</b>	zijdeglans,.....	167
verbinding,.....	34, 41, 44	zjpinacoïd,.....	121, 122
verweerd,.....	142, 174	zilver,.....	221, <b>9</b>
verwering,.....	22	zirkoon,.....	226, <b>177</b>
verzameling,.....	220, 228	zoisiet,.....	226, <b>189</b>
vesuvianiet,.....	226, <b>167</b>	zone,.....	83, 91
vetglans,.....	167	zone-as,.....	84
vezelig,.....	129, 131	zoutzuur,.....	183
viertallige as,.....	95	zuilvormig,.....	126
vijftallige as,.....	96	zuur,.....	183, 202
vindplaats,.....	247	zware vloeistof,.....	152, 155
vivianiet,.....	225, <b>83, 111</b>	zwavel,.....	215, 221, <b>56, 100</b>
vlak,.....	84, 90, 95, 103	zwavelzuur,.....	183, 184
vlamkleur,.....	197		
vloeistof,.....	57, 155		
von Kobell,.....	190		
von Laue, Max,.....	211		
vorm,.....	102-104, 109, 124		
vulkanisch,.....	18		

