

INHOUD



INLEIDING 6

DE WERELD VAN GESTEENTEN EN MINERALEN 8

In de aarde	10
Continenten en platen	12
De bewegende aarde	14
Bergvorming	16
Aardbevingen en breuken	18
Vulkanen	20
Magmatische kenmerken	22
De gesteentecyclus	24
Hoe magmatische gesteenten ontstaan	26
Hoe afzettingsgesteenten ontstaan	28
Hoe metamorfe gesteenten ontstaan	30
Gesteentelandschappen	32
De tijdperken van de aarde	34
Gesteenten en fossielen	36
Geologische kaarten	38
Het landschap lezen	40
Hoe mineralen ontstaan	42
Mineraalkristallen	44
Fysische eigenschappen van mineralen	46
Optische eigenschappen van mineralen	48
Minerale edelstenen	50
Minerale ertsen	52
Gesteenten en mineralen verzamelen	54
Gesteenten classificeren	56
Mineralen classificeren	58

OVERZICHT VAN GESTEENTEN 60

Gesteenten identificeren	62
Magmatische gesteenten	64
Afzettingsgesteenten	96
Metamorfe gesteenten	116

OVERZICHT VAN MINERALEN 134

Mineralen identificeren	136
Mineralen identificeren naar omgeving	138
Elementen	140
Sulfiden en zwavelzouten	146
Oxiden	156
Zouten	164
Carbonaten, nitraten en boraten	170
Sulfaten, chromaten en molybdaten	178
Fosfaten, arsenaten en vanadaten	190
Silicaten	202
Organische mineralen en mineraloïden	226
Ertsvormende mineralen	228
Woordenlijst	250
Register	252



INLEIDING

In het begin van de 19e eeuw, toen mensen nog maar net begonnen waren gesteenten en mineralen te verzamelen, beschreef de beroemde Schotse auteur Sir Walter Scott (1771-1832) geologen als volgt: 'Sommigen rennen de heuvels op en dalen in, ze tikken de stenen in stukken zoals veel stratenmakers als waanzinnigen doen. Ze zeggen dat ze dan kunnen zien hoe de wereld is gemaakt!' Nog steeds vinden veel mensen het zoeken naar gesteenten en mineralen een merkwaardige bezigheid.

Ga eens naar een strand of een rivier, waar het stromende water zand- en grindbanken heeft gevormd. Daar liggen allerlei

Onder: mooie exemplaren van mineralen zoals deze zijn zeldzaam en zeer gezocht onder verzamelaars. Dit is 'daisy gypsum' (boven), 'hondentandspaat' calciet (links midden), 'blue john' fluoriet (rechts midden) en pyriet (onder), ook bekend als 'gekkengoud'.



stenen. Eerst zien ze er waarschijnlijk allemaal saai en grijs uit, maar als u beter kijkt, begint u kleine kleurverschillen te zien. De ene kan een lichte crèmekleur hebben, de andere is bruin gevlekt. De derde is iets gestreept. Voor het ongeofende oog zijn het gewoon stenen, maar voor een ervaren stenenverzamelaar heeft elke steen zijn eigen boeiende verhaal.

De licht crèmekleurige steen zou kalksteen kunnen zijn. Bekijk hem eens door een vergrootglas, dan ziet u dat hij is gevormd uit kleine korrels met glanzend oppervlak, kristallen van calciet dat honderden miljoenen jaren geleden uit tropische oceanen is neergeslagen. In de steen kunt u hier en daar fossielen zien van de zeedieren die in die oude oceanen zwommen.

Uw stenenverzamelaar vertelt u dan misschien dat de gevlekte bruine steen graniet is en laat u door het vergrootglas drie verschillende mineralen zien. Er zijn kleine zwarte spikkels mica, glazige kwartskorrels en geel veldspaat – allemaal miljoenen jaren geleden in de felle hitte diep in de aarde gesmeed. De gestreepte steen kan een schist zijn, een gesteente dat is gevormd toen andere gesteenten door bewegingen van de aarde onder zo'n enorme druk kwamen dat de kristallen erin braken en verschillende nieuwe vormen kregen en opnieuw gevormd werden – door de druk tot strepen geperst. Een vergrootglas zou rode vlekjes kunnen onthullen. Een stenenverzamelaar zou ze kunnen identificeren als granaten of zelfs robijnen, kleine versies van de mooie edelstenen waarvoor koningen hebben gestreden en zijn gestorven.



Boven: sommige exemplaren onthullen hun ware schoonheid alleen als ze zijn geslepen en gepolijst zoals deze. Bovenaan is het gesteente orbiculair, een speciale variëteit van graniet. De stenen onder zijn van het mineraal onyx.

Dat alles en nog veel meer is te zien in drie stenen die op een strand zijn opgehaald. Het is dan ook geen wonder dat veel mensen bezeten zijn van het verzamelen van stenen en mineralen. Veel stenen zijn vanwege hun schoonheid en zeldzaamheid het verzamelen waard – niet alleen de bekende edelstenen zoals robijnen en diamanten, maar ook niet-edelstenen zoals crocoïet en rozenkwarts. Veel gesteenten en mineralen zijn bronnen van de ertsen waaraan we metalen of bouwmaterialen onttrekken. Maar ook als ze niet mooi of waardevol zijn, zijn stenen fascinerend vanwege het verhaal dat ze vertellen.

Gesteenten door de eeuwen heen

Gesteenten spelen al heel lang een rol in de geschiedenis van de mensheid. Lang geleden hakten onze voorouders de randen van handzame kiezelstenen af, misschien om ze als wapens te gebruiken. Minstens tweemiljoen jaar geleden begonnen mensachtigen vuurstenen te gebruiken voor tweezijdige handbijlen; daarom wordt de eerste periode van de mensheid de steentijd



Boven: insecten van tienduizenden jaren geleden kunnen volmaakt geconserveerd zijn in amber, dat is gevormd van oud boomsap.

genoemd. Het vergde behoorlijk wat praktische geologische kennis om goede vuurstenen te vinden. Er zouden nu maar weinig mensen zijn die weten waar ze naar vuurstenen moeten zoeken – daarentegen wisten de mensen in de steentijd het en groeven ze zelfs mijnen om ze te winnen.

Koper en goud werden minstens 10.000 jaar geleden voor het eerst gebruikt. Ze komen in de natuur als metalen voor en vanwege hun opvallende kleur zijn ze gemakkelijk te zien. Toch was er heel wat geologische kennis nodig om ze te kunnen vinden. Koper en goud waren allebei te

Onder: linksboven is een druipsteen die in grotten is gevormd uit mineralen die in regenwater waren opgelost. Rechtsboven is een kalksteen die rijk is aan fossielen van bryozoa, zeedieren die honderden miljoenen jaren geleden leefden. Onderaan is een kalksteen met oude koralen erop gedrukt.



zacht om gereedschap van te maken, maar de ontdekking, ongeveer 5000 jaar geleden, dat je tin aan koper kon toevoegen om de taaie legering brons te maken was het begin van de eerste grote periode van metaalgebruik, de bronstijd – en ook van de eerste grote beschavingen zoals die van het oude Egypte. Tin komt alleen voor in het erts cassiteriet, dat gesmolten moet worden om de tin eraan te onttrekken. Cassiteriet werd gevonden in riviergrind, waarin het zich vaak opeenhoopt – maar alleen in gebieden dicht bij graniet. Het werd ook gewonnen uit aderen diep onder de grond, zoals in Tirol (Oostenrijk) en in Cornwall (Engeland). Ook voor het lokaliseren van deze bronnen was veel kennis van gesteenten en mineralen nodig.

In de volgende 4000 jaar ontwikkelden mijnwerkers heel veel praktische vaardigheden tijdens het verzamelen en bewerken van metaalerts en andere materialen. Het is geen toeval dat het woord ‘mineralen’ is afgeleid van mijnwerkers. In de 16e eeuw publiceerde de Duitse mijnbouwengineer Georgius Agricola het eerste grote werk over geologie, *De Re Metallica* (‘Metaalkunde’).

De stenenverzamelaars

Toch kwam geologie pas aan het eind van de 18e eeuw op als wetenschap, met als pionier de grote Schotse geoloog James Hutton (1726-1797). In Huttons tijd geloofden de meeste mensen nog dat de aarde slechts een paar duizend jaar oud was. Hutton besefte dat de aarde veel ouder is – men schat haar nu op 4,5 miljard jaar – en dat de trage processen die we nu op het landschap zien inwerken, de aarde konden vormen zonder grote catastrofes teweeg te brengen, zoals andere mensen geloofden. Hutton toonde aan dat landschappen door rivieren worden weggesleten en dat sediment dat in de zee stroomt, nieuwe afzettingsgesteenten vormt. Hij zag ook hoe de

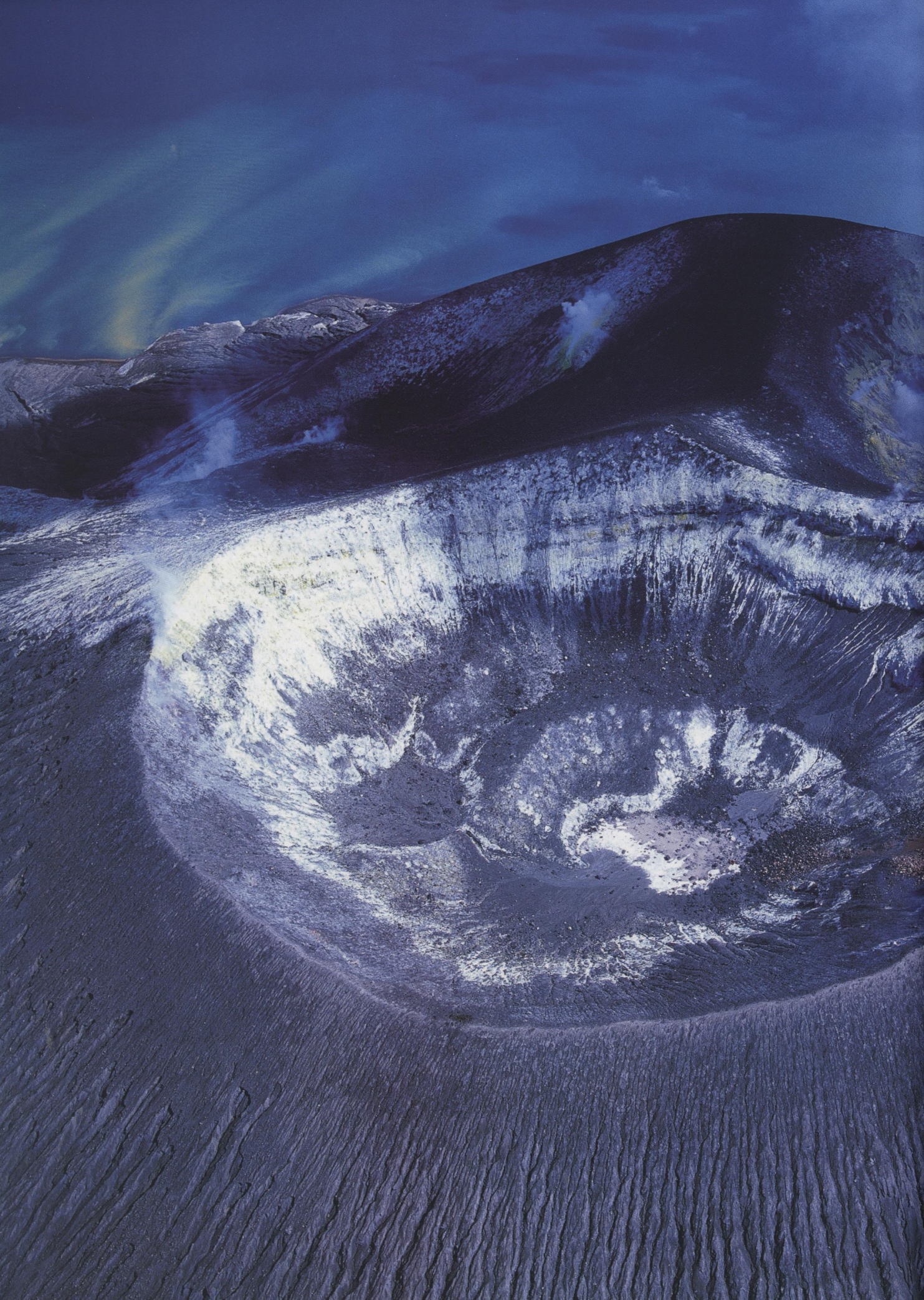



Boven en links: soms wordt de verzamelaar beloond door de ontdekking van een edelsteen, zoals robijn (links) of zelfs een diamant (boven). Zelfs als het geen zeer waardevolle edelstenen zijn, is de opwinding van de ontdekking groot.

hitte van de aarde gesteenten kon veranderen, opheffen en vervormen tot nieuwe bergen. De wereld wordt dus gevormd door talloze cycli van erosie, sedimentatie en opheffing – elk nieuw begin wordt vaak duidelijk door breuken in de gesteente-sequentie, onconformiteiten geheten (zie ‘Het landschap lezen’, blz. 40).

Geïnspireerd door de ideeën van Hutton trokken steeds meer geologen het veld in om gesteenten en het verhaal dat ze vertellen te onderzoeken. Geologie werd een populair tijdverdrijf voor veel edellieden in de victoriaanse tijd, die op zware laarzen de natuur in gingen, met slechts een hamer en een stevige zak voor monsters. Een van hen was Charles Darwin, die zijn kennis van geologische geschiedenis gebruikte bij het opstellen van zijn evolutietheorie. Een groot deel van de gesteente- en mineraal-soorten die we nu kennen, zijn voor het eerst door victoriaanse verzamelaars geïdentificeerd en benoemd.

Zoals op de volgende pagina's te zien is, heeft onze kennis van geologische processen een enorme ontwikkeling doorgemaakt sinds die eerste tijd. Professionele geologen maken gebruik van een zeer verfijnde uitrusting. Toch kan de amateur met wat eenvoudig gereedschap en een scherp oog schitterende monsters vinden. Dit boek helpt hem of haar bij die zoektocht.





DE WERELD VAN GESTEENTEN EN MINERALEN

Gesteenten en mineralen zijn de ruwe materialen van het landschap. Elk dal, elke heuvel en bergtop bestaat geheel uit gesteenten en mineralen. Toch is elk gesteente en elk mineraal ook een spoor naar de geschiedenis van de aarde, want de kenmerken ervan zijn afhankelijk van hoe en waar ze zijn gevormd – gesmeed in de hitte binnen de aarde, getransformeerd door vulkanische activiteit en de wrijving van bewegende continenten, of op de zeebodem neergeslagen in langzaam inklinkende lagen.

Beklim een berg en kijk uit over het landschap, dan ziet u rivieren die naar de zee kronkelen, heuvels en dalen, bossen en velden. Het lijkt een tijdloos landschap, maar gezien vanuit de geschiedenis van de aarde is het heel jong. De velden zijn misschien slechts een paar eeuwen oud, de bossen een paar duizend jaar, en zelfs de heuvels en dalen niet meer dan enkele tienduizenden jaren. Toch gaat de geschiedenis van het aardoppervlak en de gesteenten waaruit het bestaat, meer dan 4,5 miljard jaar terug. In geologische termen is het landschap dat we om ons heen zien, slechts een vluchtig moment.

Geologen zijn ongeveer tweehonderd jaar geleden het constant veranderende karakter van het aardoppervlak gaan begrijpen, toen ze gingen beseffen hoe oud het was, en hoe het voortdurend werd gevormd en hervormd door de kracht van water, aardbevingen en vulkanen, die bergen hebben afgesleten en nieuwe omhoog hebben geduwd. Toch zijn ze pas in de laatste vijftig jaar gaan begrijpen hoe dynamisch de geologie van de aarde eigenlijk is, met de ontdekking dat het hele oppervlak van de planeet in beweging is – gebroken in ongeveer twintig enorme tectonische platen, die voortdurend schuiven. Deze platen bewegen langzaam voor menselijke begrippen – nauwelijks sneller dan een groeiende vingernagel – maar in de uitgestrekte geologische tijd betekent het veel: continenten en oceanen verschuiven over de aardbol. De theorie van plaattektoniek heeft voor een omwenteling gezorgd in het inzicht van geologen in de manier waarop gesteenten telkens opnieuw worden gevormd, waar bergen ontstaan en worden afgebroken, waarom vulkanen uitbarsten, waarom aardbevingen plaatsvinden enzovoort.

Links: zwaveldampen stijgen op uit de krater van de actieve vulkaan Sierra Negra op Isla Isabela, een van de Galápagoseilanden. Vulkanen behoren tot de belangrijkste mineraalproducenten van de wereld, ze brengen voortdurend materiaal naar de oppervlakte om nieuwe mineralen te vormen.

IN DE AARDE

De aarde onder uw voeten kan stevig lijken, maar uit recent onderzoek is gebleken dat het binnenste veel dynamischer en complexer is dan iemand ooit heeft gedacht. Onder het dunne stenige omhulsel dat we de korst noemen, kolkt en bubbelt de aarde als dikke soep.

Een halve eeuw geleden hadden wetenschappers een eenvoudig beeld van het binnenste van de aarde. Ze dachten dat het in veel opzichten op een ei leek. De buitenkant is slechts een dunne laag gesteenten, de korst genoemd. Vlak daar onder, op slechts enkele tientallen kilometers, zit de diepe 'mantel', waar het gesteente heet en zacht is. Daar onder, op zo'n 1800 km, zit de dooier of 'kern' van metaal, voornamelijk ijzer en nikkel. De buitenkern is zo ontzettend heet dat hij altijd gesmolten is en even hoge temperaturen bereikt als het oppervlak van de zon. De binnenkern, in het midden van de aarde, is vast vanwege de gigantische druk.

De sleutel tot deze structuur is dichtheid. De theorie luidt dat toen de aarde jong was, ze heet en half gesmolten was. Dichte elementen zoals ijzer zonken naar het midden en vormden de kern. Lichtere elementen zoals zuurstof en silicium dreeven naar het oppervlak als schuim op water en koelden uiteindelijk voldoende af om tot een korst te verharderen.

Onder: ijzer smelt alleen bij zeer hoge temperaturen en wetenschappers concludeerden dat de temperaturen van het gesmolten ijzer in de buitenkern van de aarde, waar het onder zeer hoge druk staat, kan stijgen tot 4200 °C. De vaste kern zou zelfs 7200 °C kunnen bereiken!



Enkele zware elementen zoals uranium kwamen ondanks hun dichtheid in de korst terecht omdat ze zich gemakkelijk met zuurstof verbinden tot oxiden en met zuurstof en silicium tot silicaten. Zulke stoffen worden 'lithofielen' genoemd, zoals kalium.

Druppels 'chalcografie' stoffen – zoals zink en lood, die zich gemakkelijk met zwavel verbinden tot sulfiden – verspreiden zich en werden aan de mantel toegevoegd. Dichte klonten 'siderografie' stoffen – zoals nikkel en goud, die gemakkelijk een verbinding aangaan met ijzer – zonken naar de kern.

De enige echte complicaties van dit beeld leken zich aan het oppervlak voor te doen, waar de korst verdeeld is in continentale en oceanische delen. De korst in continenten kan heel oud zijn – sommige gesteenten zijn bijna vier miljard jaar oud – en heel dik. Onder de Central Valley in

Boven: meteorieten die groot genoeg zijn om een krater te vormen, zoals de Meteorokrater in Arizona, raken de aarde zo hard dat ze bij de inslag verdampen. Maar enkele kleine meteorieten overleven het en bieden aanwijzingen over het binnenste van de aarde.

Californië is hij slechts 20 km dik, maar onder de Himalaya 90 km. De oceankorst bestaat echter geheel uit jonge gesteenten – geen van alle meer dan 200 miljoen jaar oud en sommige gloednieuw – en is zelden meer dan 10 km dik.

Luisteren

Vanwege ontdekkingen in de laatste paar decennia hebben wetenschappers dit redelijk eenvoudige beeld moeten herzien. Het probleem is altijd geweest dat ze nooit diep in de aarde konden kijken. Een Japans schip dat in 2005 te water is gelaten, begint nu het diepste gat ooit te boren, door de oceankorst, in de hoop de

mantel te bereiken, maar dat is slechts een kras op het oppervlak. Er zijn echter andere onderzoeksmethoden. Met astronomische berekeningen op basis van de zwaartekracht is de massa van de aarde vast te stellen; daaruit blijkt dat het binnenste dichter moet zijn dan de korst. Meteorieten vertellen ons iets over de minerale samenstelling van het binnenste; de twee soorten meteorieten, van steen en van ijzer, zijn een weerspiegeling van de stenen mantel en de ijzeren kern (zie Ruimtestenen, blz. 132). Vulkanen stoten materialen zoals olivijn en eclogiet van diep uit de mantel uit. Maar de belangrijkste aanwijzingen komen van seismische golven.

Nog lang na een aardbeving gaan de weerkaatsingen ervan door de aarde. Fijngevoelige seismografen kunnen ze aan de andere kant van de aarde opvangen. Zoals u het verschil tussen hout en metaal kunt horen als u er met een lepel op tikt, kunnen wetenschappers aan seismische golven 'horen' waaruit het binnenste van de aarde bestaat. Seismische golven worden gereflecteerd wanneer ze door verschillende materialen gaan. Hun snelheid varieert ook, ze gaan bijvoorbeeld sneller door koude, harde gesteenten van de korst dan door de warmere, zachte gesteenten van de mantel.

Het binnenste van de aarde

Deze aardbol laat zien hoe wetenschappers de binnenlagen van de aarde zien (niet op schaal), inclusief korst, mantel en kern.

De korst, 0-40 km, is de dunne bovenlaag van de aarde, die voornamelijk uit silicaatrijke gesteenten als basalt en graniet bestaat. Hij is het dunst onder de oceanen en het dikst onder de continenten. Hij zit vast aan de stijve bovenlagen van de mantel, die in platen op de zachte mantel eronder drijft.

De benedenmantel, van 670-2900 km. Hier veranderen door hoge druk de lichtere silicaatmineralen van de bovenmantel in dicht perovskiet en pyroxeen. Perovskiet is het meest voorkomende mineraal in de mantel, en dus in de aarde, want de mantel vormt vier vijfde van het volume van de aarde.

Dichtheid en snelheid

De seismologie heeft duidelijk gemaakt dat we op een andere manier naar de korst en de bovenmantel kunnen kijken. Hoewel ze chemisch verschillend kunnen zijn, is hun 'reologie' dat niet – ze vervormen en stromen min of meer op dezelfde manier. Snelle seismische golven tonen aan dat de bovenste 100 km van de mantel net zo stijf is als de korst, en de bovenmantel en de korst vormen samen een stijve laag, de lithosfeer geheten. Onder de lithosfeer laten tragere golven zien dat de mantel daar vanwege de hitte zachter is en een laag vormt die we de asthenosfeer noemen. Tektonische platen zijn grote brokken lithosfeer die op de asthenosfeer drijven als ijsschotsen op een vijver.

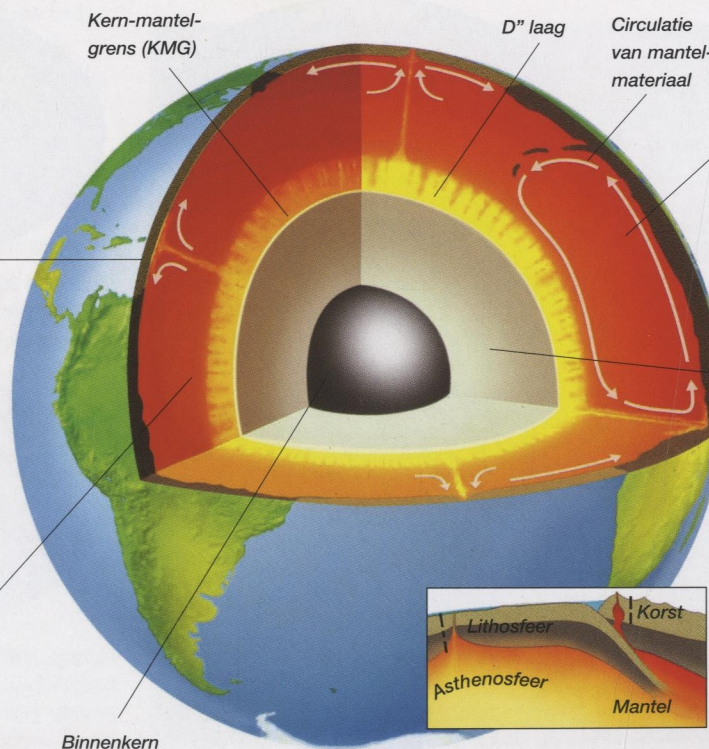
Ongeveer 220 km daaronder wordt de mantel door druk weer stijf en vormt er de mesosfeer. Verder naar beneden ondergaan mineralen met dezelfde chemische samenstelling onder inwerking van druk een faseverandering (zoals het smelten van ijs) tot een dichtere structuur. Onder 420 km worden olivijn en pyroxeen dus vervangen door spinel en granaat. Nog dieper, onder 670 km, verandert de minerale structuur of misschien de samenstelling door nog hogere druk, zodat perovskiet ontstaat, waaruit het grootste deel van de mantel bestaat.

De kern-mantelgrens

Onder door de mantel bewegen seismische golven nog sneller. Maar op de Gutenberg-discontinuïteit, op 2900 km, daalt de snelheid door de overgang naar de kern langs de kern-mantelgrens (KMG). Dat is een dramatische verandering. In slechts een paar honderd kilometer stijgen de temperaturen met 1500 °C en het contrast in dichtheid tussen mantel en kern is nog groter dan die tussen lucht en gesteente.

De overgangszone in de mantel tot de KMG heet de D" (spreek uit D dubbel accent) laag en heeft veel aandacht getrokken. De buitenkant van deze laag wordt gekenmerkt door dalen en ruggen, en uit laboratoriumonderzoeken is gebleken dat hij misschien bestaat uit een unieke vorm van perovskiet die post-perovskiet wordt genoemd. In 2005 namen wetenschappers een toename in snelheid waar onder de D", wat erop kan wijzen dat de buitenrand van de kern in feite vast is.

Onderzoek naar deze hele KMG-zone kan belangrijke implicaties hebben voor ons inzicht in de bewegingen van continenten en uitbarstingen van vulkanen. Ze zouden kunnen samenhangen met diepe circulatie van materiaal in de mantel.



De bovenmantel, van 16-670 km, is zo warm en zacht dat hij kan stromen. In de asthenosfeer-laag, onder de lithosfeer, smelten kleine gebiedjes vaak tot magma, dat door de korst opborrelt en in vulkanen uitbarst. De bovenmantel bestaat voornamelijk uit het dichte gesteente peridotiet.

De aardkern, van 2900-6370 km, is een dichte bal van ijzer en nikkel. De buitenkern is zo heet, met temperaturen boven 4200 °C, dat het metaal vloeibaar is. De binnenkern is nog heter, tot wel 7200 °C, maar de druk is daar zo hoog dat het ijzer gewoon niet kan smelten.

Lithosfeer (links) is de harde buitenlaag van de aarde, die uiteen is gevallen in de tektonische platen die het oppervlak vormen. Hij bestaat uit de korst en het stijve, koude bovenste deel van de mantel.

HOE MINERALEN ONTSTAAN

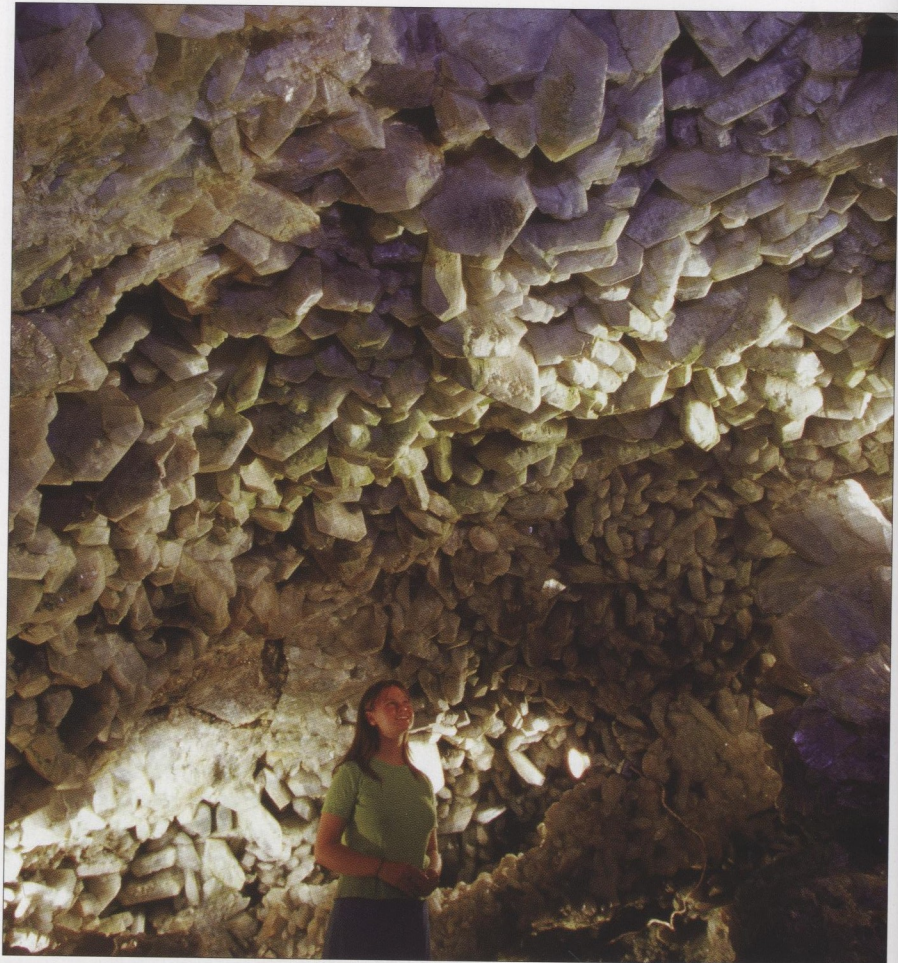
Mineralen zijn de natuurlijke substanties waarvan gesteenten worden gemaakt. Het zijn allemaal vaste kristallen met een bepaalde chemische samenstelling – sommige zijn zo klein dat ze alleen onder een sterke microscoop te zien zijn, andere zijn zo groot als boomstammen. Elke soort ontstaat onder bepaalde omstandigheden op bepaalde plaatsen.

Er zijn 4000 tot 5000 verschillende mineralen in de aardkorst. Toch zijn er slechts zo'n dertig zeer wijdverbreid. Van de rest zijn de meeste alleen in zeer kleine sporen in gesteenten aanwezig; ze zijn alleen gemakkelijk te zien als ze door geologische processen op bepaalde plaatsen geconcentreerd worden. Zulke concentraties vormen de ertsen waaraan veel metalen worden onttrokken.

Grote kristallen van mineralen zoals in dit boek zijn afgebeeld, hoe algemeen ook, zijn zo zeldzaam dat een mineralenverzamelaar terecht opgewonden raakt als hij er een vindt. Grote, spectaculaire kristallen hebben tijd en ruimte nodig om te groeien – en een gestage toevoer van precies de juiste ingrediënten. Zo'n volmaakte combinatie is buitengewoon zeldzaam.

Er zijn vier belangrijke manieren waarop mineraalkristallen ontstaan. Sommige ontstaan wanneer heet, gesmolten magma afkoelt en kristalliseert. Andere worden gevormd doordat bestaande mineralen chemisch worden gewijzigd, en weer andere ontstaan wanneer mineralen onder druk of hitte komen door metamorfose van gesteenten.

Onder: de beste kristallen hebben ruimte nodig om te groeien. Daarom worden ze vaak in holten aangetroffen, zoals geoden. Als geoden worden opengemaakt, onthullen ze een glinsterend interieur.



Mineralen uit magma

Wanneer magma afkoelt, beginnen groepen atomen te verzamelen in het chaotische mengsel en kristallen te vormen. De kristallen groeien doordat meer atomen zich aan de beginstructuur hechten – zoals ijspegels groeien doordat er meer water op befrist. Mineralen met de hoogste smeltpunten ontstaan het eerst; wanneer ze zich uitkristalliseren, verandert de samenstelling van de resterende smelt (zie Hoe afzettingsgesteenten ontstaan, blz. 28).

Chemicaliën die gemakkelijk in kristalstructuren passen, worden het eerst uit de smelt verwijderd; de grotere, zeldzamere atomen blijven achter. Het is dit 'late' magma, het laatste deel van de smelt dat kristalliseert, dat de meest gevarieerde en interessante mineralen oplevert. Wat het

Boven: deze vrouw staat in de grootste geode ter wereld – de meeste geoden zijn niet groter dan een vuist. Geoden zijn holten die waarschijnlijk ontstaan uit gasbellen in lava (of kalksteen). De bellen vullen zich later met hydrothermale vloeistoffen waarin grote kristallen zoals amethist groeien.

voor mineralen zijn, hangt af van de oorspronkelijke ingrediënten in het magma en van de manier waarop het afkoelt. Grote kristallen ontstaan meestal in magma dat langzaam is afgekoeld. De grootste en interessantste ontstaan in zogeheten pegmatieten, die ontstaan uit de smelt die overblijft nadat de rest is gekristalliseerd. Pegmatieten hopen zich op in barsten in een intrusie of insijpeling in diaklazen in het nevgesteente, waarbij gesteentelagen ontstaan die gangen worden genoemd. De achterblijvende

vloeistoffen in dit late magma zijn rijk aan exotische elementen zoals fluor, boor, lithium, beryllium, niobium en tantaal. Deze kunnen samen gigantische kristallen vormen van toermalijn, topaas, beryl en andere zeldzame mineralen. Als de vloeistoffen rijk zijn aan boor en lithium, wordt er toermalijn gevormd. Zijn ze rijk aan fluor, dan ontstaat er topaas. Als de vloeistoffen rijk zijn aan beryllium, dan ontstaat er beryl.

Mineralen van water

Water kan slechts een bepaalde hoeveelheid opgeloste chemicaliën opnemen. Als het water 'verzadigd' raakt, bezinken de chemicaliën – ze slaan neer als vaste stoffen. Dat gebeurt gewoonlijk als het water verdampft of afkoelt.

Als natrium, chloor, borax en calcium uit gesteenten vrijkomen, kunnen ze door rivieren naar binnenzeeën en meren worden meegenomen. Daar blijven door verdamping minerale afzettingen achter van mineralen zoals zout, gips en borax.

Vele andere mineralen ontstaan door het afkoelen van hydrothermale oplossingen – heet water dat rijk is aan opgeloste chemicaliën. Soms betreft het regenwater dat door de grond sijpelt (meteorisch water) en dan verhit wordt door de mantel of een hete magmatische intrusie.

Hydrothermale oplossingen kunnen ook afkomstig zijn van laat stadium-magma en zijn dan rijk aan zeldzame chemicaliën. Zulke oplossingen lekken door barsten in de intrusie en koelen af tot dunne, vertakkende aderen.

Veranderende mineralen

Hoewel sommige mineralen zoals diamant of goud eeuwig lijken te bestaan, hebben de meeste een beperkte levensduur. Zodra ze worden gevormd, beginnen ze met hun omgeving te reageren – sommige heel langzaam, andere behoorlijk snel. Terwijl ze reageren, vormen ze verschillende mineralen.

Metaalmineralen worden vaak geoxideerd wanneer ze worden blootgesteld aan lucht of zuurstofrijk water. IJzermineralen roesten, zoals ijzeren spijkers, en veranderen in rood en bruin ijzeroxide. Als water met opgeloste zuurstof door de grond in gesteenten en aderen met metalen sijpelt, creëert het een oxidatiezone in de bovenlagen wanneer de metalen een verandering ondergaan. Op die manier ontstaan cupriet, goethiet, anglesiet, chalcantiet, azuriet en vele andere mineralen. Sommige sulfidemineralen worden geoxideerd tot sulfaten die in water oplossen. Deze sulfaten kunnen door het gesteente spoelen en lager worden afgezet als verschillende mineralen die vaak waardevolle ertsen worden zoals chalcociet.

Mineralen opnieuw gemaakt

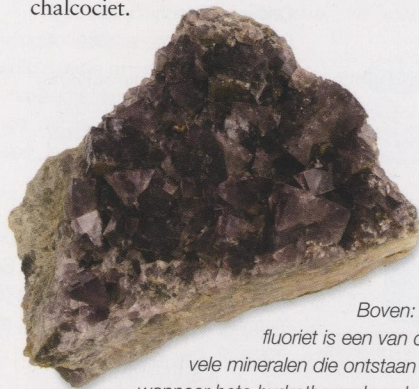
Veel mineralen worden instabiel wanneer ze aan hitte en druk worden blootgesteld en hun chemische samenstelling wijzigen, zodat het andere mineralen worden. Dit wordt herkristallisatie genoemd en houdt verband met metamorfose. Als een gesteente door metamorfose wordt gewijzigd, worden de minerale ingrediënten herkristalliseerd.

Voor de metamorfose van gesteenten is heet magma of tektonische beweging nodig, maar voor de wijziging van mineralen is begraven voldoende, want hitte en druk nemen toe met de diepte. Mineralen kunnen ook worden herkristalliseerd door contact met hydrothermale vloeistoffen.

In de eenvoudigste herkristallisaties hangt de aard van de resulterende mineralen af van de combinatie van hitte en druk, en van de mineralen in het oorspronkelijke gesteente. Maar er kunnen nieuwe ingrediënten binnensijpelen, die het beeld veranderen. Waar magma bijvoorbeeld in kalksteen binnendringt, 'kookt' het magma de kalksteen, maar brengt het ook nieuwe chemicaliën in, zodat er een ingewikkeld mengsel ontstaat. De kalksteen levert calcium, magnesium en kooldioxide, terwijl het magma silicium, aluminium, ijzer, natrium, kalium en diverse andere ingrediënten inbrengt. Het resultaat is een 'skarn', rijk aan diverse silicaatmineralen.



Boven: topaas is een van de zeldzame mineralen die ontstaan als het laatste residu van magma dat rijk aan zeldzame mineralen is kristalliseert, vooral in granietische pegmatieten (gangen). Topaas ontstaat uit residuen die rijk zijn aan fluor. Kristallen die zijn ontstaan in holten in het pegmatiet, miarolitische holten genoemd, worden soms heel groot.



Boven: fluoriet is een van de vele mineralen die ontstaan wanneer hete hydrothermale oplossingen afkoelen en een deel van hun opgeloste chemicaliën neerslaan. Natuurlijke pijpen met hydrothermale aderen kristalliseren uiteindelijk compleet en vormen aderen.



Boven: cupriet is een van de vele mineralen die ontstaan door oxidatiereacties, veroorzaakt door blootstelling aan lucht of zuurstofrijk water. Cupriet vormt een lichtgroene korst op geoxideerde kopermineralen.



Links: robijnen behoren tot de zeldzame en kostbare edelsteenmineralen die ontstaan als bepaalde oxiden worden gekristalliseerd door de hitte en druk van metamorfose.

HYDROXIDEN EN FLUORIDEN

Onder de andere haliden of zouten bevinden zich mineralen die het halogeenelement fluor bevatten. Tot deze fluoriden, waarvan er vele oorspronkelijk in Groenland werden gevonden, behoren kryoliet en jarliet. Andere haliden zijn hydroxiden die zijn gevormd met een halogeenelement zoals chloor. Daartoe behoren atacamiet en boleïet, die beide vaak opvallend gekleurd zijn.

Kryoliet

Na_3AlF_6 natrium-aluminiumfluor

Kryoliet is in 1794 in Groenland ontdekt door Deense geologen, maar het was al lang bekend bij de Eskimo's, die het als een soort ijs zagen omdat het zo gemakkelijk smelt, zelfs in een kaarsvlam. Aan deze ijsachtige kwaliteit heeft het zijn naam te danken, die is afgeleid van het Grieks voor 'ijs' en 'steen' – vandaar het synoniem 'ijssteen'. Het komt gewoonlijk voor in kleurloze of sneeuw witte massa, vaak door ijzeroxide bruin of rood getint, en soms zwart. Het is normaal doorschijnend met een wasachtige glans, maar is onder water vrijwel transparant. Kryoliet wordt in pegmatietaderen gevonden in Ivigtut in Zuidwest-Groenland (nu uitgeput) en slechts enkele andere plaatsen, maar is van groot belang voor de aluminiumindustrie. Het wordt bij het smelten van aluminium in bauxiet gebruikt om de smeltemperatuur te verlagen en onzuiverheden eruit te halen. Het wordt ook gebruikt om soda te maken en bij de productie van zeer hard glas en emailgoed. Veel kryoliet wordt nu kunstmatig gemaakt.

Identificatie: kryoliet is vaak te herkennen aan zijn pseudokubische kristallen.



Kristalstelsel: monoklien

Kristalhabitus: gewoonlijk massief

en heel soms als pseudokubische kristallen met diepe groeven

Kleur: helder of wit met rode of bruine tinten, maar kan ook zwart of paars zijn

Glans: wasachtig

Streep: wit

Hardheid: 2,5-3

Splijting: goed, kan als in kubussen breken

Breuk: ongelijkmatig

Soortelijk gewicht: 2,95

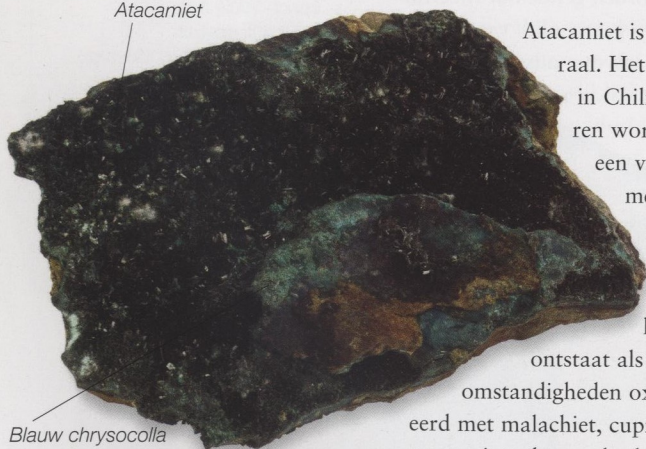
Andere kenmerken: smelt heel gemakkelijk. Gewoonlijk doorschijnend of doorzichtig. Het lijkt in water te verdwijnen doordat de brekingsindex zo dicht bij die van water zit.

Belangrijke locaties: Ivigtut, Groenland; Spanje; Miyask (Ilmengenberge), Rusland; Mont-Saint-Hilaire, Francon Quarry (Montreal), Quebec; Yellowstone, Wyoming; Pikes Peak, Colorado

Atacamiet

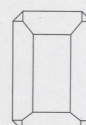
$\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ koper-chloridhydroxide

Atacamiet



Atacamiet is een heldergroen koperchloridemineeraal. Het is genoemd naar de Atacamawoestijn in Chili, waar enkele van de beste exemplaren worden gevonden. De Atacamawoestijn is een van de droogste plaatsen ter wereld, met een jaarlijkse neerslag van gemiddeld minder dan 1 cm. Atacamiet ontstaat alleen op zeer droge plaatsen, waar kopersulfidemineralen aan de lucht worden blootgesteld. Atacamiet ontstaat als deze kopermineralen in zeer droge omstandigheden oxideren. Het is gewoonlijk geassocieerd met malachiet, cupriet, limoniet en azuriet, en zeldzamere mineralen zoals chrysocolia, connelliet, pseudomalachiet, libetheniet, cornetiet en brochantiet. Atacamiet heeft de ongewone eigenschap dat het zeer snel water absorbeert; voordat het vloeipapier werd uitgevonden, werd atacamiet vaak gebruikt om inktvlekken te verwijderen.

Identificatie: atacamiet heeft gewoonlijk een opvallende donkergroene kleur en vormt dunne, naaldachtige kristallen of een laag op andere mineralen. Het ontstaat alleen op zeer droge plaatsen.



Kristalstelsel: orthorombisch

Kristalhabitus: dunne naalden, prisma's of tabletten en ook vezels

Kleur: donkergroen of smaragdgroen

Glans: glasachtig

Streep: lichtgroen

Hardheid: 3-3,5

Splijting: volkomen in één richting

Breuk: conchoïdaal, bros

Soortelijk gewicht: 3,75+

Andere kenmerken: kristallen hebben vaak groeven

Belangrijke locaties: Atacama, Chili; Vesuvius, Italië; Wallaroo, Zuid-Australië; El Boleo (Baja California), Mexico; Pinal County, Arizona; Tintic, Utah; Majuba Hill Mine, Nevada

Jarriet

$\text{Na}(\text{Sr}, \text{Ca})_3\text{Al}_3\text{F}_{16}$ natrium-aluminiumfluoride

Jarriet, een glazig uitziend mineraal, is genoemd naar Carl Frederik Jarl (1872-1951), directeur van de Danish Cryolite Company, die het mineraal ontdekte. Het is een van de fluoridemineralen die in Ivigtut in Groenland worden gevonden, naast kryoliet, en het ontstaat gewoonlijk in vugs (pockets) in kryolietafzettingen, samen met andere fluoriden. Jarriet komt gewoonlijk voor in massa's, maar ook als eenvoudige, zeer kleine monokliene kristallen, meestal niet langer dan pakweg 1 mm. Soms groeien de kristallen in vrijwel vlakke platen of schijven. Ze kunnen ook uitwaaiende lagen in geoden vormen, waar ze vermengd worden met wit bariet, steenrode ijzervlekken en soms het witte poederachtige mineraal gearksutiet. Jarriet is gewoonlijk wit of rozig wit. Metajarriet, een variëteit van het mineraal, is grijziger.



Identificatie: jarriet is misschien het best te herkennen aan de glasachtige glans en als het bundels platte witte kristallen vormt.



Kristalstelsel: monoklien
Kristalhabitus: jarriet vormt

gewoonlijk vlakke plaatachtige of bundelachtige kristallen. Het wordt ook gevonden als ronde aggregaten of in massa's.

Kleur: wit tot grijswit en rozeachtig wit
Glans: glasachtig of wasachtig
Streep: wit
Hardheid: 4-4,5
Splijting: gebrekkig
Breuk: ongelijkmatig, met een plat oppervlak dat ongelijkmatig breekt
Soortelijk gewicht: 3,87
Andere kenmerken: ontstaat in holten in kryolietpegmatiet
Belangrijke locaties: Ivigtut (Arsuk Fjord), Kitaa, Groenland

Boleïet

$\text{KPb}_{26}\text{Ag}_3\text{Cu}_{24}\text{Cl}_{62}(\text{OH})_{48}$ gehydrateerd lood-koper-zilver-chloridehydroxide

Boleïet, genoemd naar de plaats waar het voor het eerst is ontdekt – Boleo in Baja California, Mexico – is een zeldzaam halidemineraal met een zeer complexe chemie. Elk molecuul bevat meerdere atomen van lood, koper, zilver en chloor, alsmede talloze hydroxidegroepen en drie moleculen water. Boleïet is een onbelangrijk erts van koper, zilver en lood, maar het wordt door verzamelaars gewaardeerd vanwege de opvallende indigoblaauwe kristallen, die soms worden gesneden tot edelstenen. Boleïetkristallen zijn ongewoon omdat ze eruitzien als kubussen, maar vormen altijd rechthoekige tweelingkristallen die zodanig gekoppeld zijn dat ze kubussen lijken. Zulke kristallen worden pseudokubussen genoemd.



Kristalstelsel: tetragonaal
Kristalhabitus: rechthoekige kristallen vormen

gewoonlijk pseudokubussen
Kleur: indigoblaauw tot donker marineblauw
Glans: glasachtig, parelmoer
Streep: groenig blauw
Hardheid: 3-3,5
Splijting: volkomen in één richting
Breuk: ongelijkmatig en bros
Soortelijk gewicht: 5
Andere kenmerken: in sommige exemplaren zijn inkepingen of binnendringende hoeken te zien, die hun ware tweelinggaard onthullen
Belangrijke locaties: Broken Hill (New South Wales), Australië; El Boleo (Baja California), Mexico; Mammoth District, Arizona

Identificatie: boleïet is gemakkelijk te herkennen aan de donkere indigoblaauwe kubusvormige kristallen.



Mineralen uit het bevroren noorden

De beroemde gesteenten van Groenland hebben een opvallend aantal zeldzame mineralen opgeleverd. Hoewel de beroemdste mijnen daar nu vrijwel uitgeput zijn, hebben ze in het verleden enkele schitterende exemplaren voortgebracht en veel verzamelingen bevatten fraaie exemplaren uit Groenland. De bekendste vindplaats van mineralen in Groenland is Ivigtut op de Arsurk Fjord in Kitaa in Zuidwest-Groenland. Honderden verschillende mineralen zijn daar gevonden, waaronder zeldzame sulfiden en zwavelzouten zoals eskimoïet, matildiet, vikingiet en gudmundiet. Ivigtut is vooral vermaard om zijn halidemineralen, die in pegmatieten worden gevonden. Van 1854 tot 1987 werd er kryoliet in het gebied gewonnen, dat als smeltmiddel bij de aluminiumproductie werd gebruikt. Andere haliden uit Ivigtut zijn acuminiet, böggildiet, bögvadiet, kryolithioniet, gearksutiet, jarriet, pachnoliet, prosopiet, ralstoniet, stononiet en thomsenoliet. Voor elk van deze is het de typelocaliteit (de bron waarin het mineraal oorspronkelijk is gevonden).

FLUORIET

Fluoriet kan veel meer kleuren hebben dan enig ander mineraal – van het typische paars tot blauw, groen, geel, oranje, roze, bruin en zwart, met alle pasteltinten ertussen. Toch is zuiver fluoriet in feite kleurloos. Alle regenboogkleuren van fluoriet worden veroorzaakt door sporen van onzuiverheden in diverse metalen die de plaats van calcium in het molecuul innemen.

Fluoriet

CaF₂ calciumfluoride

Groen fluoriet (onder): groen is een van de hoofdkleuren van fluoriet. Het kent vele tinten groen, maar het zijn allemaal eerder felle of muntgroene tinten, geen grasgroene.



Purperfluoriet (onder): de mauve kubische kristallen op de foto zijn karakteristiek voor het Engelse fluoriet dat wordt gewonnen in de North Pennines, maar purperen fluorieten worden op vele andere plaatsen gewonnen, zoals vroeger in Regensburg (Duitsland) en nu in China. Purperfluorieten zijn vaak meer fluorescerend dan de groene variëteiten.



Fluoriet

Bruine sfaleriet-massa's

Fluoriet is chemisch calciumfluoride, een verbinding van de elementen calcium en fluor. Maar ook al bevat het fluor, de naam is niet ontleend aan de chemische samenstelling. Het werd oorspronkelijk in 1546 zelfs fluorspaat genoemd door de beroemde Duitse mineraloog Georg Agricola. Hij noemde het naar het Latijnse woord *fluere*, 'vloeien', omdat fluoriet gemakkelijk smelt. De naam 'spaat' wordt door mineralogen gegeven aan elk helder of bleek kristal dat gemakkelijk breekt. Vanwege deze smeltpuntbaarheid is fluoriet sinds de Romeinse tijd gewaardeerd bij de productie van staal, glas en email als vloeimiddel – een stof die het smeltpunt van een materiaal verlaagt en het beter bewerkbaar maakt. De meeste industrieel onttrokken fluoriet wordt echter gebruikt voor waterstoffluoride – de basis van alle stoffen die fluor bevatten (ook voor tandheelkunde).

Fluoriet is gewoonlijk behoorlijk zuiver, maar het calcium kan voor minstens een vijfde vervangen zijn door zeldzame aardmetalen zoals yttrium en cerium. Yttriumrijk fluoriet wordt yttriofluoriet genoemd; yttrium- en ceriumrijk fluoriet wordt yttrio-cerisch fluoriet genoemd. Fluoriet wordt in uiteenlopende omgevingen gevonden. In Zuid-Illinois, bijvoorbeeld, zit het in dikke aderen in lagen kalk-

steen, waar het bij lage temperaturen is ontstaan en ontwikkeld is tot eenvoudige, maar veelkleurige kristallen. Op andere plaatsen wordt het gevonden rondom

hete bronnen, in holten en pegmatieten. Maar verreweg de meest voorkomende fluorietvormende omgeving zijn metaalrijke aderen – vooral die met lood of zilver. Daar zorgen de hogere temperaturen ervoor dat fluoriet kristalliseert in een hele reeks vormen, variërend van octaëdrisch tot dodecaëdrisch.

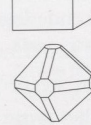


Kubische kristallen (boven): de licht gelige tint van dit fluorietemplaar wijst erop dat het betrekkelijk zuiver is. Helder fluoriet kan optisch zo goed zijn dat het soms voor microscoopenzen wordt gebruikt omdat het kleurvervorming opheft.



Kristalstelsel:

isometrisch



Kristalhabitus:

vormt gewoonlijk kubussen of octaëders, of beide samen. Tweelingen komen veel voor

en penetratietweelingen lijken vaak op twee kubussen die zijn vergroeid.

Kleur: varieert enorm, de grootste kleurenreeks van alle mineralen. Kleuren zijn o.a. diep purper, blauw, groen of geel, roodachtig oranje, roze, wit en bruin. Een kristal kan vele kleuren hebben. Zuivere, smetteloze fluorietkristallen zijn kleurloos.

Glans: glasachtig

Streep: wit

Hardheid: 4

Splijting: volkomen in vier richtingen, vormt octaëders

Brek: vlak conchoïdaal

Soortelijk gewicht: 3-3,3

Andere kenmerken: fluoriet is doorschijnend of doorzichtig. Het is gewoonlijk fluorescerend blauw of, zeldzamer, groen, wit, rood of violet. Fluoriet is ook thermoluminescent, fosforescent en triboluminescent.

Belangrijke locaties: Alston Moor (Cumbria), Weardale (Durham), Castleton (Derbyshire), Cornwall, Engeland; Harzgebergte, Wölsendorf (Beieren), Duitsland; Toscane, Italië; Göschenen, Zwitserland; Nerchinsk (Oeral), Rusland; Maharashtra, India; Hunan, China; Naica, Chihuahua, Mexico; Hastings County, Ontario; Elmwood, Tennessee; Rosiclare en Cave-in-Rock (Hardin County), Illinois; Ottawa County, Ohio; Grant County, New Mexico

Hardheid en kleur

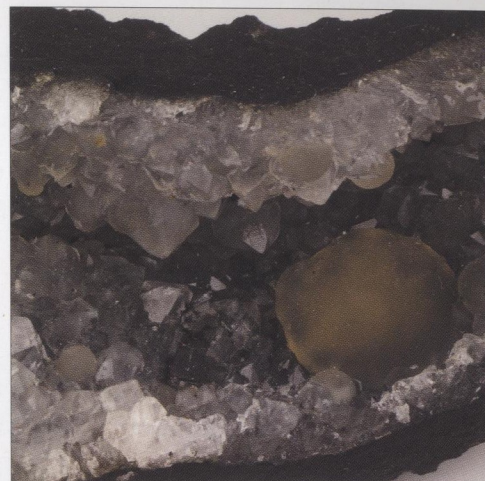
Hoewel het mooie kleuren heeft, wordt fluoriet zelden als edelsteen gebruikt omdat het heel zacht en breekbaar is. Sommige verzamelaars beschouwen het als een uitdaging om het te snijden en te polijsten. Toch is fluoriet zo consistent in zijn relatieve hardheid dat Friedrich Mohs het als standaardnummer 4 op zijn schaal gebruikte.

Fluoriet heeft zijn buitengewone reeks kleuren te danken aan een zogeheten kleurcentrum. Een kleurcentrum is een klein gebied in de kristallen met een klein defect in het netwerk van atomen. Deze kristaldefecten breken

licht op een bepaalde manier, ze absorberen en weerkaatsen

Octaëdrische kristallen (boven): deze groene fluoriet bevat licht berijpte octaëdrische kristallen. Deze fluorieten komen minder voor dan die met kubische kristallen.

alleen bepaalde golflengten van licht. De kleur van fluoriet varieert volgens het patroon van zijn kleurcentra. Hitte en straling kunnen beide de defecten veroorzaken die kleurcentra creëren – hitte en straling kunnen dus de kleur van fluoriet veranderen. De zeldzame aardmetalen zoals yttrium die in veel fluorieten worden gevonden, kunnen ook de kleur van fluoriet beïnvloeden – vooral onder ultraviolet licht.

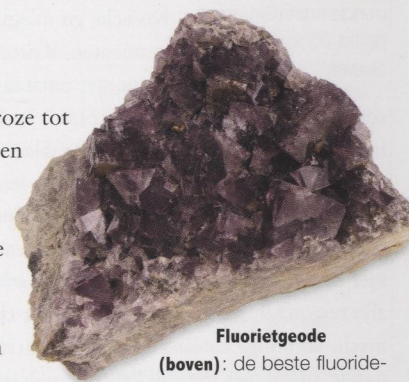


Botryöidaal fluoriet (boven): soms groeit fluoriet in citroengele grapefruitvormige ballen zoals deze fluorietbal in een holte uit India.

De beste fluorieten

De kostbaarste fluorieten zijn misschien de roze tot rode octaëdrische fluorieten uit alpiene spleten in de Zwitserse en Franse Alpen. Daar worden ze vaak gevonden met rookwarts en ontstaan ze uit mineraalrijke oplossingen die door het gesteente circuleren terwijl het wordt gemetamorfoseerd. Enkele kristallen die daar zijn gevonden, zijn meer dan 10 cm lang.

De beroemdste plaatsen voor fluorietkristallen liggen echter in Duitsland en Engeland. In Duitsland worden kleine, maar mooie fluorietkristallen in metaalrijke aderen gevonden, in kleur variërend van groen tot geel. In Engeland waren de klassieke locaties de lood- en ijzermijnen in Cumbria en de tinnijnen in Cornwall. De



Fluorietgeode (boven): de beste fluoridekristallen groeien vaak aan de binnenkant van geoden en worden pas onthuld als de geode wordt opengebroken.

meeste Engelse fluorieten van de hoogste kwaliteit zijn purper en ze behoren tot de beste in fluorescentie. Deze bronnen zijn nu goeddeels uitgeput. In de VS zijn de beste fluorieten uit Illinois ook volledig geëxploiteerd en de kostbaarste fluorieten in Amerika komen nu uit afzettingen in Elmwood, Tennessee.

Blue John (links): de meeste fluorieten hebben één kleur, maar enkele hebben kleurstrepen, in lijn met de kristallen van het mineraal. Een van de bekendste gestreepte fluorieten is Blue John, die alleen in het Peak District, Derbyshire, Engeland, wordt gevonden. Blue John is genoemd naar de Franse beschrijving van het gesteente, Bleu Jaune, wat 'blauw geel' betekent. Het is in de 18e eeuw ontdekt, toen mijnwerkers in grotten naar bronnen van lood zochten.



De speciale gloed van fluoriet

Fluoriet is niet alleen uniek door de reeks kleuren die het bij normale belichting laat zien – het gloeit ook op verschillende manieren in het donker. Als sommige mineralen aan ultraviolet licht worden blootgesteld, gloeien ze paars, blauw of groen – ongeacht hun kleur bij normaal daglicht. Deze gloed wordt fluorescentie genoemd, naar fluoriet, omdat het sneller dan enig ander mineraal die gloed vertoont. Fluoriet fluoresceert mogelijk vanwege de sporen van uranium en zeldzame aardmetalen die het bevat. Calciet fluoresceert helderrood als het mangaansporen bevat. Fluoriet gloeit ook als het zachtjes wordt verhit – een eigenschap die thermoluminescentie wordt genoemd. En als sommige fluorieten vanuit direct zonlicht in een donkere kamer worden gebracht, gloeien ze – een eigenschap die fosforescentie wordt genoemd. Fluoriet kan zelfs gloeien als het wordt verpulverd, geschraapt of gewreven – een eigenschap die triboluminescentie wordt genoemd – want de druk vervormt kleurcentra.