

# Van magma tot steen

Stollingsgesteenten ontstaan door afkoeling van een magma, de gesteentesmelt. Dit kan voorgesteld worden als een hete, vloeibare massa waarin de silikaten en oxyden bij afkoeling uitkristalliseren. Ook vluchtige bestanddelen zoals water, kooldioxyde en chloor zijn doorgaans in de smelt aanwezig. De processen die zich bij de afkoeling en kristallisatie afspelen, diep in de aardkorst en bij hoge temperatuur en druk, onttrekken zich aan onze directe waarneming. Maar door de vermoedelijke omstandigheden op laboratoriumschaal zo goed mogelijk te imiteren heeft men zich een beeld kunnen vormen hoe de kristallisatie in zijn werk zou kunnen gaan. Door de relaties tussen de mineralen in de gesteenten te bestuderen heeft men een kristallisatievolgorde kunnen vaststellen. Voor het resultaat van dit kristallisatieproces, dus voor de samenstelling van het stollingsgesteente, is de chemische samenstelling van het magma een belangrijke faktor.

Bij een bepaalde samenstelling van het magma is forsteriet (magnesiumrijke olivijn,  $Mg_2SiO_4$ ) een van de eerste mineralen die gaat kristalliseren.

Hierdoor wordt magnesium aan de smelt onttrokken, waardoor de samenstelling van de overblijvende smelt verandert. Deze wordt in verhouding ijzerrijker, de daaruit uitkristalliserende olivijn zal dan ook meer ijzer bevatten.

Bij verdere afkoeling zal de smelt eens de samenstelling en temperatuur bereiken, waarbij orthopyroxeen begint te kristalliseren. Deze orthopyroxeen groeit dan ten koste van de al gevormde olivijn. De olivijn reageert met de smelt en geeft de orthopyroxeen als resultaat. Weer verandert de samenstelling van het magma en bij de daarvoor geldende T en P kunnen achtereenvolgens clinopyroxeen, amfibool, biotiet ontstaan, ieder volgend mineraal ten koste van het vorige.

In de realiteit zullen de mafische mineralen in één bepaald gesteente niet al deze stadia doorlopen hebben. Als de smelt is uitgekristalliseerd, stopt het proces. Voor de volledige aanpassing van bijv. de olivijn aan een nieuwe situatie heeft vaak de tijd ontbroken. Daarom zijn in bijvoorbeeld augiet soms nog relikten van olivijn te zien. Door dezelfde oorzaak komen in hoornblende wel kernen van pyroxeen voor. Ook kunnen zonaire kristallen ontstaan.

Wat de plagioklasten betreft, deze hebben een vergelijkbaar reactiepatroon. Eerst kristalliseert een calciumrijke vorm uit, bijvoorbeeld anorthiet ( $CaAl_2Si_2O_8$ ). Hierdoor wordt o.a. calcium aan de smelt onttrokken. De resterende smelt zal op een bepaald moment te natriumrijk worden om anorthiet stabiel te doen zijn. De anorthiet reageert met de smelt en bytowniet wordt gevormd. Bij verder zakken de temperatuur zal, als er genoeg materiaal voor is, de reeds gevormde plagioklaas steeds oplossen en zal een natrium-rijkere vorm ontstaan, totdat uiteindelijk de componenten zijn uitgeput en het magma is gestold.

Ook voor de plagioklasten zal de afkoeling vaak sneller gaan dan de gevormde plagioklaas zich kan aanpassen. Er

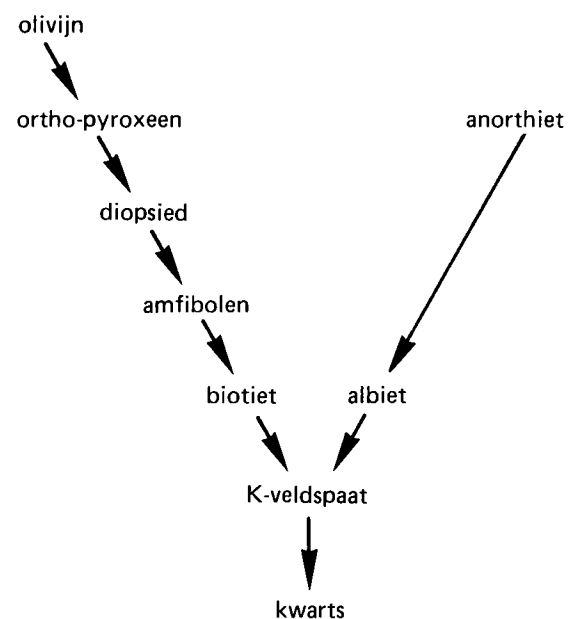
vormt zich om de eerder gekristalliseerde fase een verdere uitbouw van Na-rijkere plagioklaas. Het plagioklaaskristal wordt dan zonair, wat in slijpplaatjes bij gekruiste nicols duidelijk te zien is.

Bij verdergaande daling van de temperatuur van een magma zullen ook de alkaliveldspaten gaan kristalliseren.

Eventueel ontmengen deze zich uiteindelijk in kaliveldspaat (orthoklaas of mikroklien) plus albiet. In een bepaalde fase kristalliseert ook kwarts uit als de elementen daarvoor nog aanwezig zijn. Vaak gebeurt dit samen met de alkaliveldspaten.

De temperatuur kan dan nog rond 400-600 °C liggen.

Globaal kan de kristallisatievolgorde van donkere en lichte mineralen worden weergegeven in de zg. reaktiereeks van Bowen.



Reaktiereeks van Bowen

Hierna is vaak nog een zeer mobiele restvloeistof over die hoge concentraties aan gassen in zich heeft en waarin verscheidene bestanddelen zitten die nog niet eerder in de kristalroosters van mineralen werden opgenomen. Dit zijn bijvoorbeeld zeldzame-aarde-elementen maar ook borium en resterende fluor. Dit restmagma kan in aders of gangen uitkristalliseren, vaak in of in de buurt van de randen van het intrusieflichaam. Zo komen bepaalde pegmatieten tot stand, die een heel bijzondere samenstelling kunnen hebben.

Maar ook kunnen deze vaak erg agressieve residuen het al gevormde gesteente beïnvloeden zodat opnieuw een aanpassing nodig is en een nieuw evenwicht moet worden gevonden. Zo worden, door toedoen van boriumhoudend restmagma, toermalijn-granieten gevormd, en mede onder invloed van fluor, zogenaamde greisen.

Verschijnselen in deze laatmagmatische fasen noemt men deuterisch. Hieronder vallen o.a. toermalinisatie, albitisatie, silicificatie, waarbij de in de termen vervatte mineralen al bestaande stoffen geheel of gedeeltelijk hebben vervangen.

Intussen zijn we de grenzen genaderd, waar magmatische verschijnselen, metasomatose en verwering elkaar raken. De kringloop der gesteenten kan beginnen.

## Differentiatie van magma

We zijn er in deze globale volgorde van kristallisatie van uitgegaan, dat de gevormde mineralen in de smelt bleven zweven. Als ze niet meer stabiel waren in de veranderende resterende smelt werden ze weer door het magma opgenomen waardoor andere mineralen konden uitkristalliseren. Dit proces zette zich voort tot de vloeibare fase verdwenen was.

Maar de gevormde kristallen kunnen o.a. vanwege hun groter soortelijk gewicht omlaag zinken en zo aan de reactie worden onttrokken. Daardoor verandert het magma wezenlijk van samenstelling. Volgens deze gedachtegang kan een hele serie van gesteenten ontstaan, de meest Mg-Fe-rijke onderin het complex, naar boven toe gesteenten die steeds armer aan deze elementen worden. Zulke gelaagde massieven zijn inderdaad bekend: de Skaergaard-intrusie in Zuid-Groenland, waar in het ontsloten gedeelte het anorthiet-gehalte van de plagioklaas van beneden naar boven daalt van  $An_{61}$  tot  $An_{30}$ , verder het Bushveld-complex in Zuid-Afrika. Ook in het Loch Ailsh-complex in Assynt, Schotland, zijn voorbeelden te vinden.

Men heeft wel gemeend, dat alle stollingsgesteenten, ook de granieten, uit een basisch oermagma zouden zijn voortgekomen. Maar dit is geen houdbare theorie gebleken. Tegenwoordig gaat men om de oorsprong van stollingsgesteenten te verklaren uit van een bazaltisch en een granietisch hoofdmagma.

## Bazaltisch magma

Dit is diep in de aardkorst aanwezig, mogelijk wordt het uit vloeibare delen van de mantel gevoed. Dit is de oorsprong van "bazaltische" gesteenten, die in kolossale hoeveelheden gevormd zijn en nog gevormd worden. Bazalt komt voor als bodem van de oceanen en als enorme plateaus op de continenten van Amerika, India, Australië, Europa (Ierland). Dit magma heeft een lage viscositeit - het "stroomt" gemakkelijk - en heeft een temperatuur van circa 900-1250 °C. Door deze eigenschappen dringt het gemakkelijk in breukgebieden omhoog naar het aardoppervlak, waar het uitvloeit. Het overgrote deel van

de gesteenten die uit een bazaltisch magma afkomstig zijn, zijn dan ook uitvloeiingsgesteenten, ook extrusieve gesteenten of vulkanieten genoemd - ze vallen buiten ons onderwerp.

Waar dit magma in de diepte blijft steken, bijvoorbeeld als rest van een magmakamer, kan het langzaam afkoelen en kunnen grof- tot middelkorrelige dieptegesteenten ontstaan. Een bekend gesteente is de gabbro, die chemisch dezelfde samenstelling heeft als bazalt, maar er heel anders uitziet. In gangen en platen koelt het magma onder invloed van het nevegesteente betrekkelijk snel af en worden de kristallen niet zo groot, behoudens de al eerder gevormde fenokristen. Zo ontstaan ganggesteenten van bazaltische samenstelling, die een tussenvorm zijn tussen extrusieve en intrusieve gesteenten, bijvoorbeeld dolerieten. Gesteenten van het bazaltische magma afkomstig hebben een hoog magnesium- en ijzergehalte, ze zijn betrekkelijk arm aan  $SiO_2$  en  $H_2O$ . Hoofdmineralen zijn plagioklaas en pyroxeen, ook wel olivijn en/of hoornblende. Het zijn zware gesteenten, het s.g. is ongeveer 3.0.

Wanneer het  $SiO_2$ -gehalte niet toereikend is wordt in plaats van (een deel van) de veldspaat een foid gevormd: meestal nefelien. Dan is een onderverzadigd gesteente ontstaan, bijvoorbeeld een essexiet of een nefelien-gabbro.

## Granietisch magma

Granietisch magma heeft een temperatuur van circa 900 °C. Het heeft een hoge viscositeit, en is daarom meestal weinig tot stromen geneigd. Granietische lava's zijn minder wijdverbreid dan bazaltische: door hun taaiheid bereiken ze minder vaak het aardoppervlak. Men neemt aan, dat veel granietisch magma, zo niet alles, ontstaan is doordat continentale gesteenten door bijvoorbeeld orogeenetische (gebergtevormende) bewegingen in diepere delen van de korst is beland. Daar is het door de heersende hoge temperatuur en druk geheel of gedeeltelijk opgesmolten.

Vele grote granietmassieven komen inderdaad voor in de kernen van plooingsgebergten, meestal in relatie met metamorfe gesteenten, zoals gneizen.

Het uitgangsmateriaal van een granietisch magma is gevarieerder van samenstelling dan dat van een bazaltisch magma. De gesteenten die eruit voorkomen lopen tamelijk ver uiteen. Ze bevatten doorgaans een flink percentage kwarts, alkaliveldspaat en Na-rijke plagioklaas.

Het gehalte aan donkere mineralen is meestal vrij laag. Mafisch zijn voornamelijk glimmers en hoornblende. Door hun kenmerken: grote viscositeit, uitkristalliseren op meestal aanzienlijke diepte, worden uit granietische magma's voor een groot deel dieptegesteenten gevormd.

Daarvan nemen de granieten en granodiorieten het leeuwedeel in beslag. De andere typen komen doorgaans niet als grote "eigen" intrusies voor maar vormen randzones of kleine lichamen.

Ook bij de granietische gesteenten komen verzadigde en onderverzadigde soorten voor: monzonieten, syenieten en alkaliveldspaat-syenieten. Er zijn ook gangen en plaatvormige lichamen die granietisch van samenstelling zijn: granietporfieren, aplieten en pegmatieten. Granietporfieren zijn weer een tussenvorm naar de uitvloeiingsgesteenten waarvan de rhyolieten een voorbeeld zijn.