

Geologie: Mineralen en gesteenten

May 30, 2007

Contents

I Mineralen	4
1 Wat zijn mineralen?	4
1.1 Mineralogie en archeologie	4
2 Kristallen	5
2.1 De wet van Steno (1669)	5
2.2 Kristalsymmetrie	5
2.3 Kristalstelsels, kristalklassen en kristalvormen	5
3 Structuur en chemische samenstelling van mineralen	5
4 Classificatie en naamgeving	6
4.1 Algemeenheden	6
5 Identificatie van mineralen in het handstuk	6
5.1 Vormkenmerken	6
5.2 (massa)dichtheid	6
5.3 Hardheid en sterkte	6
5.4 Eigenschappen tov het licht	7
5.5 Speciale kleureffecten en glans	7
5.6 Dubbelbreking	7
5.7 Magnetisme en radioactiviteit	7
5.7.1 Magnetisme	7
5.7.2 Radioactiviteit	8

6	Instrumentele technieken voor mineraalonderzoek	8
6.1	Polarisatiemicroscop	8
6.2	X-stralendiffractie	8
6.2.1	Diffactie van X-stralen op kristallen	8
6.2.2	X-stralen diffractometer	8
6.3	Scanning-electronenmicroscop	8
6.3.1	Scanning-electronenmicroscopie (SEM)	8
6.3.2	Electronenmicroprobe (EMP)	9
6.4	Toestellen voor de bepaling van de chemische samenstelling	9
6.4.1	AAS: Atoomabsorptie-spectrofotometrie	9
6.4.2	XRF: x-stralenfluorescentie-spectrometrie	9
6.4.3	INAA: instrumentele neutronenactiveringsanalyse	9
6.4.4	ICPES: Inductief gekoppelde plasma emissiespectrometrie	9
6.5	Massaspectrometer	9
6.6	Instrumentele technieken en geologisch herkomstonderzoek	10
6.6.1	Herkomst en oorsprong	10
6.6.2	Oorsprongsonderzoek	10
7	Beschrijvende (archo)mineralogie	10
7.1	Gedegen metalen en metaalertsen	10
7.1.1	Gedegen metalen	10
7.1.2	Metaalertsmineralen	11
7.2	Minerale pigmenten	11
7.2.1	Mineralen met diverse toepassingen	11
II	Gesteenten	12
8	Magmatische gesteenten	12
8.1	Inleiding	12
8.2	Samenstelling	13
8.2.1	Chemische samenstelling	13
8.2.2	Definities	13

8.2.3	Felsische mineralen: Veldspaten	13
8.2.4	Mafische mineralen	13
8.3	Structuren en texturen	13
8.3.1	In het handstuk	13
8.3.2	Texturen (fabrics)	14
8.3.3	In het veld (structuren)	14
8.4	Classificatie en naamgeving	14
8.5	Pyroclastische gesteenten	14
9	Sedimentaire gesteenten	15
9.1	Detritische sedimentgesteenten	15
9.1.1	Verwerking	15
9.1.2	Transport	15
9.1.3	Afzetting	16
9.1.4	Textuur	16
9.1.5	Sedimentaire structuren	16
9.1.6	Classificatie	16
9.1.7	Bestanddelen	17
9.2	Biogene, biochemische en organische sedimentgesteenten	19
9.2.1	Kalkstenen (en dolomieten)	19
9.2.2	Kiezelgesteenten	19
9.2.3	Koolstofhoudende gesteenten	19
9.3	Chemische sedimentgesteenten	20
9.3.1	Sedimentaire ijzergesteenten	20
9.3.2	Evaporieten	20
10	Metamorfe gesteenten	20
10.1	Mineralogische samenstelling	20
10.2	Type's van metamorfose	20
10.2.1	Thermisch-metamorfe gesteenten	20
10.2.2	Regionaal-metamorfe gesteenten	21
10.2.3	Texturen	21

10.2.4 Regionaal-metamorfe pelitische gesteenten	21
10.2.5 Andere regionaal-metamorfe gesteentetypes	21
10.3 Dynamisch-metamorfe gesteenten	22
10.4 Migmatieten	22
10.5 Classificatie: het faciës concept	22
10.6 Enkele toepassingen van de verschillende gesteentesoorten	22

Part I

Mineralen

1 Wat zijn mineralen?

Een mineraal is een natuurlijke, meestal anorganische, homogene, vaste stof die kristallijn is en die een welbepaalde (maar niet vaste) chemische samenstelling heeft.

Natuurlijk: niet door de mens vervaardigd.

Vaste toestand (drie aggregatietoestanden: gasvormig, vloeibaar, vast)

Homogeen: overal dezelfde samenstelling

Kristallijn: met een vast rooster

Welbepaalde (maar niet vaste) chemische samenstelling: dezelfde atomen maar niet per se hetzelfde aantal

Anorganische oorsprong: gevormd door fysische en chemische processen in de niet-levende wereld

1.1 Mineralogie en archeologie

Gebruik van mineralen:

1. als edelsteen
2. als grondstof voor de winning van metalen
3. voor het vervaardigen van gebruiksvoorwerpen
4. als basis voor pigmenten en kleurstoffen

De studie van mineralen omvat de kristallografie, mineraalchemie, beschrijvende mineralogie, systematische mineralogie, studie van het geologisch voorkomen.

2 Kristallen

Mineralen hebben meestal een regelmatige, geometrisch vorm, de kristalvlakken vormen samen een kristalpolyeder die als identificatiekenmerk kan worden aangewend. Volledig ontwikkelde kristalen kunnen euhedrisch, idiomorf of automorf zijn. Gedeeltelijk ontwikkelde kristallen heten subhedrisch of hypidiomorf, onregelmatige kristallen heten anhedrisch, allotriomorf of xenomorf. De inwendige bouw wordt onderzocht met microscoop of fijnere technieken: dit zijn micro- en cryptokristallijne mineralen.

2.1 De wet van Steno (1669)

Ook wel de wet van de standvastigheid van de tweevlakshoeken. Ze stelt dat de hoeken tussen verschillende kristalvlakken voor één kristal steeds hetzelfde is. Om de geometrische kristalklasse te bepalen worden deze hoeken dus gemeten met goniometers.

2.2 Kristalsymmetrie

Een euhedrisch kristal is symmetrisch. De belangrijkste symmetrie-elementen zijn:

- **Symmetriecentrum.** Elk punt op een kristalvlak of -ribbe heeft een overeenkomstig punt. De kristalvlakken zijn dus paarsgewijze evenwijdig.
- **Symmetrievlakken.** Dit is een spiegelvlak, het verdeelt het kristal dus in twee helften die elkaars spiegelbeeld zijn.
- **Symmetrie-assen.** Men kan 2-, 3-, 4- of 6tallige symmetrie-assen hebben, dit is wanneer de dekking plaatsvindt na een draaiing van resp. over 180° , 120° , 90° of 60° .

2.3 Kristalstelsels, kristalklassen en kristalvormen

Dikwijls zijn er combinaties van verschillende symmetrie-elementen; het totale aantal combinaties is 32, de **32 kristalklassen**. Deze zijn opgedeeld in **7 kristalstelsels**, waarvan degenen met de hoogste symmetrie als de Holoëdrische klasse wordt aangeduid. Deze stelsels zijn: het regulair (4 drietallige assen), tetragonaal (viertallige as), hexagonaal (zestetallige as), trigonaal (drietallige as), rombisch (symmetrievlakken of tweetallige assen), monoklien (hoogstens 1 tweetallige as en/of symm. centrum), triklien (centrum tot niets).

3 Structuur en chemische samenstelling van mineralen

Mineralen zijn opgebouwd uit atomen, gerangschikt in een kristalrooster volgens een chemische binding. De 5 belangrijkste bindingstypes zijn de ionaire binding, de covalente binding, de metallische binding, de van-der-Waalsbinding en de waterstofbinding. Het mineraal wordt voorgesteld dmv een chemische formule, de meeste mineralen zijn samengesteld uit elementen uit de drie bovenste rijen van de tabel. Chemische verbindingen kunnen ook voor verschillende mineralen staan, omdat hun inwendige structuur verschillend kan zijn (polymorfisme). Dit komt doordat de fysische omstandigheden bij het uitkristalliseren ook van belang zijn (druk en temperatuur). Sommige mineralen komen veel minder voor in de aardkorst, maar bv in het geval van Au, dat is gedegen toestand voorkomt, valt het veel meer op.

4 Classificatie en naamgeving

4.1 Algemeenheden

Tegenwoordig zijn er ongeveer 4000 mineraalsoorten gekend en beschreven. Het onderzoek was vroeger sterk gericht op chemische samenstelling (de eerste grote indeling was door Dana: elementen, zwavel- en arseenverbindingen, halieden, oxiden en organische verbindingen). De kennis van de inwendige structuur is te danken aan natuurkundigen, vanaf de 20e eeuw met de X-stralendiffractie.

De **moderne classificatie** is: elementen (Au), sulfiden (CuS), halogeenzouten (NaCl), Oxiden (CuO) en hydroxiden ($\text{Mg}(\text{OH})^2$), sulfaten (CaSO_4), carbonaten en nitraten (CaCO_3), fosfaten en vanadaten, silicaten ($\text{Fe}(\text{Mg})^2\text{SiO}_4$), organische verbindingen.

Mineraalsoorten die tot eenzelfde groep behoren hebben dezelfde structuur maar een verschillende chemische samenstelling (bv. silicaten). Binnen eenzelfde mineraalsoort kunnen verschillende variëteiten bestaan, dit zit in de details van de chemische samenstelling (bv. kwarts, roze kwarts, citrien). Mineralen hebben zeer uiteenlopende namen die niet wetenschappelijk zijn.

5 Identificatie van mineralen in het handstuk

5.1 Vormkenmerken

Een mineraal behoort tot één van de 7 kristalstelsels, maar 'ideale' kristallen komen zelden voor. De gedaante van een mineraal noemt men de **habitus**. Zo heeft men **regulaire** (blokkige) en niet-regulaire kristallen, die verder worden onderverdeeld in **prismatische** (sterk gegroeid in één richting), **tafelvormige** (zwakker in één richting) en **latvormige** (verlenging én verkorting) kristallen. Misvormigen zijn een **naaldvormige** en **bladvormige** habitus.

Aggregaten van kleinere kristallen die zowel euhedrisch, subhedrisch als anhedrisch kunnen zijn, hebben een aantal beschrijvende termen: granulair, compact, globulair (+ reniform, bothryodaal en mammillair), oölitisch, vezelig/stralig, bladerig/lamellair, dendrietisch, stalactitisch, geode.

5.2 (massa)dichtheid

Hiermee wordt de massa van het mineraal per volume-eenheid bedoeld. Dit wordt vooral bepaald door de atoommassa van de bouwstenen en de kristalstructuur. De dichtheid van de meeste gesteentevormende mineralen zit tussen 2.50 en 2.75 g/cm³. Deze kan snel bepaald worden door te proef van gewichtsvermindering in water, met een zware vloeistof zoals bromoform. Het kan ook gebruikt worden om mineralen uit mengels te scheiden, dit meestal met natriumpolywolframaat.

5.3 Hardheid en sterkte

De **hardheid** is hoe bestendig met mineraal is tegen krassen of indrukken met een harde punt. Ze wordt uitgedrukt in de *empirische schaal van Mohs*. Deze verloopt volgens een exponentiële curve.

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

De **sterkte of stevigheid** is de kracht die moet worden uitgeoefend om het mineraal te breken. Er zijn verschillende soorten breuken bijvoorbeeld de conchoïdale breuk, splinterbreuk en aardeachtige breuk. Afhankelijk van de bindingen zal een kristal volgens sommige richtingen, zijn splijtvlakken, beter breken.

Naar afnemende sterkte zijn de mineralen: cabonedodiamant, nefriet, jadeïet, chrysoberyl, korund, kwarts, diamant, forsteriet, beryl, granaat, ...

5.4 Eigenschappen tov het licht

Licht is een transversale trilling, ze staat loodrecht op de voortplantingsrichting. De afstand tussen twee knoppunten in de golf is de golflengte. Licht met één golftype wordt monochromatisch licht genoemd. In vloeistoffen en vaste stoffen treedt er dispersie op (brekingsindex). Opake mineralen laten geen licht door, doorzichtige volledig en doorschijnende laten diffuus licht door. Sommige mineralen hebben steeds dezelfde kleur (diagnostisch), dit komt doordat bepaalde golflengten worden geabsorbeerd. Vooral transitie-metalen kunnen een intense kleur veroorzaken, dit zijn *chromoforen*. Wanneer het metaal een hoofdbestanddeel van het mineraal is, noemt men het idiocromatisch, indien niet, allocromatisch. De factoren die de kleur bepalen zijn de aard, de valentie en de kristalstructuur van het transitie-metaal. Het kan ook veroorzaakt worden door kristaleffecten, bv radioactieve straling.

5.5 Speciale kleureffecten en glans

Onder de **kleureffecten** heeft men: schittering (bv geslepen edelstenen), stereffect (door naaldvormige inclusies), lichtverstrooiing, opalescentie.

De **glans** verschilt in metaalglans en niet-metallische glans. Bij deze laatste vinden we glasglans, maarlemoerglans, vetglans, zijdeglans en diamantglans.

Bij identificatie wordt er vaak gekeken naar de kleur van de streep.

5.6 Dubbelbreking

- **Optisch isotrope media:** waar het licht zich in alle richtingen even snel voortplant en in alle richtingen dezelfde brekingsindex heeft. Het invallend licht wordt ter hoogte van het invalsvlak gebroken.
- **Optisch anisotrope media:** dat een veranderlijke brekingsindex heeft. De meeste mineralen zijn anisotroop, dus dubbelbrekend (splitsen in 2 stralen).

5.7 Magnetisme en radioactiviteit

5.7.1 Magnetisme

Veel mineralen zijn diamagnetisch, ze hebben geen magnetische straling. Sommige mineralen bevatten Fe of Mn ionen, zij zijn paramagnetisch. Stoffen als metallisch ijzer zijn ferromagnetisch, maar ze zijn echter zeer zeldzaam. Het wordt vooral gebruikt door archeologen om te dateren.

5.7.2 Radioactiviteit

Sommige elementen bevatten isotopen die radioactief zijn, deze desintegreren dus. Het verval van ^{40}K naar ^{40}Ar en ^{14}C wordt gebruikt om te dateren, alsook thermoluminescentie.

6 Instrumentele technieken voor mineraalonderzoek

6.1 Polarisatiemicroscoop

De polarisatie- of *petrografische* microscoop helpt mineralen te identificeren door hun optische kenmerken en door hun textuur in het gesteente. Hiervoor moet men een slijpplaatje van het gesteente hebben. De vergroting gebeurt door twee lenzen: polarisatiefilters. Men kan ermee bestuderen of het gesteente een dubbelbreking heeft, maar ook de uitdovingshoek en of ze optisch één- of tweeassig zijn, en hun rom, splijtvlakken, inclusies, inwendige structuren. De microscoop is ook zeer handig bij het onderzoek van (magering van) aardewerk.

6.2 X-stralendiffractie

Elke mineraalsoort heeft een bepaald roostertype met eigen netvlakken.

6.2.1 Diffractie van X-stralen op kristallen

Dit wordt het meest gebruikt voor (an- en organische) kristallijne stoffen, dit doordat zij een geordende structuur hebben. De X-stralen hebben een bepaalde afstand van elkaar, en moeten worden teruggestrooid door de atomen. Dit kan enkel als de twee stralen in fase zijn, dat die afstand dus even groot is als hun golflengte. Zo kan men het kristal eenduidig identificeren.

6.2.2 X-stralen diffractometer

Hiervoor moet men het kristal eerst verpoederen, en weerkaatste bundels worden geteld met een telbuis, en weergegeven in een diffractogram. De gegevens zijn hierdoor snel beschikbaar. Dit is vooral voor cryptokristallijne stoffen.

6.3 Scanning-electronenmicroscoop

Deze bestaat uit een elektronenkanon dat hoogenergetische elektronen produceert.

6.3.1 Scanning-electronenmicroscopie (SEM)

De elektronenbundel produceert secundaire elektronen: zij worden weggeslagen uit hun banen rond het atomen. Hiermee kunnen details van een mineraaloppervlak worden bestudeerd, of submicroscopisch kleine mineralen en fossielen.

6.3.2 Electronenmicroprobe (EMP)

Bepaalt de chemische samenstelling van een mineraal, waarbij een hooggepolijste sectie een target vormt. Het hangt af van de elementen waaruit het mineraal bestaat. De intensie van de pieken tonen de verhoudingen aan. Hoe zwaarder de elementen, hoe beter.

6.4 Toestellen voor de bepaling van de chemische samenstelling

De meeste technieken hebben het gesteente in poedervorm nodig.

6.4.1 AAS: Atoomabsorptie-spectrofotometrie

Het poeder wordt in een vlam verstoven, waarbij de individuele atomen ontbinden in hun chemische bestanddelen. Men laat hier een lichtbundel met bepaalde golflengte op vallen, zo kan men de hoofdelementen bepalen. (single-element methode).

6.4.2 XRF: x-stralenfluorescentie-spectrometrie

Wanneer men het poeder bestraalt met een X-stralenbundel, stuurt het zelf fluorescente X-straling uit. De energie is kenmerkend voor de aard en de intensiteit een maat voor zijn concentratie (multi-element methode).

6.4.3 INAA: instrumentele neutronenactiveringsanalyse

Het monster wordt bestraald met neutronen en worden zo radioactief gemaakt. Ahv de energie en de intensiteit kunnen de mineralen worden ontleed. Archeologen doen hier vooral bepaling van sporelementen mee, omdat er een heel kleine dosis nodig is, tegenwoordig is het niet goed meer voor de veiligheid.

6.4.4 ICPES: Inductief gekoppelde plasma emissiespectrometrie

Een gas wordt geïoniseerd tot een heet plasma, dat wordt verstoven. De atoomsoorten gaan zelf licht uitzenden, en aan hun golflengte kunnen ze ontleed worden (multi-element methode).

6.5 Massaspectrometer

Dit scheidt atomen op basis van hun massa, en laat zo hun isotopische samenstelling zien. Het wordt voor dateringsmethodes gebruikt.

6.6 Instrumentele technieken en geologisch herkomstonderzoek

6.6.1 Herkomst en oorsprong

Herkomst *Provenience*: de plaats waar een artefact wordt gevonden.

Oorsprong *Provenance*: de plaats waar het ruwe materiaal werd gevonden

Dit is vooral belangrijk om info te verschaffen over transportroutes, handelactiviteiten, sociaal-economische contacten, organisatie van industriële activiteiten.

6.6.2 Oorsprongsonderzoek

1. Localisatie en bemonstering van alle potentiële geologische brongebieden. Deze eerste stap is geologisch. Elke mogelijk vindplaats dient op representatieve wijze bemonsterd te worden. Ook de antieke ontginningsplaatsen zijn belangrijk.
2. Keuze van de passende analysetechniek(en).
3. Keuze van de juiste techniek van dataverwerking en interpretatie.

Ook het **vervaardigingsproces** kan worden opgedeeld:

1. Artefacten uit mineralen waarvan de eigenschappen nauwelijks of niet werden gewijzigd (bv silex).
2. Artefacten waarbij het uitgangsmateriaal duidelijk is gewijzigd of vermengd (bv aardewerk).
3. Artefacten waarbij het uitgangsmateriaal met verschillende oorsprong intiem werd vermengd (bv ertsen). Hierbij dient men steeds rekening te houden met recyclage.

7 Beschrijvende (archeo)mineralogie

7.1 Gedegen metalen en metaalertsen

Van alle metalen waren enkel Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As en Hg gekend voor de 18E.

7.1.1 Gedegen metalen

Deze zijn zuivere elementen, met een typische kleur en glans. Ze zijn zacht, pletbaar, en makkelijk te bewerken.

Goud (Au) Goud in de natuur is zelden zuiver. Dit wordt uitgedrukt in ppt of karaat. Wanneer er meer dan 20% Ag aanwezig is, spreekt men van *electrum*. *Primair Au* komt voor in oververzadigde plutonische en vulkanische gesteenten, of in hydrothermale afzettingen. *Secundair Au* zit meestal in rivierbeddingen in de vorm van placers.

Zilver (Ag) Gedegen Ag is zeldzaam. Het komt meer voor als bijproduct van goudzuivering of uit zink- en loodertsen, bijvoorbeeld Galeniet. Men haalt het eruit door cupellatie.

Koper (Cu) Wordt overwegens gewonnen uit koperertsmineralen, de oudste winningen zijn echter gedegen koper. *Primair* komt het voor in mafisch intrusieve en vulkanische gesteenten en in gangen met koperertsmineralen. *Secundair* komt het voor in klastische sedimenten en in gletsjerafzettingen.

IJzer (Fe) Het komt in de natuur zeer zelden voor in gedegen toestand (meteorietijzer).

7.1.2 Metaalertsmineralen

De sulfide-ertsen worden onderverdeeld in 4 subgroepen: de kiezen, de glansen, de blenden en de vaalertsen.

Koperertsmineralen: Chalcopyriet of koperkies, Chalcosiet of koperglans, Pyriet, Cupriet, Malachiet, Azuriet, Chrysocolla

IJzerertsmineralen: Hematiet, Magnetiet, Goethiet, Limoniet

Loodertsmineralen: Galeniet of loodglans

Zinkertsmineralen: Sfaleriet of zinkblende

Tinertsmineralen: Cassiteriet

7.2 Minerale pigmenten

Een **pigment** is een fijn poeder dat als een suspensie wordt verdeeld in een drager om zo een gekleurde vloeistof (verf) te krijgen. Verven brengen de kleur doorgaans aan als een dekkende laag. **Kleurmiddelen** zijn dikwijls metalen en worden gebruikt om een drager kleur te geven.

IJzeroxiden: hematiet, goethiet, limoniet

Kopermineralen: malachiet, chrysocolla, azuriet

Metaalsulfiden: galeniet

Cinnaber (kwiksulfide)

Realgar (arseensulfide), vervalt tot auripigment en arsenoliet

Stibniet (antimoonglans, antimonië)

Grafiet

7.2.1 Mineralen met diverse toepassingen

Aluniet: bijtmiddel in leerlooierij, bestanddeel van geneesmiddelen (zalven)

Gips: albast voor beeldhouwwerk, bereiding van plaaster, mortel

Haliet: bewaarmiddel voor voedsel, additief, betaalmiddel

Natron: mummificatie, vervaardigen van glas en glazuur/faïence

Zwavel: medicinaal (reiniging of ontsmetting), vulmateriaal, buskruit

Silicaten (neso-, soro-, cyclo-, ino-, fyllo-, tekto-): gebruik als siersteen, pigment

Kaoliniet (porselein-aarde): fijn porselein

Illiet of hydromuscoviet: laatste deklaag op kleipotten, voor typische glans

Smekiet of montmorilloniet, vervaardiging van aardewerk, reiniging van wollen weefsels (absorberende eigenschappen)

Part II

Gesteenten

De **petrologie** bestudeert gesteenten en wordt onderverdeeld in *petrografie* (gesteentebeschrijving) en *petrogenese* (oorsprong, onstaanswijze en evolutie). **Gesteenten** zijn *losse of verharde aggregaten van mineralen, glas, plantaardige of dierlijke resten en andere natuurlijk vaste stoffen, of een mengsel van verschillende van deze bestanddelen. Ze hebben een heterogene samenstelling.*

Er zijn drie grote groepen:

1. **Magmatische gesteenten** ontstaan door stolling van magma, en zijn van endogene oorsprong.
2. **Sedimentaire gesteenten** zijn exogeen, en losse sedimenten worden door compactie- en cementatieprocessen omgezet tot coherente gesteenten.
3. **Metamorfe gesteenten** worden door een metamorfose van magmatische en sedimentaire gesteenten.

8 Magmatische gesteenten

8.1 Inleiding

Magmatische gesteenten zijn stollingsgesteenten, doordat ze ontstaan uit de stolling van magma, een silicaatvloeistof, in de aardmantel. Afhankelijk van waar de stolling gebeurt, onderscheidt men **plutonische gesteenten** of intrusieve- en dieptegesteenten, **ganggesteenten** en **vulkanische gesteenten** of extrusieve-, effusieve of pyroklastische gesteenten (overgangsgesteenten).

8.2 Samenstelling

8.2.1 Chemische samenstelling

Ze vertonen een grote chemische verscheidenheid. Vooral O^2 (93%) is aanwezig, alsook Si en Al, het percentage van andere elementen ligt opmerkelijk lager. Er komen ook sporelementen voor, met een concentratie van 0.1 tot 1000 ppm, zoals Cr, Cu, Zn etc.

8.2.2 Definities

Primaire mineralen kristalliseren rechtstreeks uit het magma, **secundaire mineralen** ontstaan na verwerking van deze eerste. **Essentiële mineralen** zijn primair en bepalen de classificatie en de naamgeving van het gesteente, ze komen meestal in grote hoeveelheden voor. **Accessorische mineralen** zijn ook primair maar zijn slechts in kleine hoeveelheden aanwezig.

Felsische mineralen zijn meestal bleek en hebben een kleine dichtheid. **Mafische mineralen** zijn donker en hebben een hoge dichtheid.

8.2.3 Felsische mineralen: Veldspaten

Alkaliveldspaten, plagioklazen, kwarts, veldspatoïden

8.2.4 Mafische mineralen

Olivijn, pyroxenen, amfibolen, glimmers, Fe- en Ti-oxides, glas

8.3 Structuren en texturen

Textuur (fabric) slaat vooral op eigenschappen die zichtbaar zijn (zelf of door microscoop).

8.3.1 In het handstuk

Faneritische gesteenten zijn gesteenten waarvan men de textuur met het blote oog kan zien (meestal plutonische gesteenten). **Afanitische gesteenten** zijn ook volledig uitgekristalliseerd, maar de textuur kan men enkel via een microscoop zien (vulkanische gesteenten).

De *kristallisatiegraad* beschrijft men met **holokristallijn** (volledig samengesteld uit kristallen, plut.), **hypokristallijn** (deels glazig, deels kristallijn, vulk. of subvulk.), **holohyalien** (geheel glazig).

Wanneer een gesteente een gelijke *korrelgrootte* heeft, noemt men het **equigranulair**. Verder onderscheidt men zeer grofkorrelige, grofkorrelige, matig grofkorrelige en fijnkorrelige gesteenten.

Porfirische gesteenten hebben *fenokristen* met goed ontwikkelde kristalvlakken, zij zijn omringd met een glazige grondmassa. Wanneer ze aggregaten worden noemt men ze *glomeroporfirisch*. Veel lava's hebben *vacuolen*, de structuur noemt men **blazig**. Bij lava's met een **amygdaloïdale** structuur zijn de holte's deels

opgevuld met secundaire mineralen. **Puimsteenachtig** is wanneer pyroklasten zoveel holtes bevatten dat het gesteente drijft. Wanneer ze op uitgesmolten metalertsen lijken noemt men ze **vulkanische slakken**.

Verschillende *kristaltype's* zijn **euhedrisch** (kristallen volledig door eigen kristalvlakken begrensd), **subhedrisch** (deels) en **anhedrisch** (geen eigen kristalvlakken). Hiermee ziet men de orde van kristallisatie.

8.3.2 Texturen (fabrics)

Euhedrisch-korrelig (bestaan vnl uit euhedrische kristallen), **subhedrisch-korrelig** (plut.) en **anhedrisch-korrelig** (fijnkorrelige, granitische ganggesteenten).

Vloietextuur is macroscopisch herkenbaar, en heeft een vloeirichting (vulk.). Bij een **poliklitische** textuur sluiten veel anhedrische kristallen kleine kristallen in. Bij een **intergranulaire** textuur zijn felsische en mafische mineralen kriskras georiënteerd. Een **perlitische** textuur is wanneer een silicarijk, glazig gesteente concentrische, bolvormige barsten vertoont. Een **sferulitische** textuur bevat afgeronde lichaampjes.

8.3.3 In het veld (structuren)

Diaklazen zijn subparallele barsten die door plutonische gesteentemassieven gaan. Als delen gesteente vergaan tot gruis en dit wegspoelt, blijven er zgn **wolzakken** over. Het proces van **exfoliatie** (afpelling) kan ook voorkomen. **Zuilvormige klieving** (vooral in basaltische lavastromen en ganggesteenten) splijt het gesteente in vijf- of zeshoekige prisma's. **Kussenlava's** ontstaan in submariem niveau.

8.4 Classificatie en naamgeving

Kleur is een eerste kenmerk, en valt het meeste op. Ze vormt een goede basis voor classificatie omdat ze sterk bepaald wordt door de mineraalsoort. Bleke steensoorten bevatten vooral veel felsische mineralen, donkere veel mafische. Het gesteente moet volledig uitgekristalliseerd zijn. Met de **kleurindex CI** bepaalt men het volumepercentage mafische mineralen, en worden zo opgedeeld in leukokrate, mesokrate, mafische en ultramafische types.

De **IUGS**-classificatie gebruikt de volumepercentages van enkele belangrijke mineralen: Q = kwarts, A = alkaliveldspaat, P = plagioklaas, F = veldplatoïden, M = mafische mineralen. Deze worden uitgezet in een ruitdiagram. Chemische parameters worden uitgezet in een TAS-diagram.

Veldbenamingen zijn slechts voorlopige benamingen in het veld, ahv een eenvoudig classificatiediagram.

8.5 Pyroclastische gesteenten

Pyroclastische gesteenten ontstaan door explosieve vulkanische uitbarstingen, qua uiterlijk lijke ze op sedimentaire gesteenten. Ze kunnen verhard of gesorteerd zijn. *Tefra* is de verzamelnaam voor incoherente pyroclastische materialen; de dateringsmethoden noemt men *tefrochronologie*. Pyroclasten worden verdeeld in het classificatieschema van Schmid (blok/bom, lapillus, grove-askorrels, fijne-as of stofkorrels). Een **spat** is een pyroclast die in dun-vloeibare vorm werd uitgeblazen. Een **slak** is glazig en incoherent en viel in vaste toestand op het aardoppervlak terug. **Tuffiet** is wanneer er meer dan een kwart van het gesteente uit pyroclast bestaat.

9 Sedimentaire gesteenten

Sedimentaire gesteenten ontstaan door processen aan en nabij het aardoppervlak. De indeling hangt af van de vorming van de gesteenten.

1. **Detritische sedimentgesteenten** zijn afkomstig van de afbraak van andere gesteenten.
2. **Biogene, biochemische en organische sedimentgesteenten** ontstaan uit een accumulatie van fossiliseerbare resten van planten- en diersoorten.
3. **Chemische sedimentgesteenten** door rechtstreekse chemische neerslag uit een waterige oplossing.
4. **Vulcanoclastische afzettingen**.

9.1 Detritische sedimentgesteenten

9.1.1 Verwerking

Door opeenhoping van verweringsproducten vormt zich een verweringsmantel die met *regoliet* noemt. Wanneer de aard van het moedergesteente nog duidelijk kan herkend worden spreekt men van een *saproliet*. Het wordt beïnvloed door het substraat, het klimaat, de topografie, plantengroei, en tijd.

Fysische of mechanische verwerking Processen van verbrokkeling zonder chemische wijziging: **vorstverwerking, insolatie (exfoliatie), planten en dieren**.

Chemische verwerking De belangrijkste factoren zijn water en lucht. Een reactie van mineralen met water noemt men **hydrolyse, oxidatie** is de andere belangrijke reactie.

Klimaatomstandigheden zijn ook bepalend: droge en koude klimaten bevorderen fysische verwerking, warme en vochtige klimaten de chemische.

Weerstand tegen verwerking De weerstand van een stollingsgesteente tegen chemische verwerking hangt af van zijn samenstelling. Basische magmatische gesteenten zijn minder resistent dan zure gesteenten; grofkorrelige gesteenten zijn vanwege hun grotere porositeit gevoeliger dan fijnkorrelige.

9.1.2 Transport

Hierbij worden de afbraakproducten naar hun uiteindelijke plaats van sedimentatie gebracht. De **zwaartekracht** veroorzaakt afglijden van verwerkingmateriaal en *soil creep*. Onder water krijgt men *troebelingsstromen*. Afvloeiend regenwater veroorzaakt *runoff*, en transport door stromend water veroorzaakt verschillende transporten van verschillende korrels. Transport door **wind** komt vooral voor in ariede gebieden, waar het materiaal wordt opgetild en verplaatst, fenomenen als een keienvloer achterlatend. Het puin dat **IJs**gletsjers afzetten heet *morene*.

9.1.3 Afzetting

Het klassieke diagram is het Hjulström diagram. Hoe groter de korreldiameter, hoe hoger de stroomsnelheid. De Wet van Stokes zegt dat de bezinkingssnelheid toeneemt met de korrelgrootte; wegens flocculatieverschijnselen is er niet altijd sortering.

9.1.4 Textuur

Korrelgrootte Klassiek gebeurt de indeling met de korrelgrootte-schaal van Wentworth: de vier korrelroottefracties zijn grint, zand, silt en klei. Zand wordt verder opgedeeld in zeer grof, grof, fijn en zeer fijn. De Phi-notatie van Krumbein maakt de waarden van Wentworth duidelijker. De resultaten van deze tabel worden uitgezet op histogrammen, cumulatieve frequentiecurven of driehoeksdiagrammen.

Vorm en oppervlak van de korrels **Sfericiteit** is de mate waarin een deeltje een bolvorm benaderd. De **afroning** is een maat voor de afslijting van scherpe kanten. **Oppervlakte-texturen** zijn strepen en krassen, dof oppervlak, gepolijst of ribben en facetten.

Fabric De manier waarop de klasten gestapeld zijn en met welke oriëntatie, bepaalt de fabric van een sediment. Deze stapeling of **pakking** kan open of dicht zijn. De textuur wordt analoog idiotopisch, hypidiotopisch of xenotopisch genoemd.

9.1.5 Sedimentaire structuren

Afzettingsstructuren (syndepositioneel) Het meest opvallende kenmerk is de gelaagdheid. Een laag onderscheidt zich van een andere door haar uniformiteit, zeer fijne laagjes noemt men laminae. Wanneer ze parallel lopen spreekt men van *parallele gelaagdheid* (laminatie), anders van scheve gelaagdheid of *kruisgelaagdheid* (bv bij duinen: de ribbels zijn transportvormen). Speciale sedimentatiestructuren zijn *visgraatgelaagdheid*, *Flaser gelaagdheid* en *gegradeerde gelaagdheid*.

Post-depositionele structuren Deze zijn het resultaat van wijzigingen en vervormingen in de oorspronkelijke afzettingsstructuren, bv *load casts*, *convoluties*, *bioturbaties*, *mudcracks*.

9.1.6 Classificatie

Zeer grofkorrelige afzettingen (rudieten)

Grint en puin Grinten van continentale oorsprong zijn fluviatiel of glaciegen. Kleileem is een niet-gesorteerde grinthoudende gletsjerafzetting. Mariene grintafzettingen komen voor langs de oevers van meren of dicht bij de kustlijn.

Conglomeraten en breccies Het merendeel is van glaciogene of fluviatiele oorsprong. In **orthoconglomeraten** zit hoogstens 15% fijn materiaal, in *monomictische* variëteiten hebben alle klasten dezelfde samenstelling. **Paraconglomeraten** bevatten minstens 15% fijn materiaal. Conglomeratische modderstenen hebben veel fijne matrix, zijn niet gelaagd en hebben geen structuur. **Tillieten** zijn morene afzettingen met zeer verschillende klasten.

Zandige afzettingen (arenieten) Losse gesteenten zijn zand, verhard equivalent is zandsteen.

9.1.7 Bestanddelen

Detritische (allochtone) bestanddelen Hun voorkomen wordt bepaald door hun lithologie, chemische en mechanische stabiliteit; tijdens transportperiode vindt er sedimentmaturing plaats. het klimaat speelt ook een rol.

1. Gesteentefragmenten: dit wijst meestal op een onrijp sediment.
2. Mineraalkorrels: kwarts, veldspaat, mica's, kleimineralen, zware mineralen.

Autochtone en autigene bestanddelen Carbonaten, sulfaten en sulfiden, ijzersilicaten.

Classificatie De definitie van zand is zuiver textueel. In zandsteen moeten de bestanddelen ook siliciclastisch zijn. **Zandsteen** wordt onderverdeeld in *arenieten* (gewone zandsteen met minder van 15% matrix) en *wackes* (15 tot 75% matrix). *Kwartsarenieten* bestaan vrijwel uitsluitend uit kwarts, *orthokwartsieten* zijn bovendien verkit met kwartsceement. *Subarkosen* en *arkosen* zijn grofkorrelig en slecht gesorteerd en bevatten veldspaat. *Sublithische* en *lithische arenieten* bevatten gesteentefragmenten. *Grauwacke* is een slecht gesorteerde, harde zandsteenvariëteit, en worden onderverdeeld in *veldspaatgrauwackes* en *lithische grauwackes*. *Kwartswackes* zijn kwartshoudende gesteenten. **Hybride zandsteensoorten** horen niet thuis in het classificatieschema van Pettijohn, zoals glauconiethoudende, kalkarenitische en kalkhoudende zandstenen.

Diagenese

Definitie *Diagenese is het geheel van fysische, chemische en biologische processen waaraan een sediment onderhevig is na zijn afzetting en dewelke resulteren in de omzetting van het losse sediment naar een vast gesteente.*

Halmryolise refereert naar de processen van het contact tussen de afzetting en water. Gesteenten in de overgangsfase van het P-T diagram zijn *anchimetamorfe* gesteenten. De belangrijkste omzettingsprocessen zijn compactie, oplossing, herkristallisatie, vervanging, cementatie en autigenese.

Compactie Duidt op de reductie van porositeit en toename van de massadichtheid van een sediment als gevolg van druk.

Fysische processen Ontwatering, vervorming.

Chemische processen Drukoplossing (cementatie van de poriën).

Cementatie Cementatie is verkitting van de bestanddelen als een los sediment als gevolg van een kristallijne neerslag op de korrels uit een oververzadigde poriënoplossing.

Silicacementatie Treedt in zandsteen meestal op als kwartsovergroeiingen rond de detritische kwartskorrels.

Carbonaatcementatie Dit is het meest voorkomende cement. Het gebeurt door oplossen van detritisch carbonaat (bv kalkschaaltjes) dat opnieuw uitkristalliseert als kalkspaat, voortdurende doorstroming of concentratietoename door evaporatie.

Hematietcementatie (en pigmentatie) Meestal in continentaal milieu; de hematiet vormt een *coating* rond de zandkorrels.

Fijnkorrelige afzettingen (pelieten) **Pelieten** zijn opgebouwd uit deeltjes van klei-en siltfracties. Verharde pelieten worden aangeduid met *siltsteen* en *kleisteen*; wanneer de diagenese beter ontwikkeld is gebeurt er een omzetting naar *schalie* of *schiefer*. *Slib* is een mengsel van gelijke hoeveelheden van beide, verhard heet het *slibsteen* of *slibschiefer*. *Leem* is een mengsel van zilt, zand en klei. *Löss* is kalkhoudende silt zonder gelaagdheid. *Klei* is plastisch en zeer fijnkorrelig. *Mergels* zijn kleien met 35 tot 65% microkristallijn, meestal in mariene omgeving.

Coherente gesteentetypes Siltstenen vertonen een grote gelijkenis met zandstenen. Schalies en schiefers hebben een typische slijting, fijnkorrelige variëteiten noemt men kleischiefers.

Structuren Typische structuren zijn parallelle laminatie en soms kruislaminatie. Het compacte karakter van een slibsteen komt door het afzettingproces zelf, of door postsedimentaire oorzaken. Druksplijting ontstaat door gerichte druk. Vele slibgesteenten bevatten nodules of concreties. De kleur wordt bepaald door het aanwezige organische materiaal, ijzeroxide/hydroxide of gereduceerd ijzer.

Bestanddelen Kwarts en veldplaat zijn belangrijke detritische componenten van de siltfractie. Bij de kleiige sedimenten zijn dat de kleimineralen (kandiet, smectiet, illiet, chloriet). Ze kunnen worden overgeërfd, of komen van neofornatie of transformatie. Hun vorming gebeurt vooral in bodems.

Diagenese Ontwatering van de poriën gebeurt al bij ondiepe begraving, en herhaalt zich. Kleitransformatie treedt op wanneer de temperatuur en de begravingsdiepte toeneemt.

9.2 Biogene, biochemische en organische sedimentgesteenten

Bij deze sedimentgesteenten ontstaan de bestanddelen van de afzetting in het afzettingsmilieu zelf.

9.2.1 Kalkstenen (en dolomieten)

Carbonaatgesteenten zijn sedimentaire gesteenten die meer dan 50% carbonaatmineralen bevatten. Kalkstenen bruisen hevig wanneer ze in contact komen met HCl, dolomieten reageren amper. Het merendeel van de kalkstenen werd in ondiepe zee afgezet (behalve travertijn: continentaal).

Bestanddelen Kalkstenen hebben die soorten bestanddelen: raamwerk- (granulometrische zand-of grintfractie), matrix- en cementbestanddelen. Skeletale bestanddelen zijn fragmenten van afgestorven organismen, ook *bioklasten* genoemd. Bij niet-skeletale bestanddelen heeft men: *oölieten*, *pisoiëden*, *pellets* en *intraklasten*. Het fijne matrixomvattende carbonaatslib noemt men *micriet*. Na afzetting kan calciet verder in de poriën uitkristalliseren als kristallen van kalkspaat, dit heet *spariet*.

Classificatie Classificaties steunen op korrelgrootte, op aard van de raamwerkbestanddelen of op het bevatten van micriet of spariet, ook op de korrelgrootte van de raamwerkelementen en hun relatief belang tov de matrix.

Enkele speciale mariene kalksteensoorten Sommige grote kolonies van koralen of sponzen vormen riffen, wanneer hier een gesteente uit ontstaat is dit *rifkalksteen*. *Krijt* bestaat uit schaaltes van microscopische wieren.

niet-mariene kalksteen *Kalktuf* is zacht, sponzig materiaal met bio-afdrukken. *Travertijn* is meer coherent en tamelijk massief. *Kalkkorsten* situeren zich vooral rond het MZee gebied, het zijn onzuivere carbonaatevaporieten. Door hun gevoeligheid voor CO²-houdend water vormen er zich somd *dolines* (droge desloten depressies) en (*karst*)grotten.

9.2.2 Kieselgesteenten

Kiesel is meestal uit SiO² opgebouwd. *Kiezelaarde* bestaat uit biogene kiezel en is wit- tot geelachtig, zacht en weinig coherent. De amorfe vorm van kiezel zet zich spontaan om tot *chalcedoon*. *Kiezelsinter* is licht, wit, poreus en slaat neer in warmwaterbronnen. *Silicrete* is een verharde kiezelkorst. *Chert* is wanneer kiezelgesteenten in kalksteen voorkomen, *vuursteen* is wanneer het in krijt voorkomt. *Gelaagde kiezelgesteenten* komen dikwijls voor in associatie met schiefers en carbonaatgesteenten.

9.2.3 Koolstofhoudende gesteenten

In een anaëroob milieu treedt er accumulatie en behoud van organische koolstof op. Zij zijn economisch van belang voor brandstoffen. Dit gaat van humus naar veen. Diagenese veroorzaakt hierna *inkoling* en veen wordt omgezet tot bruinkool (ligniet), vette steenkool, magere steenkool en antraciet. Steenkool blijft steeds amorf.

9.3 Chemische sedimentgesteenten

9.3.1 Sedimentaire ijzergesteenten

Hematiet, goethiet, ijzersilicaten.

9.3.2 Evaporieten

Evaporieten zijn het resultaat van een proces van chemische neerslag. Gips, anhydriet en haliet zijn meest voorkomend. het uitdampen van zeewater leidt tot concentratie van verschillende zouten. Ze hebben dikwijls een kristallijne structuur zonder fossielen en zijn fijngelaagd.

10 Metamorfe gesteenten

Metamorfe gesteenten ontstaan wanneer magmatische of metamorfe gesteenten een tijd overhevig zijn aan hoge temperaturen en/of druk. Er kristalliseren dan nieuwe mineralen. Het proces heet metamorfose, het uitgangsgesteente heet protoliet.

Er zijn twee soorten metamorfosen: een **isochemische**, waarbij er geen noemenswaardige verandering in de totale chemische samenstelling plaatsvindt; en een **allochemische**, waarbij er sprake is van aan- en/of afvoer van scheikundige bestanddelen en dus van een verandering in de chemische samenstelling. Een ander woord hiervoor is **metasomatose**.

Bij de naamgeving gebruikt men *meta-* (+ oorspronkelijk gesteente), *ortho-* (wanneer magmatisch gesteente) en *para-* (wanneer sedimentgesteente) voorvoegsels.

10.1 Mineralogische samenstelling

Metamorfe gesteenten hebben een grote verscheidenheid aan chemische, mineralogische en structurele kenmerken. Sommige mineralen worden metamorf genoemd omdat ze zich enkel ontwikkelen in metamorfe context.

10.2 Type's van metamorfose

Hoofdparameters zijn druk p en temperatuur T . Vraag is of de druk in alle richtingen gelijk was, of plaatselijk groter.

10.2.1 Thermisch-metamorfe gesteenten

Dit is wanneer een metamorfose essentieel te wijten is aan verhitting. In het gesteente dat de intrusie omgeeft komt een contactaureool tot stand van thermisch metamorfe gesteenten. De metamorfosegraad is omgekeerd evenredig met de afstand tot de intrusie. Ze kunnen in de hand worden gewerkt door *waterige oplossingen* die chemische elementen meevoeren. Ze worden meestal **hoornstenen** genoemd. Contactaureolen in pelitische

sedimentgesteenten bevatten 2 concentrische zones. In het gesteente vormen zich nieuwgevormde kristallen, men noemt het gesteente dan **vlekkenleien**. De gesteenten van de binnenste zone worden **hoornsteen s.s.** genoemd. Ze zijn fijnkorrelig, niet gefolieerd en granoblastisch. Zuivere kwartzandstenen worden tot granoblastische **kwartsieten** omgezet. Zuivere kalksteen wordt tot **contactmarmor** omgezet.

10.2.2 Regionaal-metamorfe gesteenten

Dit is het meest voorkomende type. Dit proces gaat gepaard met tektonische bewegingen, waardoor de p-T condities verschillen. Limieten tussen zones zijn **isograden**, die wordt gekenmerkt door een **index-mineraal**, de zones heten Barroviaanse zonerings.

Sommige gesteenten hebben een aantal fasen van metamorfose doorstaan en heten **polymetamorf**. Wanneer de verschillende metamorfoses niet even sterk waren, spreekt men van *prograde* metamorfoses, anders van *retrograde* metamorfoses.

10.2.3 Texturen

Bij metamorfose is nooit een belangrijke gesmolten silicaatfase aanwezig. De mineralen kan men ordenen volgens een kristalloblastische reeks: de mineralen bovenaan hebben een grote kristalloblastische kracht en zullen euhedrische kristallen vormen. Metamorfe mineralen die begrensd zijn door eigen kristalvlakken worden *idioblastisch* genoemd, zonder eigen kristalvlakken *xenoblastisch*. Grote kristallen in een fijnkorrelige kristalloblastische matrix heten *porfiroblasten*. Gesteenten met veel evenwijdige geschikte plaatsvormige mineralen hebben een *lepidoblastische* textuur; degenen met een *nematoblastische* textuur hebben een subparallele of parallele schikking van naald- of staafvormige componenten.

10.2.4 Regionaal-metamorfe pelitische gesteenten

Samendrukverschijnselen bij gebergtevorming zorgen voor vlakke structurele en texturele kenmerken die men *foliatie* noemt. *Lineaties* zijn een evenwijdige schikking van prismatische of staafvormige mineralen. *Leisteen* is de eerste stap in de regionale metamorfose van een peliet, gekenmerkt door een uitgesproken splijtbaarheid. De volgende stap is *fylliet*, waarna het gesteente *schist* wordt. De afwisselende lagen noemt men *segregatie*. Bij hogere druk verandert het in *gneiss*, meestal met bleke en donkere lagen.

10.2.5 Andere regionaal-metamorfe gesteentetypes

Uit kwartsareniet ontstaat *metakwarsiet*. De eerste stap hierin is het afbreken van de veldspaten. Kalksteen en dolomiet zetten om naar *calciet- en dolomietmarmers*. Basaltische vulkanische gesteenten veranderen naar *groensteen*. Dieptegesteenten zoals peridotiet worden *serpentiniet*. Als basalt uitkristalliseert, verandert het is *hoornblende* of *granaat (ortho-amfibolieten)*. Bij een nog grotere graad van metamorfose wordt amfiboliet in pyroxenen omgezet: *pyroxeengranulieten*.

10.3 Dynamisch-metamorfe gesteenten

Dit type doet zich zeer lokaal voor, het resultaat is mechanische verbrijzeling en vervorming. Gefolieerde dynamisch-metamorfe gesteenten noemt men *mylonieten*. Grote relict-kristallen noemt men *porfiroklasten*. In een mortelstructuur zitten vaak veldspaat- en kwartsporfiroklasten die door kleinere, nieuwgevormde mineraalkristallen omringd zijn.

10.4 Migmatieten

Dit is een grofkorrelige gneisachtig gesteente met een 'gemengd' uiterlijk. Ze kunnen zeer gevarieerd zijn. Het gesteente is het resultaat van een opsmelting van een gneis: dit proces heet *anatexis*.

10.5 Classificatie: het faciës concept

Om tot een classificatie te komen werd *metamorfe faciës* geïntroduceerd. Het druk-temp diagram wordt hierbij opgedeeld in een aantal velden. Men maakt een onderscheid in drie grote evolutiepaden: een *laag*, *matig* en *hoog* p-T pad. Blauwschist is typisch voor een hoge p-T, voorbeeld is *glaucofaanschist*. *Ecogiet* is de overtreffende stap.

10.6 Enkele toepassingen van de verschillende gesteentesoorten

Magmatische gesteenten Granitische-, vulkanische-, vesiculair vulkanisch gesteente en vulkanische assen.

Sedimentaire gesteenten Zandsteen en kalksteen, kalksteen, gips.

Metamorfe gesteenten Leisteen, marmer, serpentieniet, steatiet.

Stenen werktuigen basalt, obsidiaan, chert of silex, jaspis, fijnkorrelig ortho- en metakwartsiet, hoornsteen en groensteen.