

AARDWETENSCHAPPEN

Deel 4: De chemische Aarde - gesteentecyclus

MINERALEN

Herkenning van mineralen

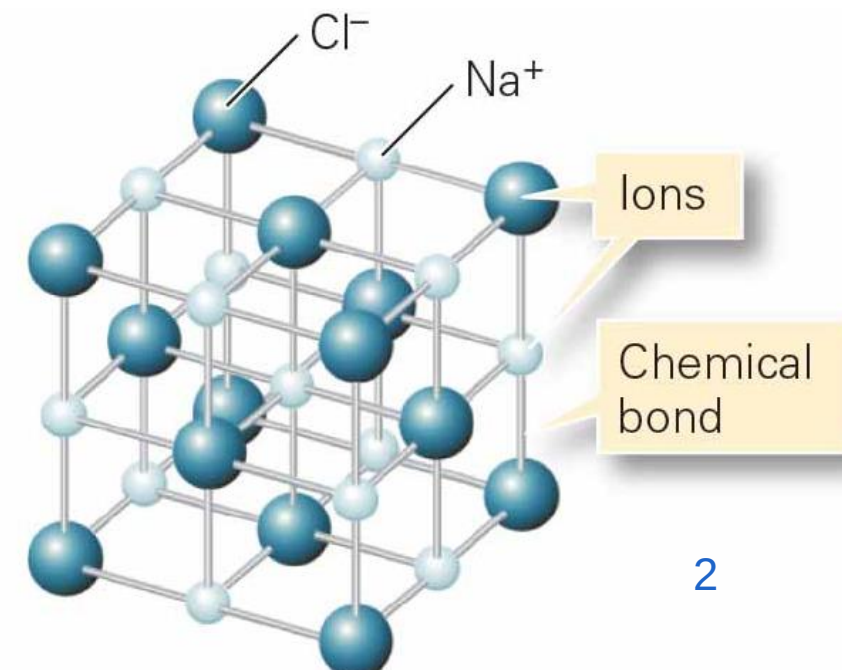
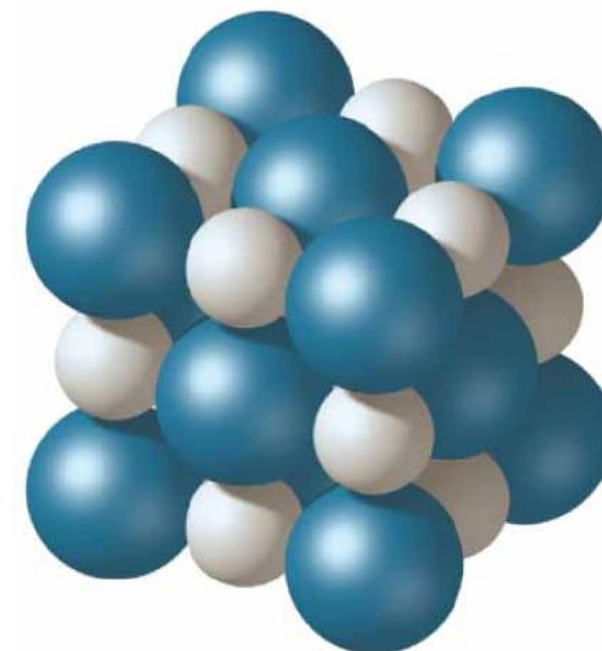
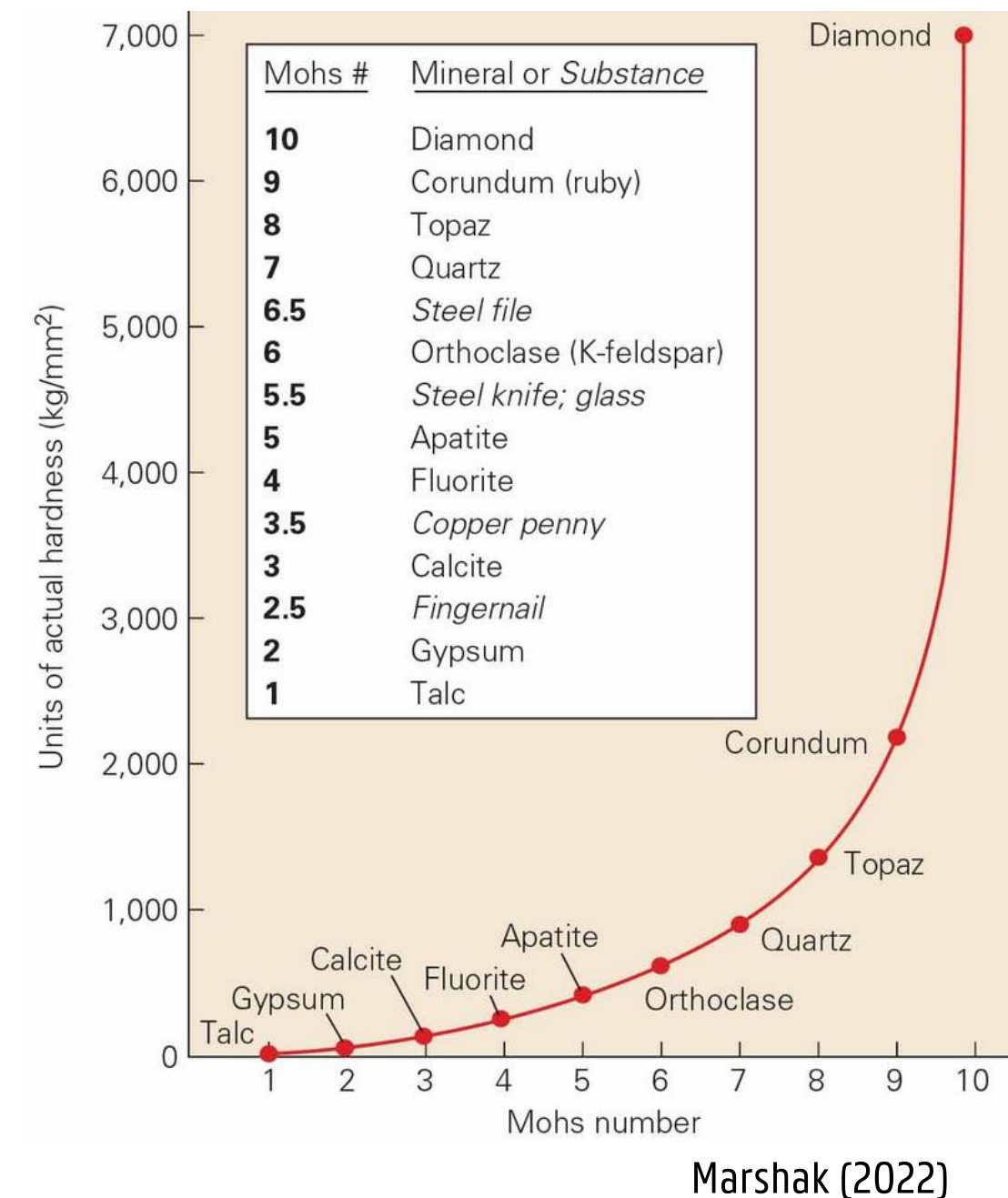
Op basis van “fysische” eigenschappen

- Kristalvorm ~ geometrie ~ splijting
- Relatieve hardheid
- Kleur: streep of vlam
- Glans
- Andere: reactie zuur, magnetisch, smaak,...

Anorganische vaste stof met chemische formule

→ Atomen in geordend kristalrooster

→ X-straal diffractie via poeder

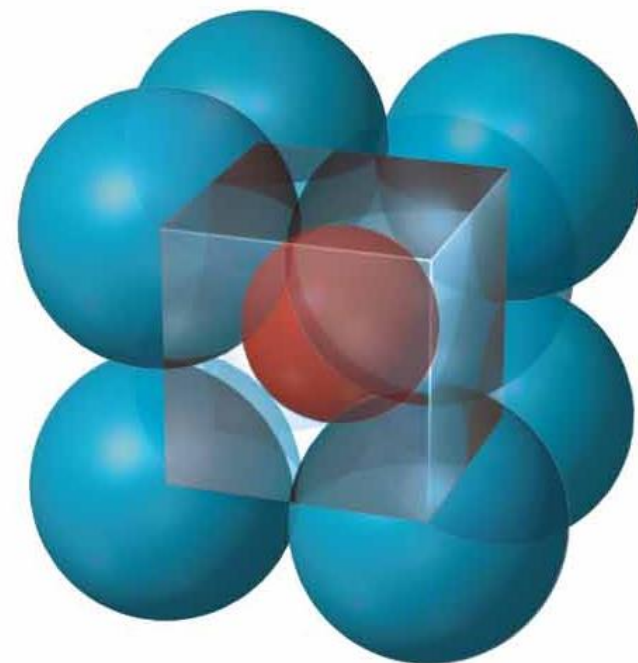


MINERALEN

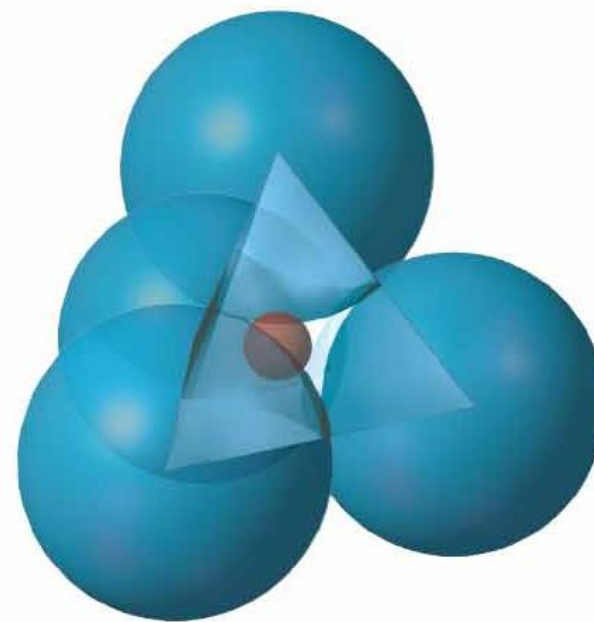
Kristallografie – wat is een mineraal?

Kristalrooster is verantwoordelijk voor geometrie mineraal → kristal

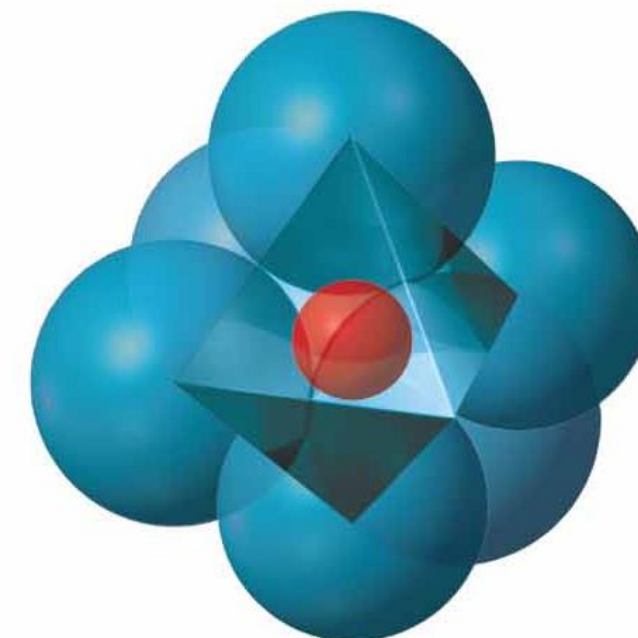
- Regelmatige structuur van stapeling van samenstellende atomen of ionen
- Afhankelijk van grootte atomen, lading, chemische binding,...
- Mede bepalend voor hardheid en splijting



Cubic



Tetragonal



Octahedral

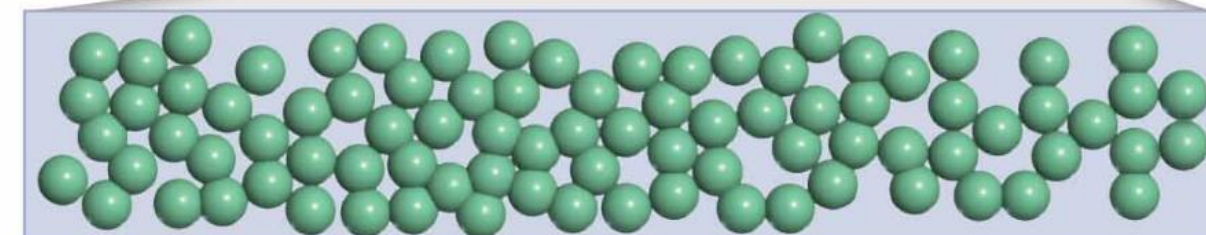
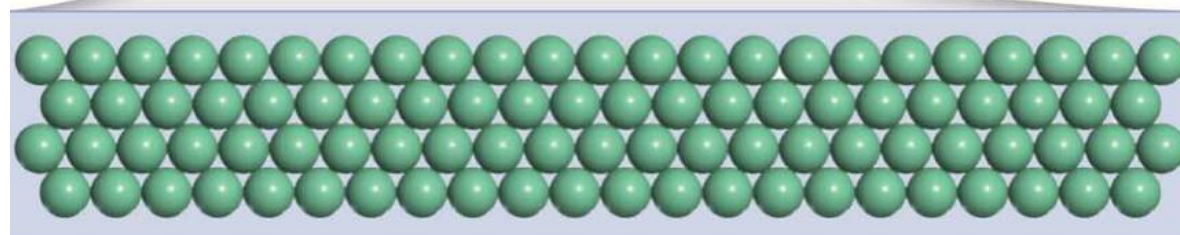
Marshak (2022)

MINERALEN

Kristallografie – wat is een mineraal?

Kristallijne mineralen: groei volgens geordend kristalrooster (niet altijd zichtbaar)

Niet-kristallijne mineralen: geen geordende schikking volgens rooster



MINERALEN

Kristallografie – wat is een mineraal?

Polymorfen

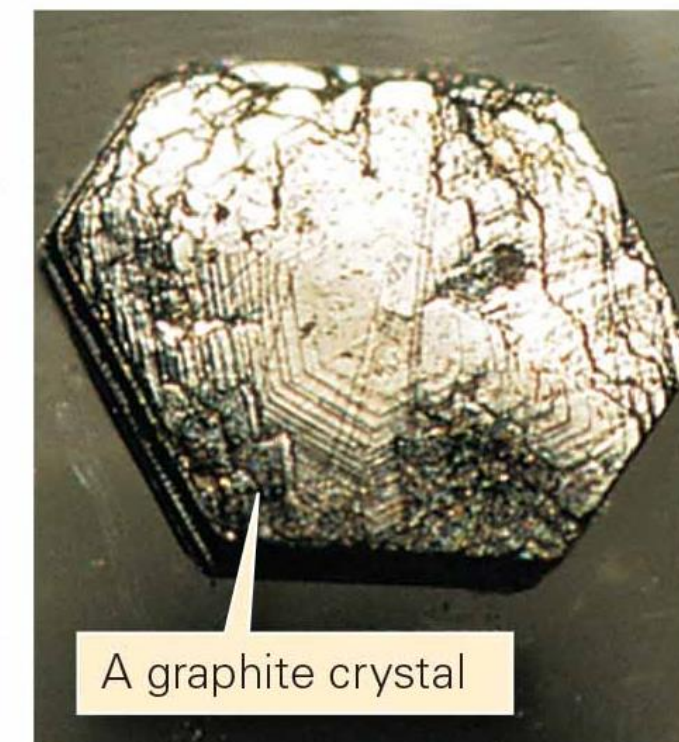
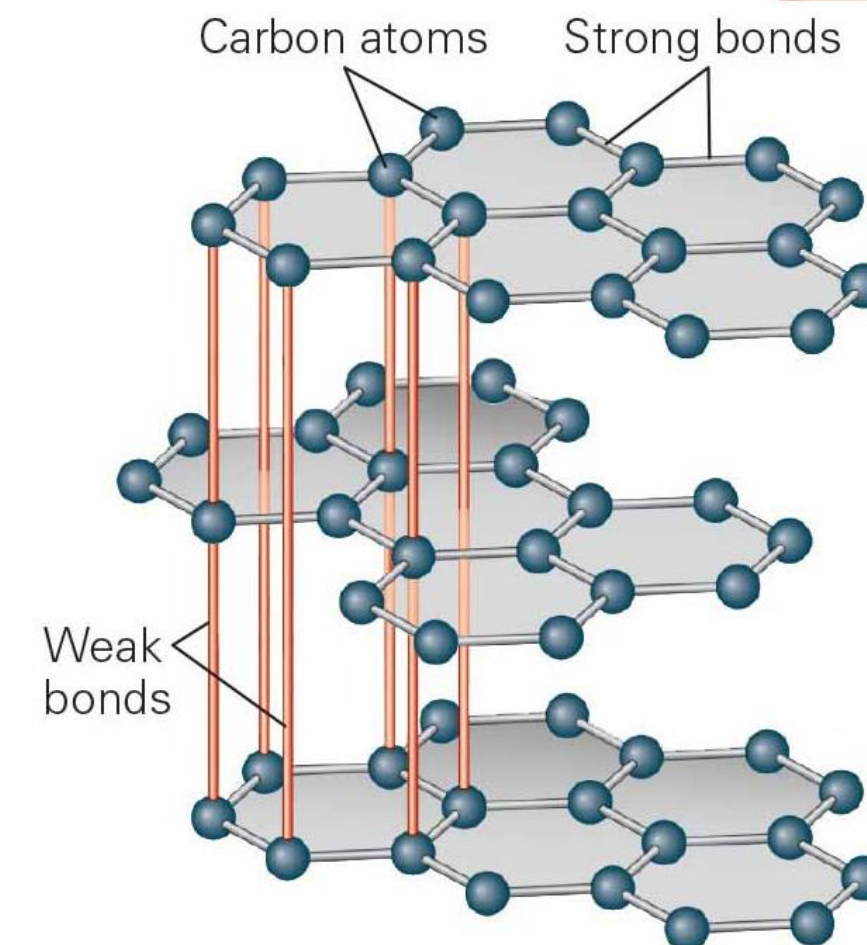
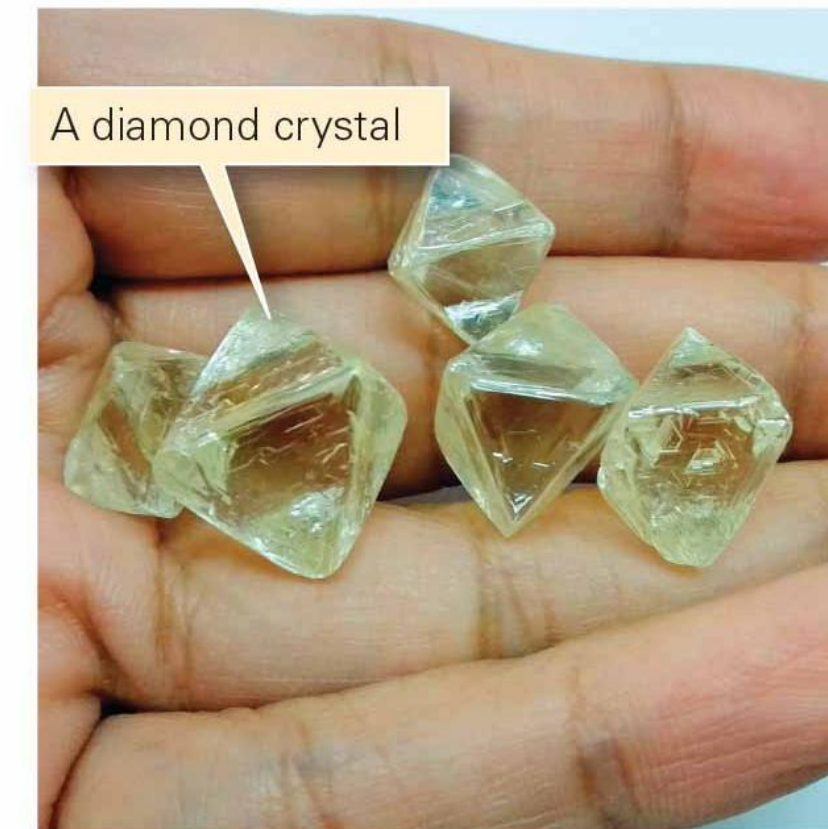
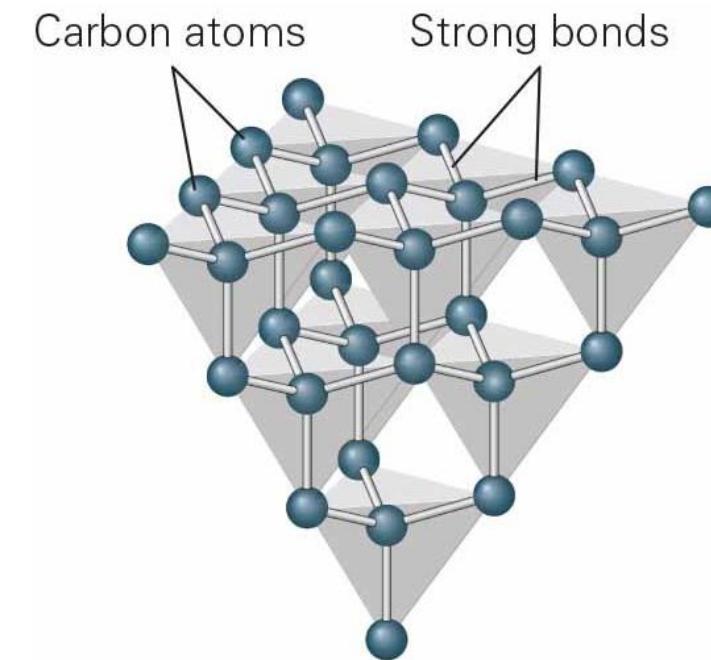
- Zelfde atomen, ionen
- Ander rooster

Diamant → *tetraëders*

- Dichtst mogelijk stapeling

Grafiet → *hexagonale ringen*

- Sterke C lagen
- Zeer zwakke onderlinge binding



MINERALEN

Classificatie van mineralen

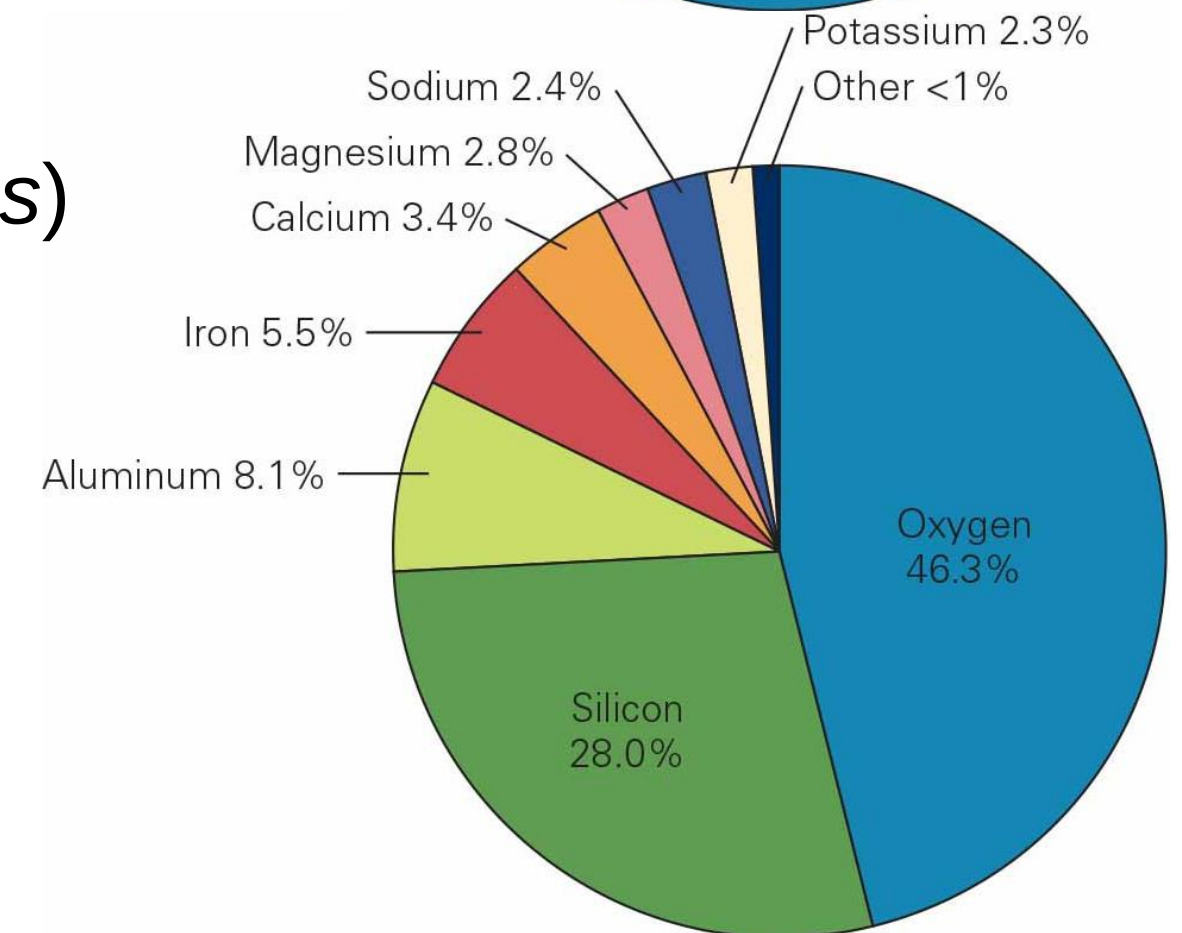
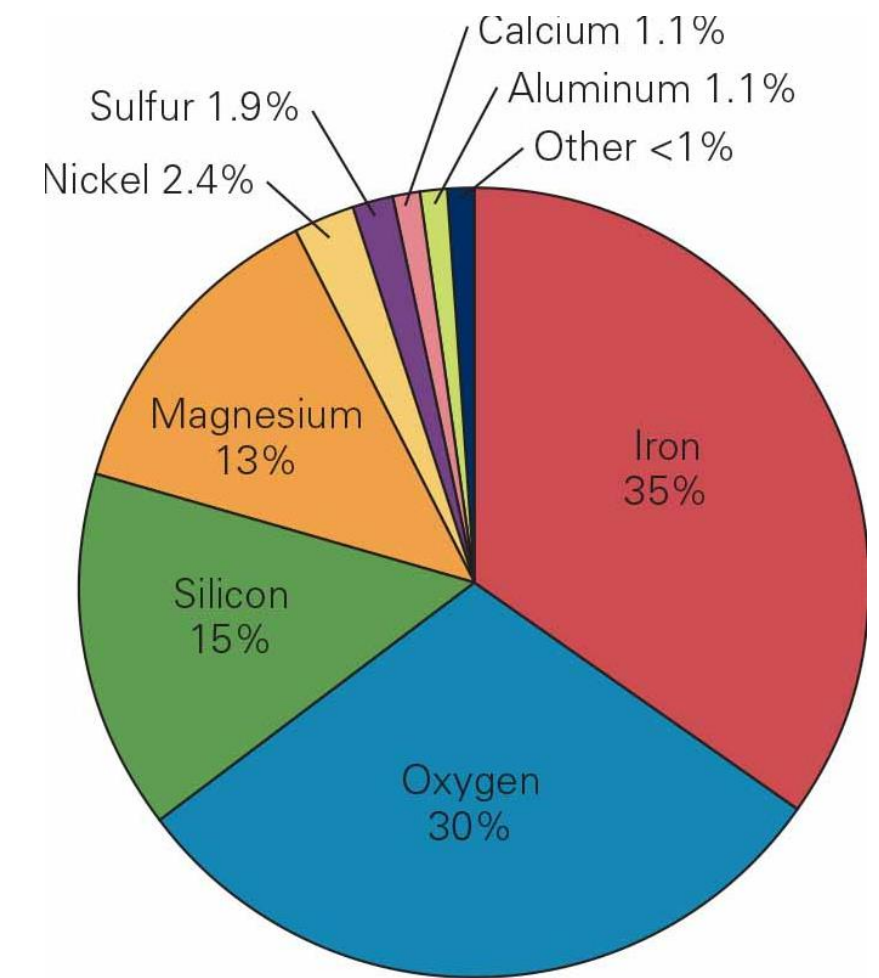
Bouwstenen van de **Aarde**: 4 overvloedige elementen

- Andere verdeling in **korst**: Si en O
- Dominantie van silica-rijke (SiO_2) mineralen

9 groepen; classificatie op basis van

- Chemische samenstelling (19^{de} eeuw, *Berzelius*)
- Kristalstructuur (1941, *Strunz*)

→ hoofdzakelijk voor silicaatmineralen



MINERALEN

Classificatie van mineralen - elementen

Elementen en legeringen → één enkel element

- Meestal metalen
- Metallische binding: Au, Cu, Pt,...
- Polymorfe vormen van C: diamant & grafiet

Voorkomen in de natuur:

- Ongebonden (“gedegen”): Au, Pt (*zeldzaam*)
- Component in ertsmineraal (Cu)
- Spoorelement in andere mineralen (Au, Pt)



MINERALEN

Classificatie van mineralen – sulfiden

Sulfiden (S^{2-}) en arseniden (As^{3-})

FeS_2 : pyriet (*kubisch*) of marcassiet (*knolvormig*)

- Vervangingsmineraal fossiel, bodems,...
- Natuurlijke bron zwavelzuur bij oxidatie

Erts: Galeniet (PbS) & sfaleriet (ZnS)

Pigment: (*meestal toxisch*)

– Cinnaber (HgS): rood-oranje

– Realgar (AsS): vermiljoen & oker



(mindat.org, 2023)

MINERALEN

Classificatie van mineralen - halogeniden

Halogene ionen: Cl & F, maar ook Br, J en At

Haliet (NaCl)

→ Steenzout (door evaporatie)

Sylviet (KCl)

→ Kunstmest, strooizout (door evaporatie)

Fluoriet (CaF₂)

→ Magmatische oorsprong

→ Speciale eigenschap: fluorescentie

→ Oorspronkelijk gebruik in tandpasta's



(mindat.org, 2023)

MINERALEN

Classificatie van mineralen – oxiden en hydroxiden

Verbindingen met metalen, hoofdzakelijk met Fe (erts!)

- Hematiet (Fe_2O_3): “bloedsteen”
- Limoniet: Fe hydroxide, lateriet (verweringsproduct)
- Magnetiet (Fe_3O_4), Korund (Al_2O_3)

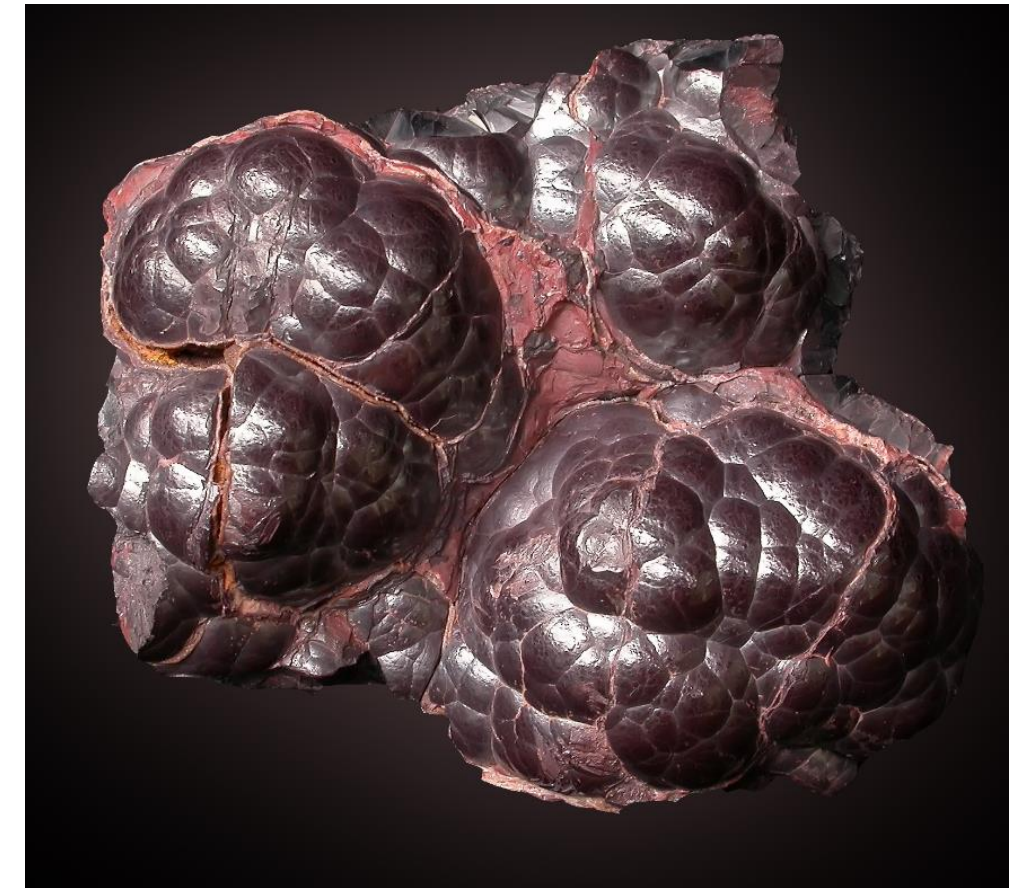
Belangrijk voor opbouw van de Aarde

Spinel (MgAl_2O_4 – *mineraalreeks met Fe, Cr, V, Co*)

- Tetraëdrische structuur → bovenmantel

Perovskiet (CaTiO_3)

- Dubbele tetraëder structuur → ondermantel



MINERALEN

Classificatie van mineralen – carbonaten

Aniongroep: Ca, N, B molecule met zuurstofbinding

Calciet (CaCO_3): bestanddeel sedimentaire gesteenten

- Chemische precipitatie (warmwaterbron, grotten)
- Skeletbouwer: plankton, schelpen, koralen
- Aragoniet: minder stabiele polymorf

Dolomiet ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$): diagenetisch

- Lost niet op in koud zoutzuur (cfr. calciet)
- Microbieel milieu in ondiep tropisch water ?

Malachiet ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$): erts, pigment & siersteen



MINERALEN

Classificatie van mineralen - sulfaten

Binding metallische kationen met SO_4^{2-}

→ Ook als chromaat, molybdaat en wolframaat

Sedimentaire mineralen door verdamping of precipitatie

Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$): gehydrateerde mineralen

- Toepassingen in geneeskunde en bouw
- Speciale mineraalvorm = zwaluwstaart
- Woestijnroos: uitsijpelen grondwater woestijnen
- Niet-gehydrateerde vorm = anhydriet



MINERALEN

Classificatie van mineralen – fosfaten, arsenaten en vanadaten

Doorgaans gebonden aan water of hydroxyl (OH groep)

Apatiet ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$)

- Mineraalreeks tussen F, Cl en OH
- Hydroxyapatiet: bouwsteen dierlijk beenweefsel
- Fluorapatiet: edelsteen

Ook alle natuurlijke nitraten → bestanddeel kunstmest

- **Guano**: gedroogde uitwerpselen van vogels
→ Hoge concentratie meststoffen!



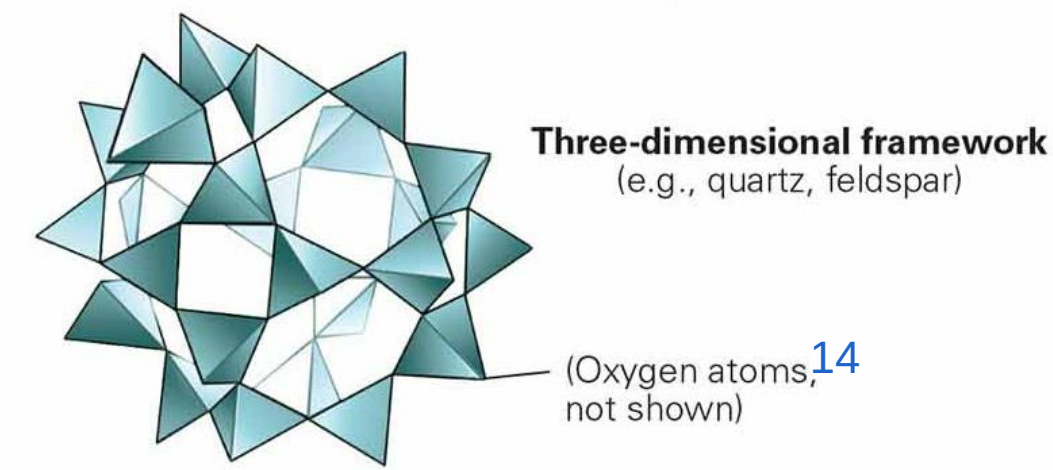
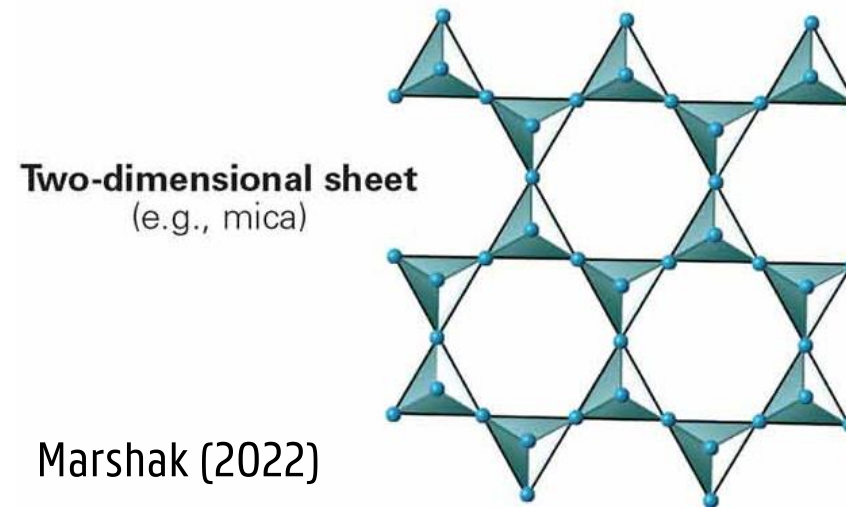
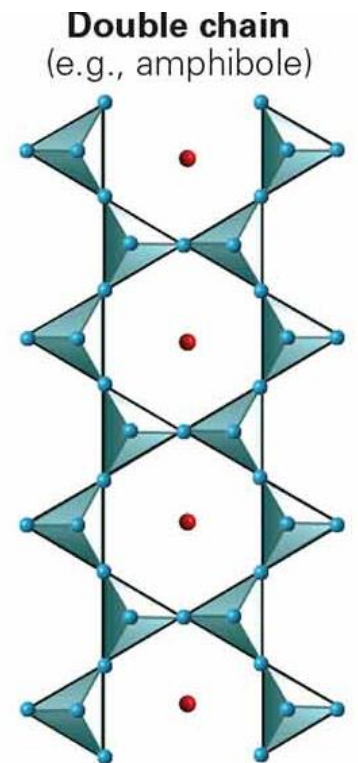
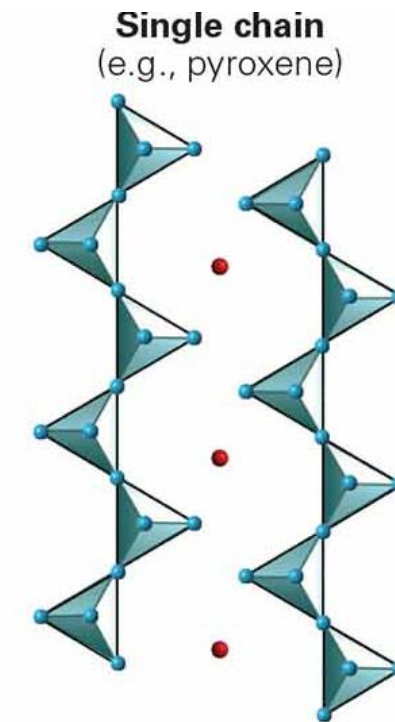
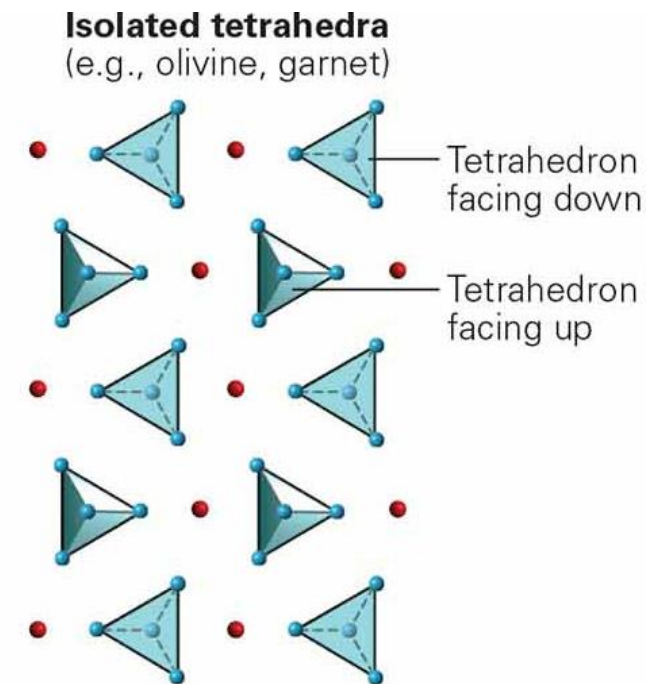
MINERALEN

Classificatie van mineralen - silicaten

Grote diversiteit aan mineraalvormen; 95% van de aardkorst bestaat uit silicaten

Elementaire bouwsteen: tetraëder van SiO_4^{4-} → classificatie ruimtelijke organisatie

- **Neso:** geïsoleerd, enkel
- **Soro:** geïsoleerd, dubbel
- **Ino:** Enkele of dubbele ketens
- **Cyclo:** ringvormige keten
- **Fyllo:** 2D netwerk
- **Tecto:** 3D netwerk



MINERALEN

Classificatie van mineralen – neso & sorosilicaten

Nesosilicaten (*enkele tetraëder*)

- Olivijn ($(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$)
 - Bovenmantel Aarde
 - Mengreeks tussen Mg en Fe
- Granaat ($\text{X}_3\text{Y}_2((\text{SiO}_4)_3)$)
 - Metamorf mineraal (hoge P & T)
 - X & Y: Ca, Mg, Al, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cr, Mn, Ti

Sorosilicaten (*dubbele tetraëder, verbinding aan top*)

- Epidoot – mineralengroep tussen Ca, Fe en Al
- Metamorfe omgeving



MINERALEN

Classificatie van mineralen - inosilicaten

Enkele keten: tetraëders delen 2 atomen

- Mineralen uit de pyroxeen groep
- Grijsgroen verlengde mineralen
- Splitsingsvlak in hoeken van 90°

Dubbele keten: tetraëders delen 2 of 3 atomen

- Mineralen uit de amfibool groep
- Splitsingsvlak in hoeken van 120°
- Bevat asbesten: vezelige mineralen



MINERALEN

Classificatie van mineralen - cyclosilicaten

Ringvorm bestaande uit 3 tot 8 tetraëders

→ Langwerpige mineralen

Toermalijn

- Rooster met silica, boraat, Al, Fe, Li, Mg
- Piëzo-elektrische eigenschappen

Beril groep

- Variatie op $\text{Al}_2\text{Be}_3\text{Si}_6\text{O}_{18}$
- Edelstenen, zoals smaragd



MINERALEN

Classificatie van mineralen - fyllosilicaten

“Bladsilicaten”: bladen uit ringen van tetraëders

- Ionen tussen de verschillende bladen
- Sterke splijting in 1 richting

Mica's: typische splijting met Al en K (ook Na, Ca, Ba,...)

- Voorkomen in stollingsgesteenten
- Muscoviet (K-Al) en biotiet (K-Mg-Fe)

Kleimineralen: bevatten water als hydroxylgroep

- 3 groepen: illiet, smectiet en kaolinit
- Smectiet: “zwellers” – talk (Mg)



(mindat.org, 2023)

MINERALEN

Classificatie van mineralen - tectosilicaten

Ingesloten tetraëders en alle O is gedeeld

Kwarts (SiO_2): kleurverschil door onzuiverheden

→ Citrien, amethyst, rookkwarts, kattenoog...

Veldspaten: Al houdende silicaten (60% aardkorst), splijting

- Kaliveldspaten (K & Na): orthoklaas (KAlSi_3O_8)
- Plagioklazen (Na & Ca): albiet ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) en anorthiet

Veldspaatvervangers: onderverzadigd in silica (lazuriet)

Zeolieten: water in rooster (*absorbeervermogen*)

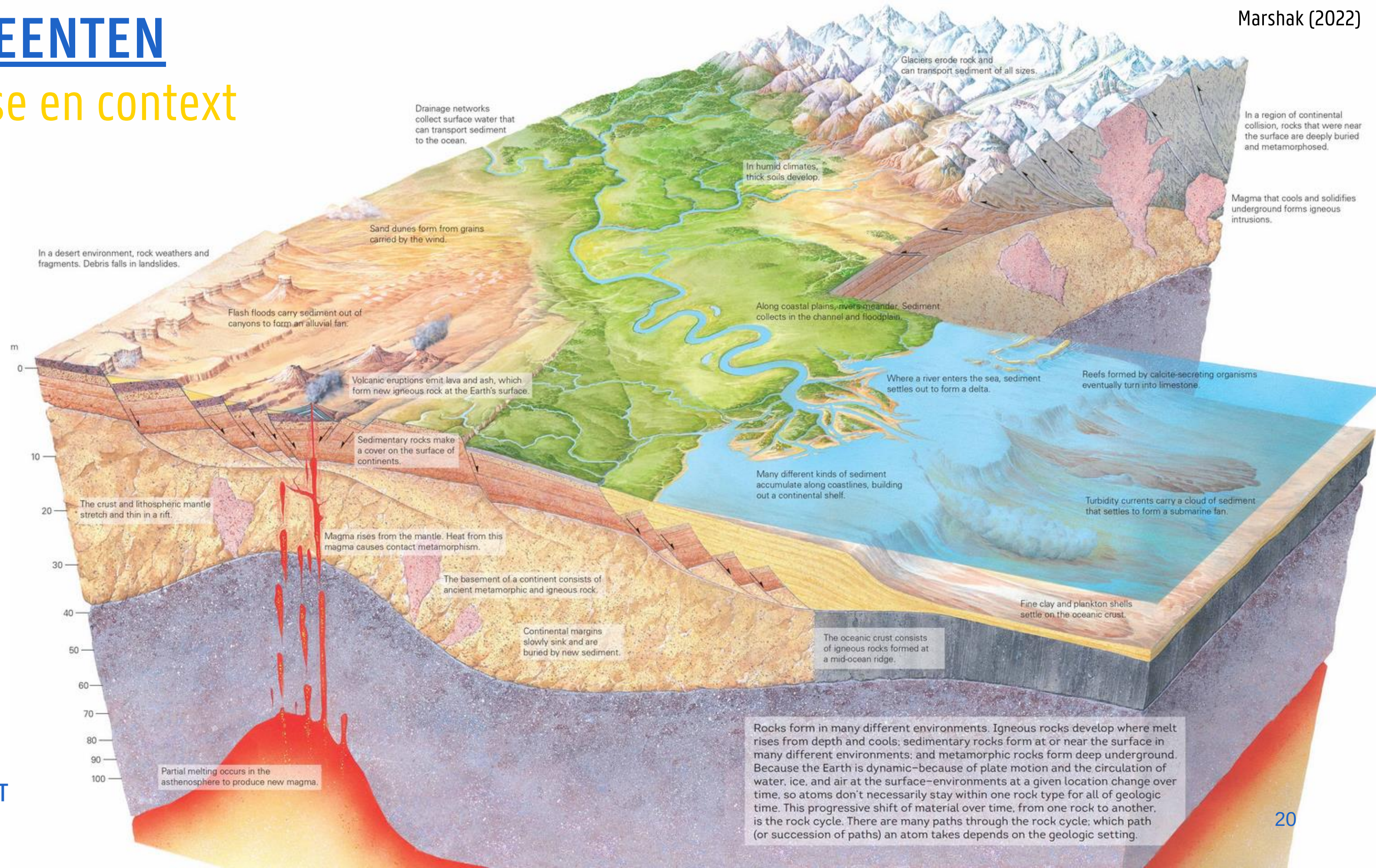


(mindat.org, 2023)

GESTEENTEN

Genese en context

Marshak (2022)



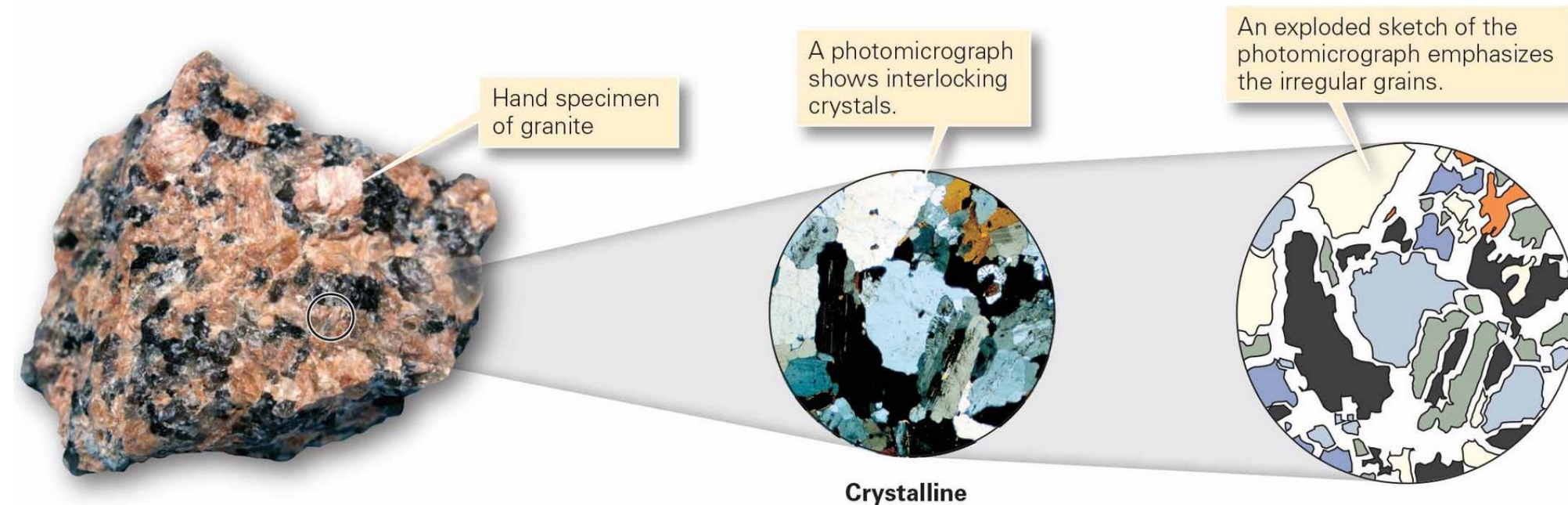
GESTEENTEN

Genese en context

Gesteenten: “aggregaten” van minerale kristallen of kleinere (gesteente)korrels

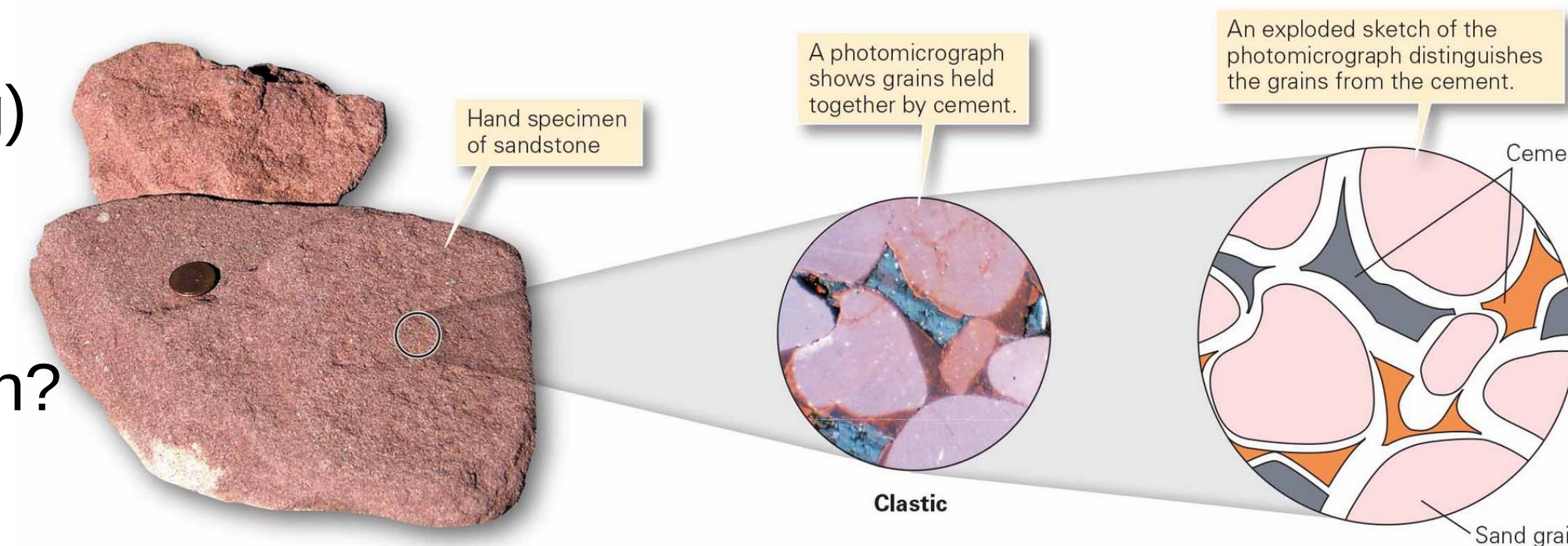
Kristallijne textuur

- Afkoeling van een smelt
- Aaneensluitende kristallen



Klastische textuur

- Klasten: fragmenten (verwering)
- Fijnkorrelig cement



➔ Sedimentaire precipitaten?

➔ Metamorfe gesteenten?

GESTEENTEN

Genese en context

Classificatie en onderscheid tussen gesteenten op basis van

1. **Korrelgrootte & vorm** van kristallen of klasten
2. **Chemische samenstelling** (niet allesbepalend!)
3. **Textuur**: onderlinge relatie van samenstellende mineralen
4. **Gelaagdheid**: samenstelling, korrelgrootte, splijting,...

→ Gesteenten in handstuk (+ vergrootglas)

→ Slijpplaatjes (30 μm) & petrografische microscoop

→ Waslijst aan analytische technieken...

mm	phi	Name	
256	-8	Boulders	Gravel conglomerate
128	-7		
64	-6	Cobbles	
32	-5		
16	-4		
8	-3	Pebbles	
4	-2	Granules	Sand sandstone
2	-1	Very coarse sand	
1	0	Coarse sand	
0.5	1	Medium sand	
0.25	2	Fine sand	
0.125	3	Very fine sand	
0.063	4	Coarse silt	Mud mudrock
0.031	5	Medium silt	
0.0158	6	Fine silt	
0.0078	7	Very fine silt	
0.0039	8	Clay	

GESTEENTEN

Genese en context

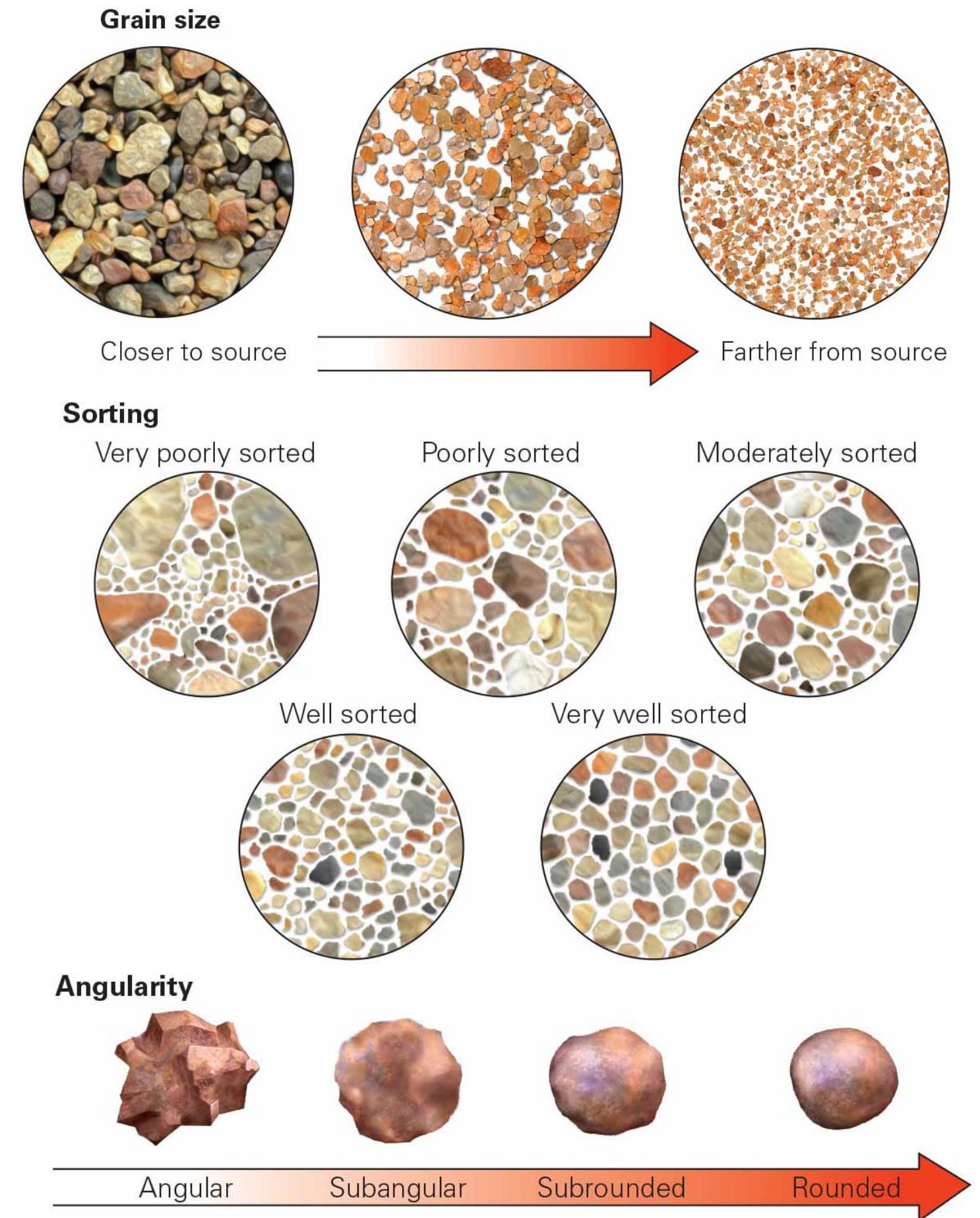
Informatie over de herkomst van de korrels

Individuele parameters:

- **Korrelgrootte:** grof vs. fijn
 - Afstand tot bron gesteente
- **Afronding:** sferisch vs. afgeplat
- **Hoekigheid:** evolutie transport

Parameters over een “geheel”

- **Sortering:** zeer slecht vs. zeer goed



GESTEENTEN

De gesteentecyclus

Connectie tussen 3 types

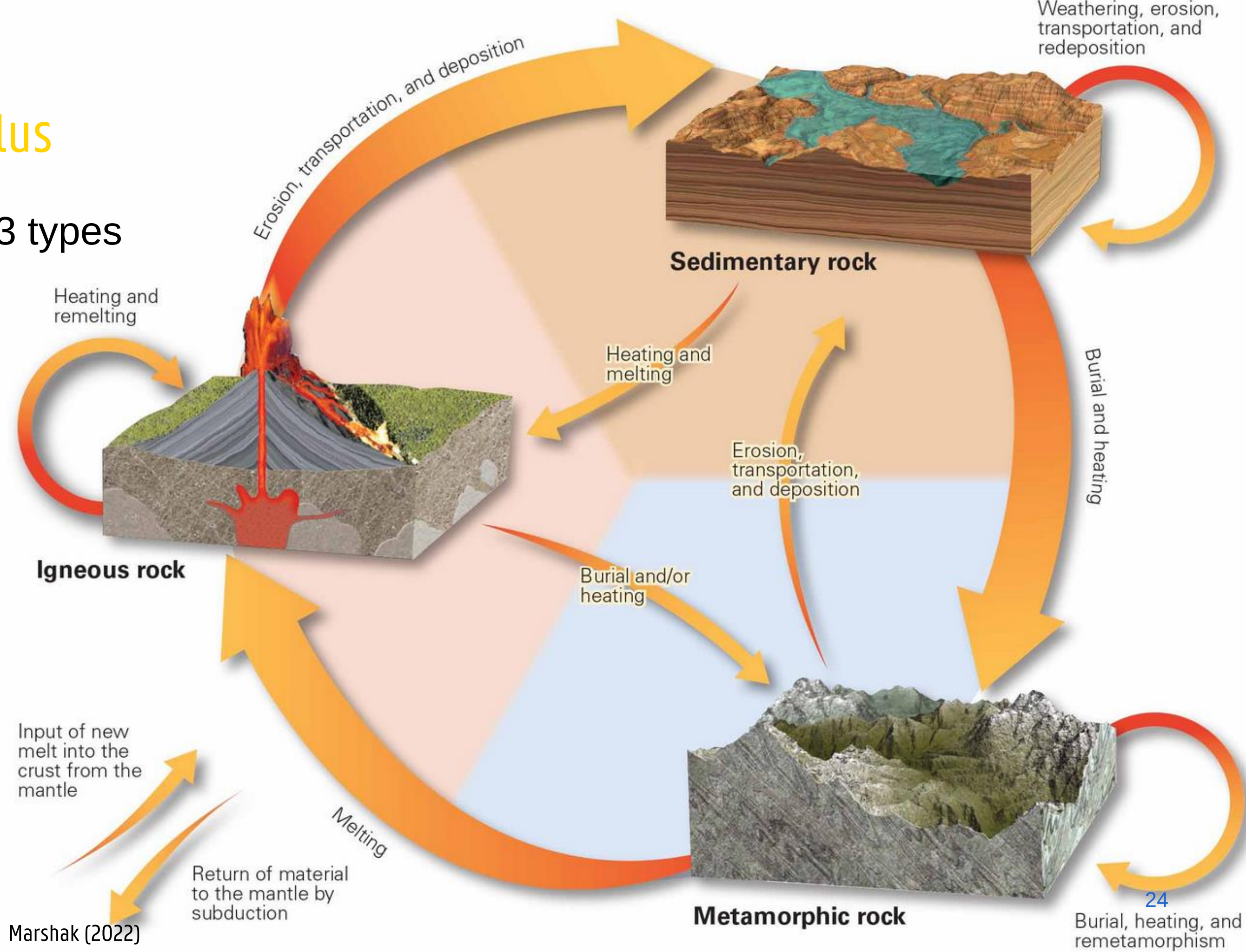
- “kringloop”
- Cfr. watercyclus
- Orogenese

Sturing:

- Geodynamica
- Externe energie
- Invloed leven



UNIVERSITEIT
GENT



STOLLINGSGESTEENTEN

Context binnen een vulkanisch systeem

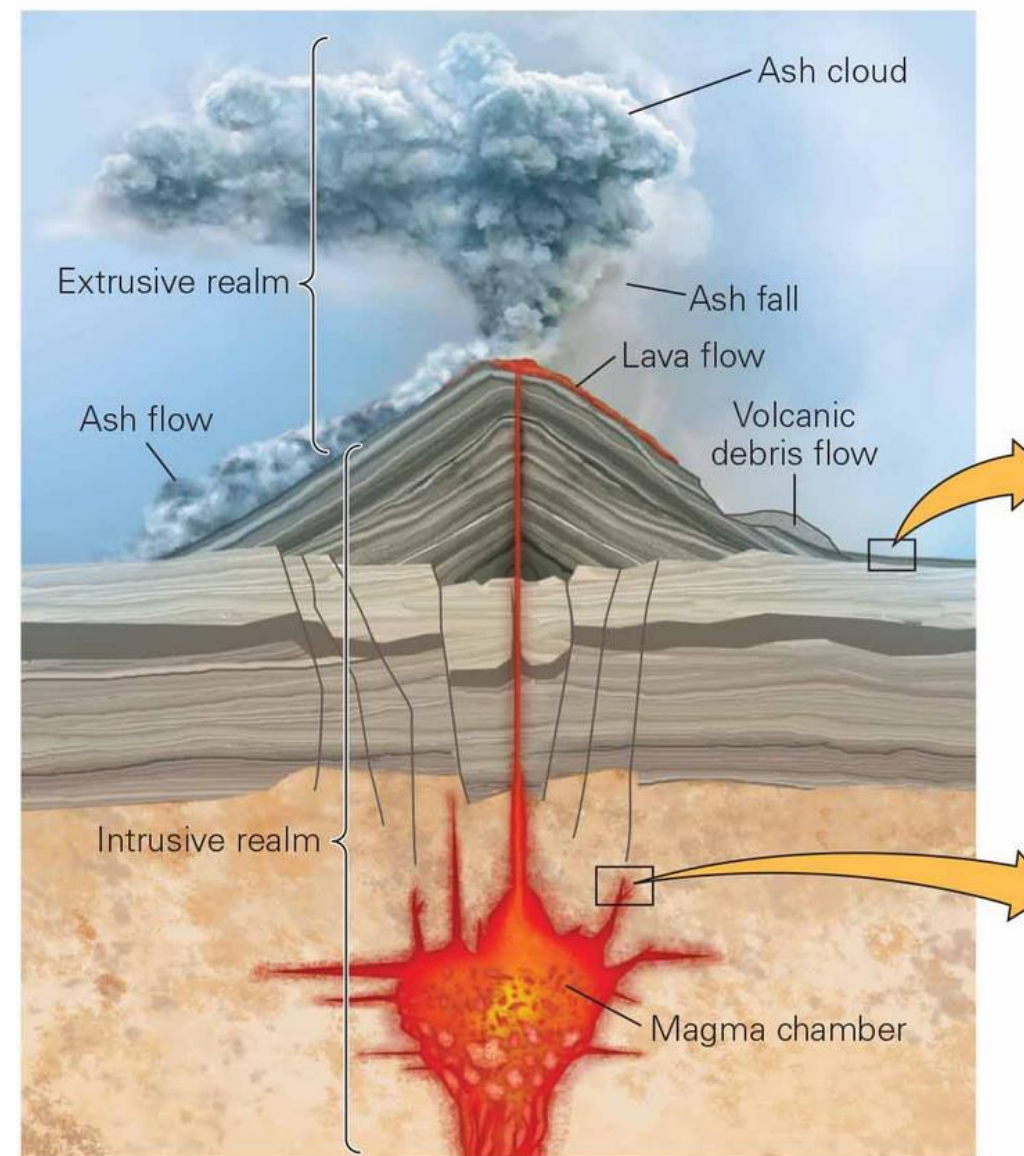
Stolling van een smelt naar een vast gesteente (tussen 650 en 1100°C)

→ **Magma**: ondergronds (*intrusief*)

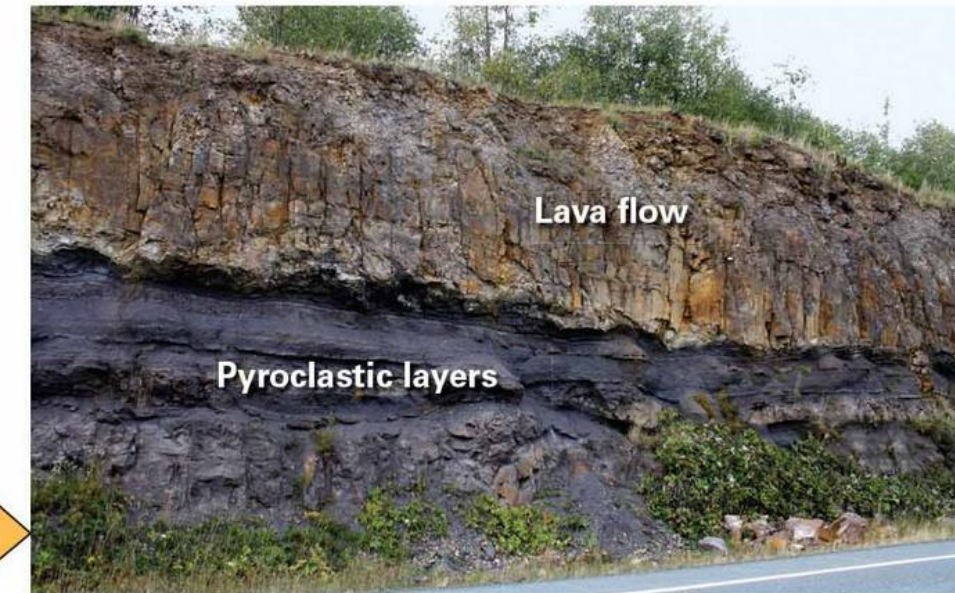
→ **Lava**: bovengronds (*extrusief*)

Vulkanisch systeem (“chronologisch”)

1. Magmakamer in gastgesteente
2. Transport via spleten/barsten
3. Eruptie ~ samenstelling
 - Uitvloeien (stroperig)
 - Fonteineruptie
 - (Pyroklastische) eruptie



Marshak (2022)



STOLLINGSGESTEENTEN

Samenstelling van een smelt

- ➔ Afhankelijk van de locatie en de aard van het gesmolten gesteente
 - Hoofdzakelijk peridotieten in de **bovenste mantel** (cfr. spreidingsassen)
 - Continentaal vulkanisme: smelt uit **continentale korst** (heterogene samenstelling)
 - **Assimilatie**: opname korstgesteenten tijdens migratie van diepe magma
- ➔ Afhankelijk van percentage opsmelten (2 à 30%) en van smelttemperatuur
- ➔ Aard van resulterende stollingsgesteente geeft informatie over de bron!

Uitdrukking als een percentage in oxiden: Al_2O_3 , FeO , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , Fe_2O_3 ,...

- ➔ droge smelt: geen vluchtige gassen (H_2O , CO_2 , N_2 , H_2 , SO_2 ,...)
- ➔ vochtige smelt: tot 15% ➔ hogere explosiviteit

STOLLINGSGESTEENTEN

Samenstelling van een smelt

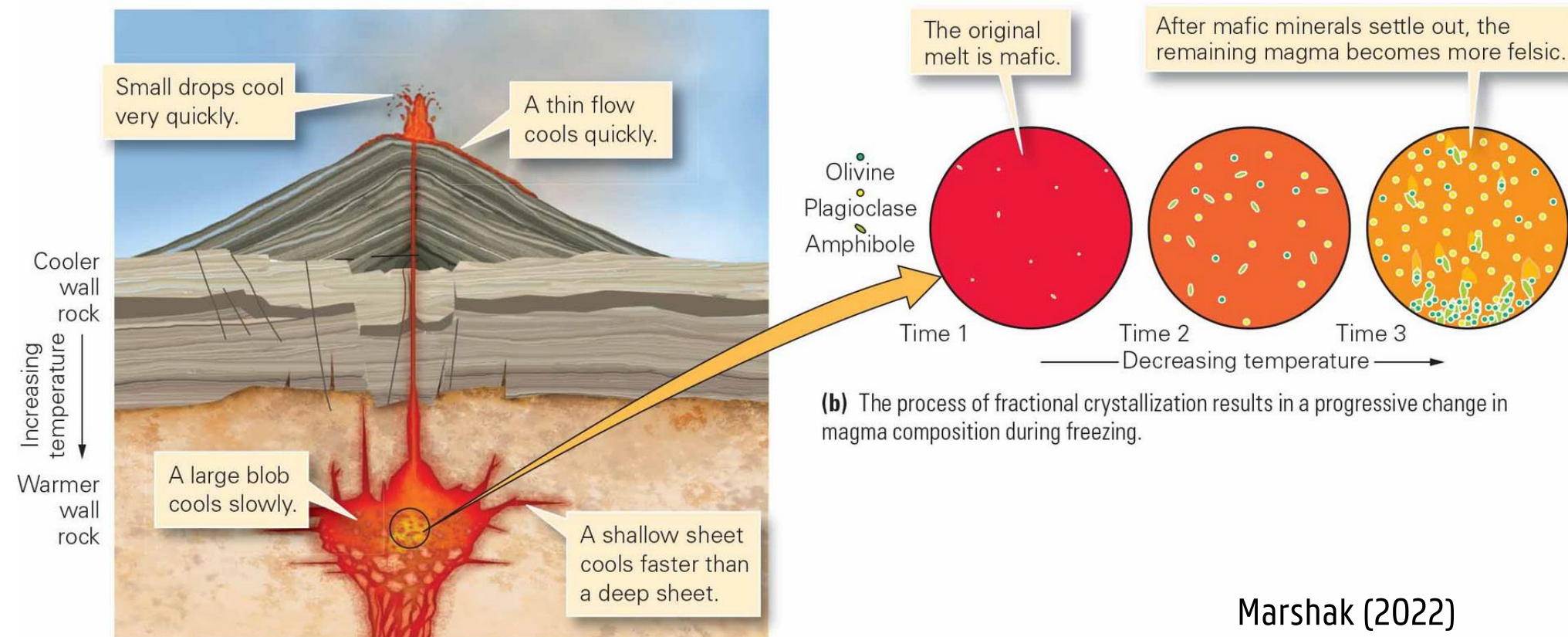
4 types smelt (SiO vs. FeO-MgO)

Ultramafisch 38-45% silica

Mafisch 45-52% silica

Intermediair 52-66% silica

Felsisch 66-76% silica



➔ Oorspronkelijke smelt is altijd (ultra)mafisch

➔ Evolutie door gefractioneerde kristallisatie

Vorming mineralen en gesteenten door afkoeling ~ omgeving (intrusief vs. extrusief)

➔ Eerst mafische mineralen (pyroxeen-amfibool) ➔ hogere dichtheid

➔ Smelt evolueert naar felsisch ➔ kwarts is laatste “rest” mineraal ➔ lagere dichtheid

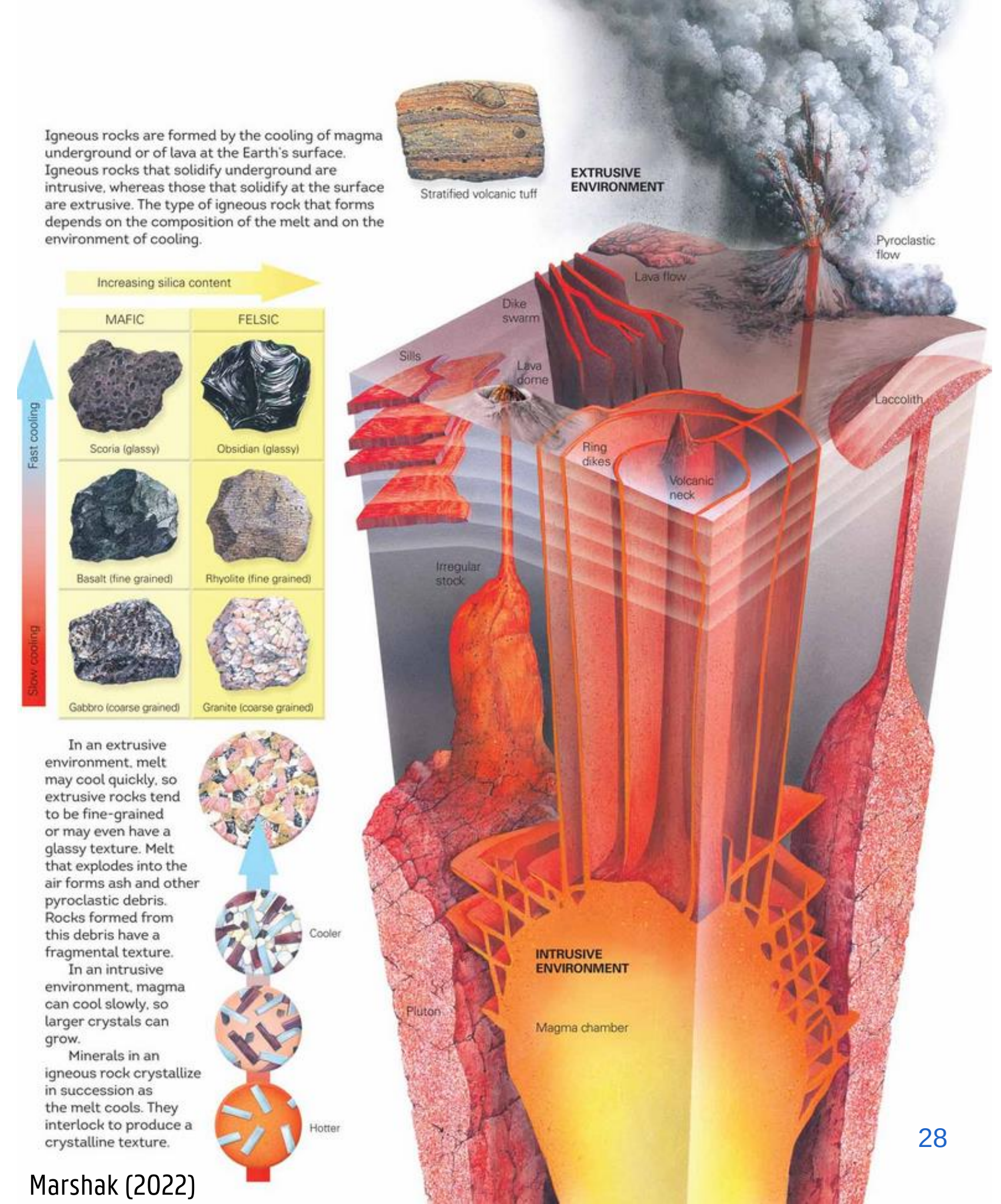
STOLLINGSGESTEENTEN

Classificatie

Afhankelijk van verschillende factoren

- Intrusief of extrusief
 - ➔ Invloed op textuur
- Samenstelling (mafisch-felsisch)
 - ➔ Invloed op kleur
- Afkoelingstijd
 - ➔ Invloed op korrelgrootte

➔ Context binnen vulkanisch systeem



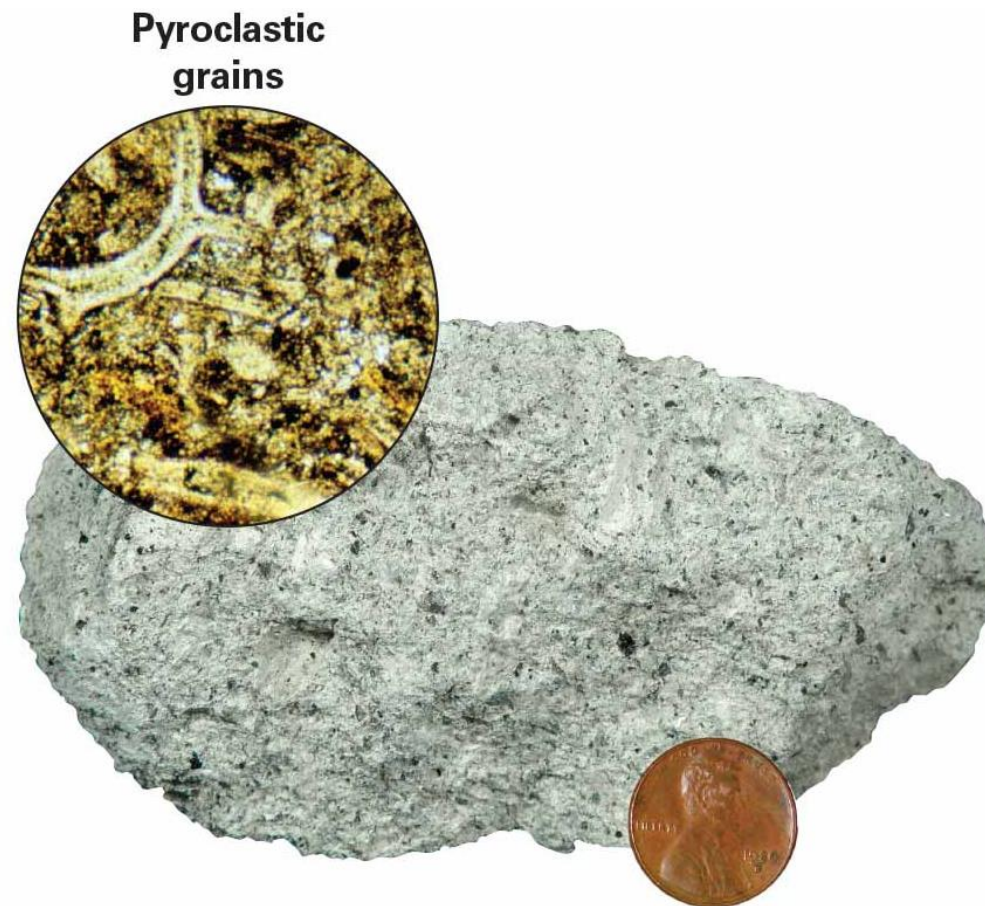
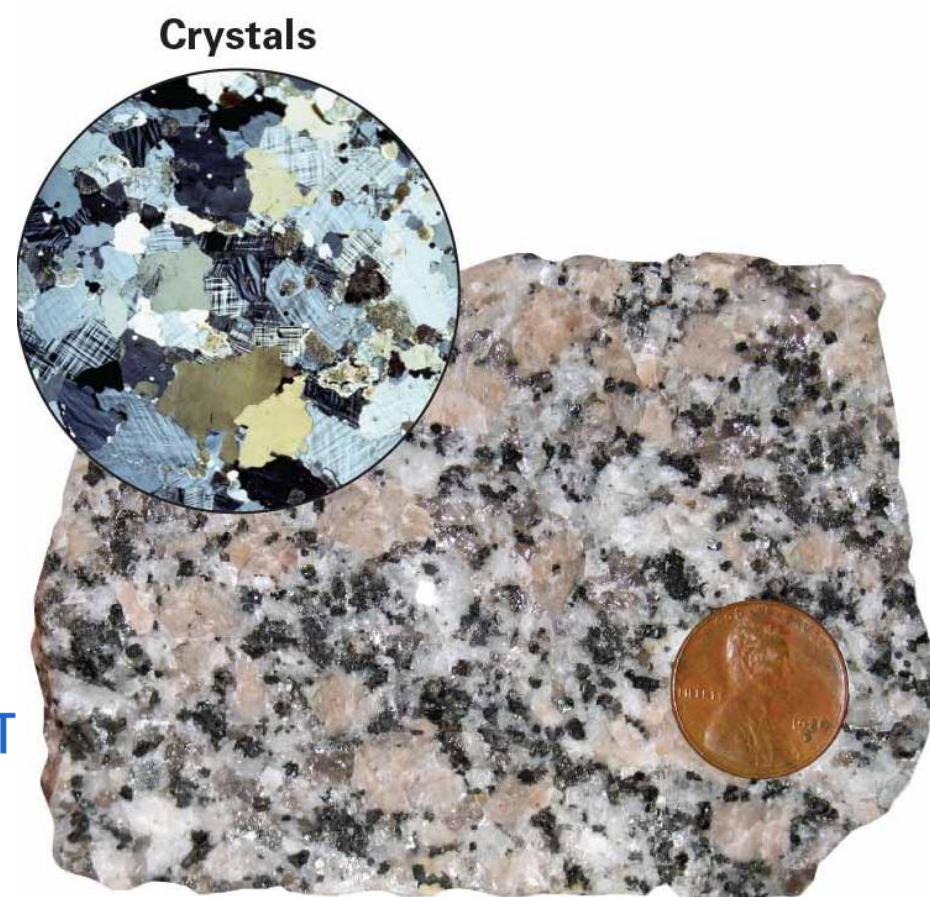
Marshak (2022)

STOLLINGSGESTEENTEN

Classificatie

Voorbeeld van samenstelling, textuur en korrelgrootte

- Alle getoonde gesteenten komen van een felsische smelt
- Textuur: aaneensluitende mineralen versus holtes en glasbreuk
- Korrelgrootte: hoe groter de kristallen, hoe langer de afkoelingstijd



STOLLINGSGESTEENTEN

Intrusieve gesteenten

Kristallijne stollingsgesteenten

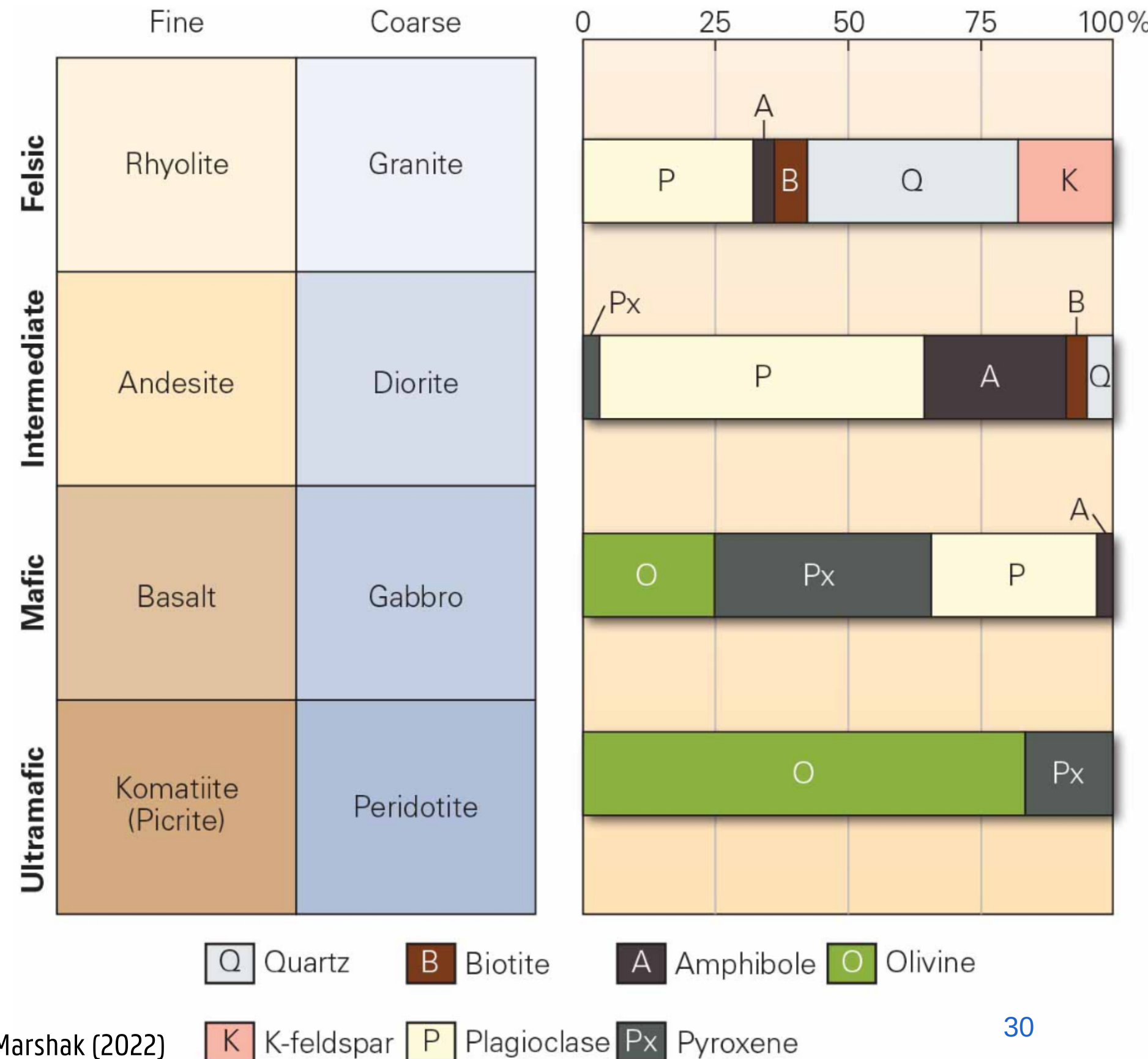
- Grofkorrelig: magmakamer
- Fijnkorrelig: oppervlak of in lava

→ Zelfde samenstelling, ander textuur

(Ultra)mafisch: olivijn & pyroxeen

Intermediair: plagioklaas, amfibool

Felsisch: kwarts, K-veldspaat, biotiet



Marshak (2022)

STOLLINGSGESTEENTEN

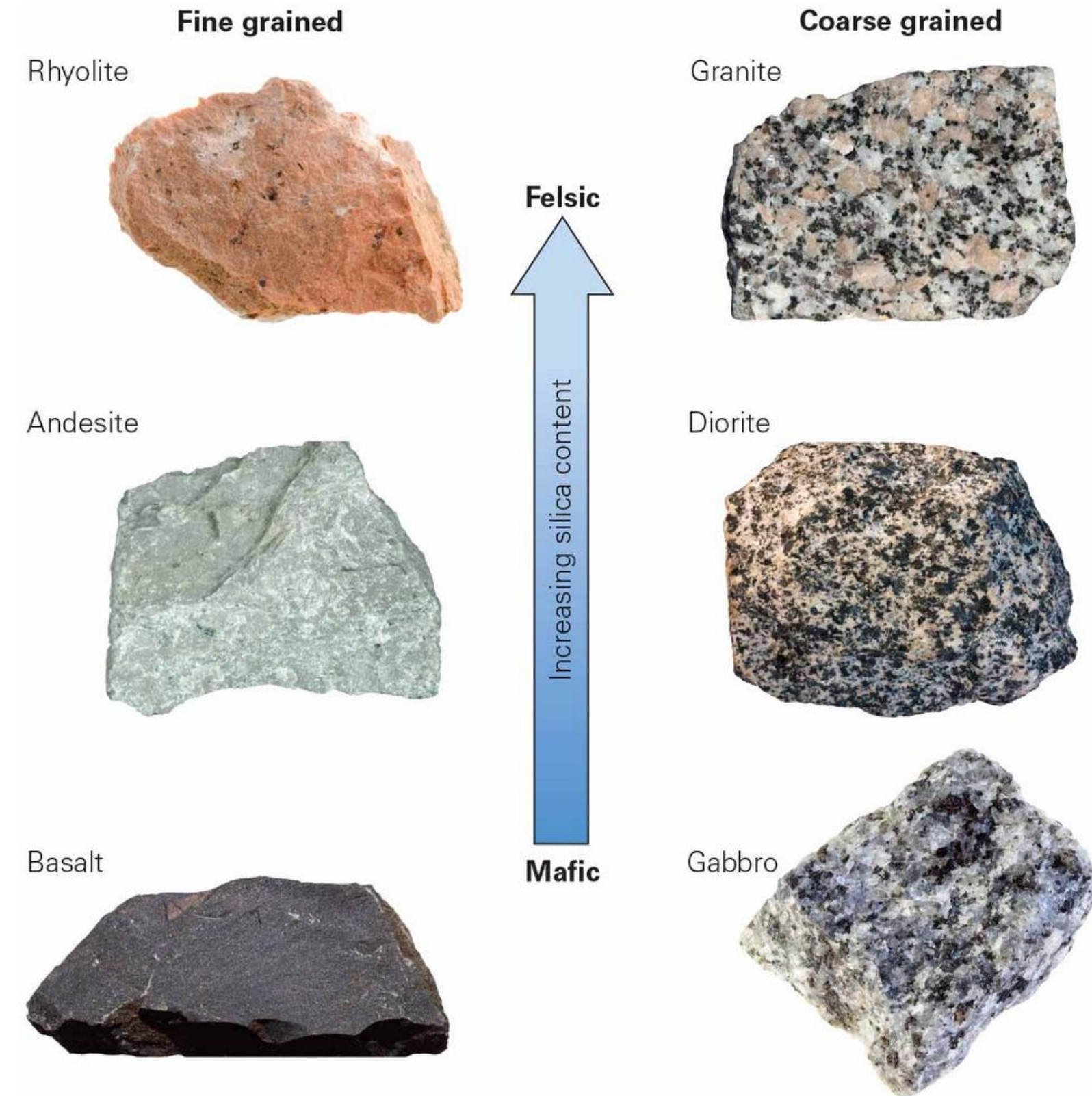
Intrusieve gesteenten

Grofkorrelige dieptegesteenten

- Peridotiet: mantelgesteente (ultramafisch)
- Graniet: overheersend korstgesteente

Fijnkorrelige oppervlaktegesteenten

- Komatiet: zeldzaam ultramafisch
- Basalt: overheersend oceaankorst
- Andesiet: subductievulkanen



Marshak (2022)

STOLLINGSGESTEENTEN

Extrusieve gesteenten

Niet-explosief vulkanisme

- Obsidiaan: vulkanisch glas (felsisch)
- Puimsteen: > 75% holte; “schuim”
- Scoria: > 30% holte; mafisch “schuim”



Pyroklastische gesteenten

➔ Hogere explosiviteit: “*ejecta*”

- Tuf: as – lapilli – vulkanische bom
- Vulkanisch breccie: hoekig aggregaat



SEDIMENTAIRE GESTEENTEN

Types sedimentaire gesteenten

Sediment: niet-geconsolideerde accumulatie van losse gesteentekorrels

Sedimentaire gesteenten: geconsolideerd door vergroeiing (cement, matrix)

Uiteenlopende oorsprong

- **Klastisch:** afbraak van oudere gesteenten (70-85%) → effectieve fragmenten
- **Biogeen:** opgebouwd door (toedoen van) organismen
- **Chemisch:** precipitatie uit waterige oplossing, of verdamping (evaporieten)

SEDIMENTAIRE GESTEENTEN

Klastische sedimentaire gesteenten

Genese van bron tot afzettingsgebied: grote diversiteit aan afzettingsomgevingen

Continentaal

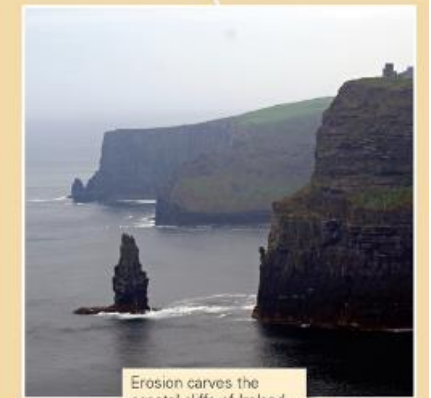
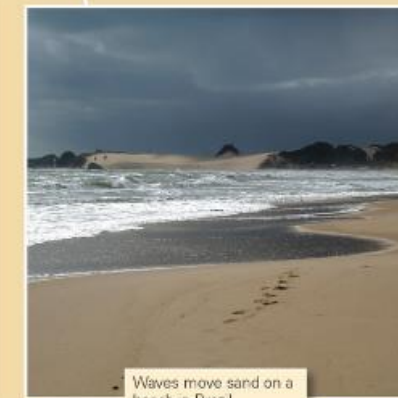
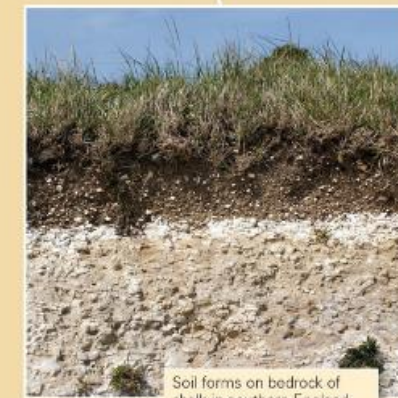
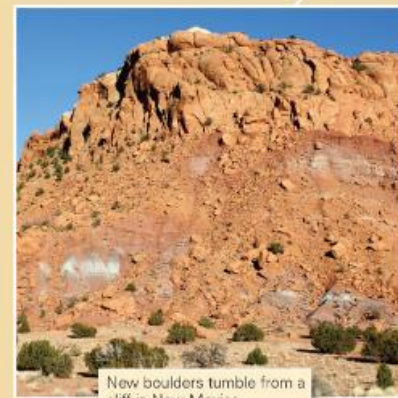
Glaciair

Lacustrien

Fluviatieel

Estuarien

Marien



SEDIMENTAIRE GESTEENTEN

Klastische sedimentaire gesteenten

Elk milieu heeft eigen vorm van:

Verwerking: fysisch vs. chemisch

Erosie: verwijdering verweringsproduct

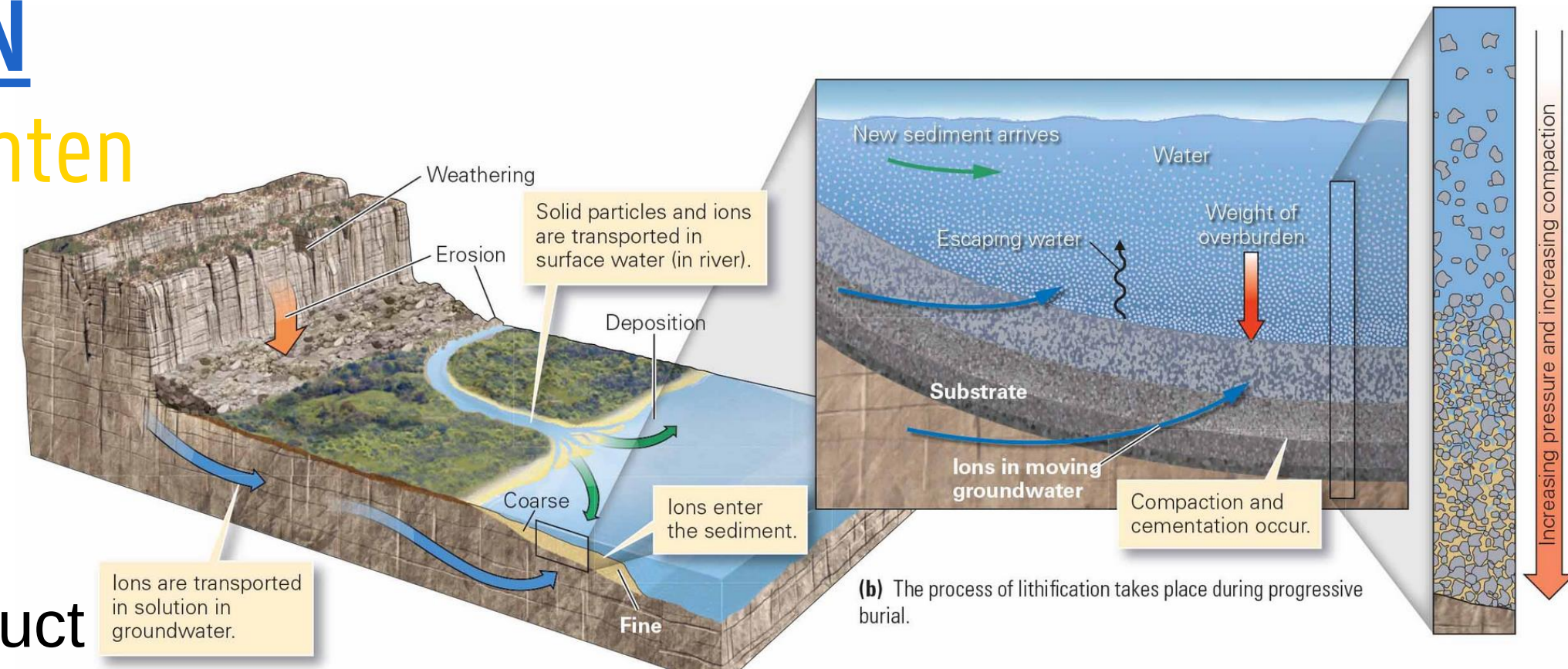
Transport

➔ Afhankelijk van medium (gletsjer, wind, water) en korrelgrootte

Afzetting: te weinig energie van medium om klasten nog verder te transporteren

Lithificatie: na begraving van sediment, consolidatie naar vast gesteente

- Compactie: litho & hydrostatische druk – poriënruimte verkleint
- Cementatie: poriënruimte wordt gevuld door cement uit grondwater



SEDIMENTAIRE GESTEENTEN

Klastische sedimentaire gesteenten

Niet-geconsolideerde sedimenten: volgens korrelgrootte

Geconsolideerde sedimentaire gesteenten: volgens korrelgrootte en samenstelling

➔ maar ook afronding, sortering en aard/aandeel van cement

Korrelgrootte	Eigenschappen klasten	Benaming gesteente
Grofkorrelig ($> 2 \text{ mm}$)	Afgeronde keien, grind Hoekige klasten Grote klasten in modderige matrix	Conglomeraat Breccie Diamictiet (glaciaal)
Medium – grofkorrelig ($63 \mu\text{m} - 2\text{mm}$)	Zandkorrels • Enkel kwarts • Kwarts & veldspaat • Gesteentefragmenten • Gesteentefragmenten in matrix	Zandsteen • Kwartszandsteen (areniet) • Arkoze • Lithische zandsteen • Grauwacke
Fijnkorrelig ($4 \mu\text{m} - 63 \mu\text{m}$)	Siltkorrels	Siltsteen
Heel fijnkorrelig ($< 4 \mu\text{m}$)	Klei of fijn silt	Schalie (breekt in plaatjes) Kleistein (massief, geen plaatjes)

SEDIMENTAIRE GESTEENTEN

Klastische sedimentaire gesteenten

Grofkorrelige gesteenten ($> 2 \text{ mm}$)

→ Dichtbij bron

Breccie

- “vers” gebroken, geen transport
- puinwaaier aan voet helling



Conglomeraat

- Kort transport (bergrivier?)



 Afronding door “botsingen”
UNIVERSITEIT
GENT

Marshak (2022)

SEDIMENTAIRE GESTEENTEN

Klastische sedimentaire gesteenten

Zandstenen

- Zegt niets over “aard”
- Woestijnzand: areniet/arkoze
- Grauwacke: fijn conglomeraat



Kleiige gesteenten

- Lange reeks ~ compactie
- Kleisteen: weinig begraving
- Schalie: druk, gelaagdheid



Marshak (2022)

SEDIMENTAIRE GESTEENTEN

Biogene sedimentaire gesteenten

Opgebouwd door (afbraak van) fossiele organismen

→ planktonisch of benthisch

- Carbonaat (CaCO_3)

 - kalkstenen (al dan niet fossielrijk)

- Silica (SiO_2)

 - afgezet als siliceus slib (“ooze”)

 - **chert**: glasachtig, cryptokristallijn kwarts

 - Als uitgestrekte lagen

 - Individuele concreties of nodules



SEDIMENTAIRE GESTEENTEN

Biogene sedimentaire gesteenten

Fossilhoudende kalksteen (> 50% carbonaat)

- Korallen, algen, bivalven, zeelelies,...
- Hoofdzakelijk calciëet, maar ook aragoniet
- Cementatie tijdens afzetting of nadien

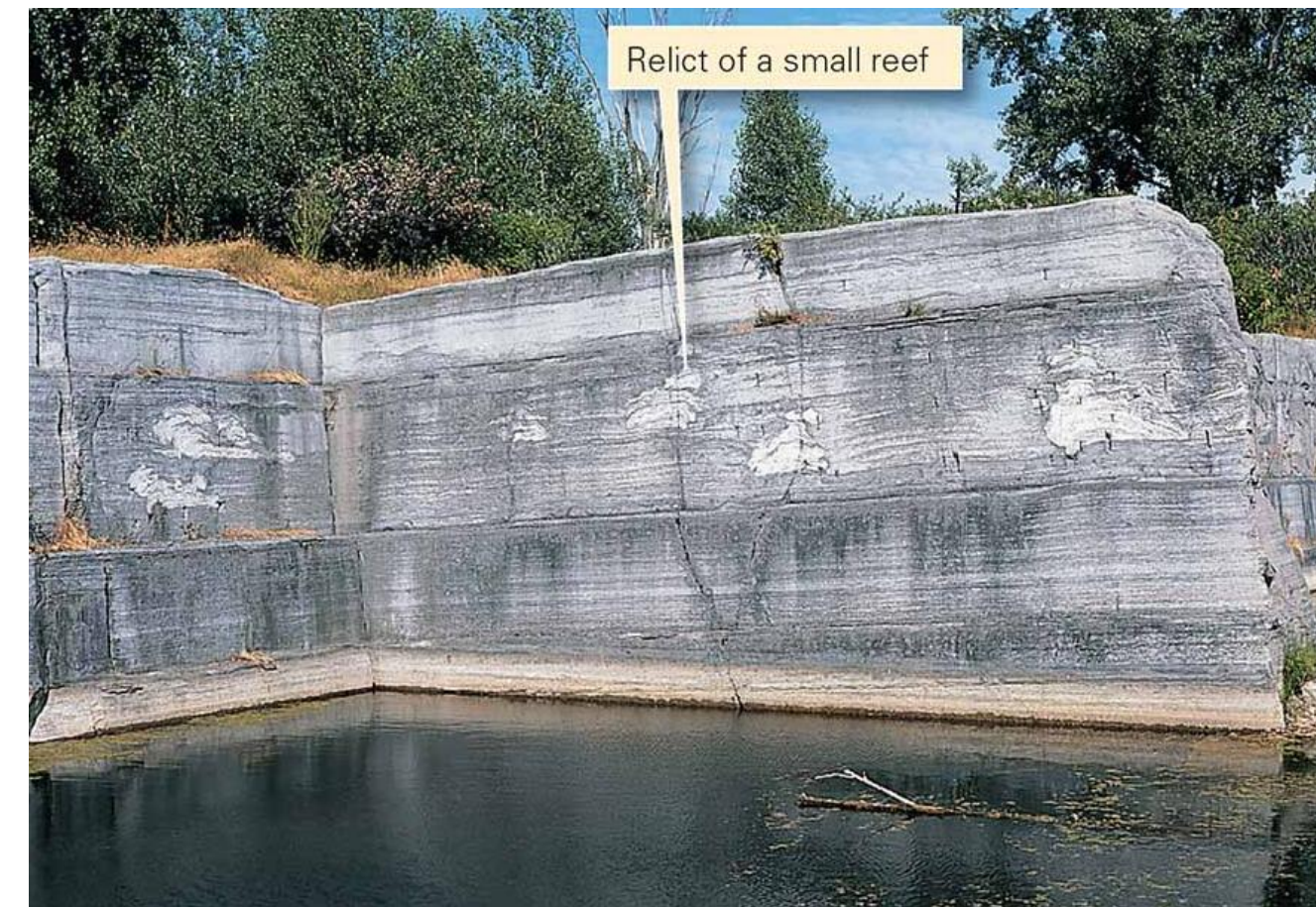
Micriet: fijnkorrelig kalkslib (< 4 µm)

→ door precipitatie (oververzadiging) of afbraak

Krijt: enkel planktonskeletjes in ondiep water

→ Onderhevig aan bioturbatie, oplossing,...

→ Vervanging carbonaatcement bij lithificatie



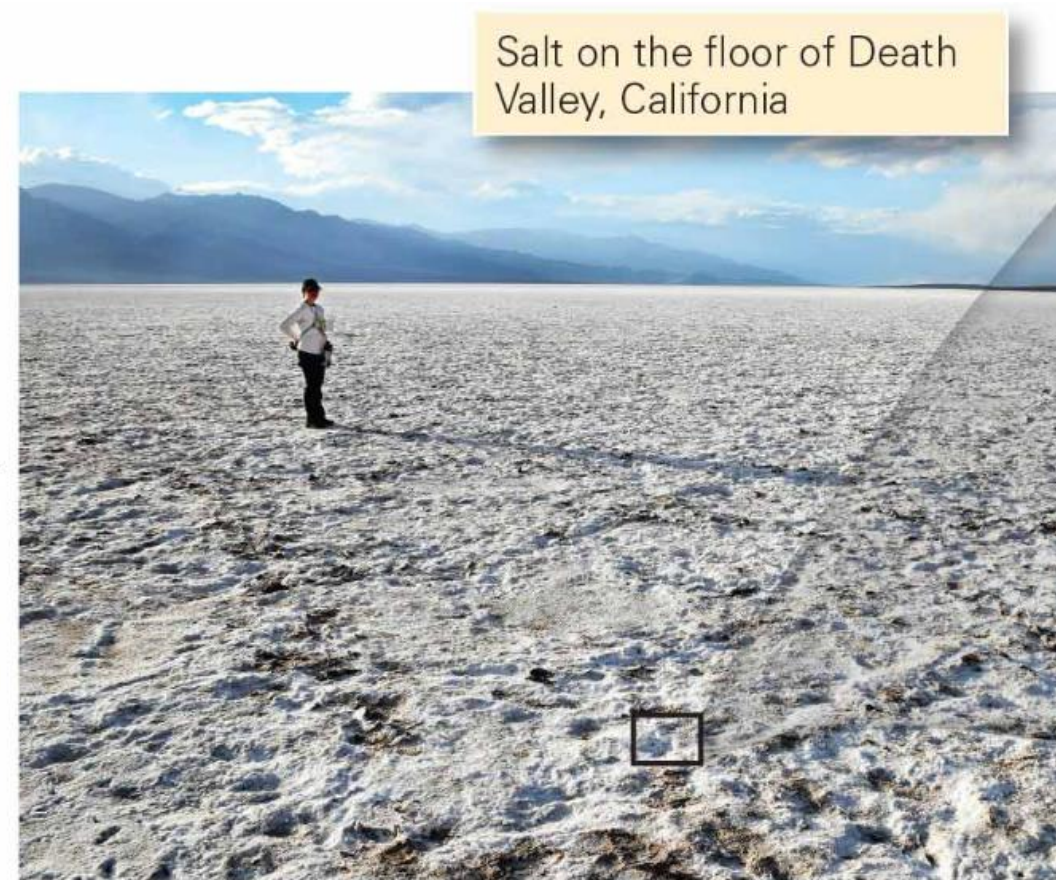
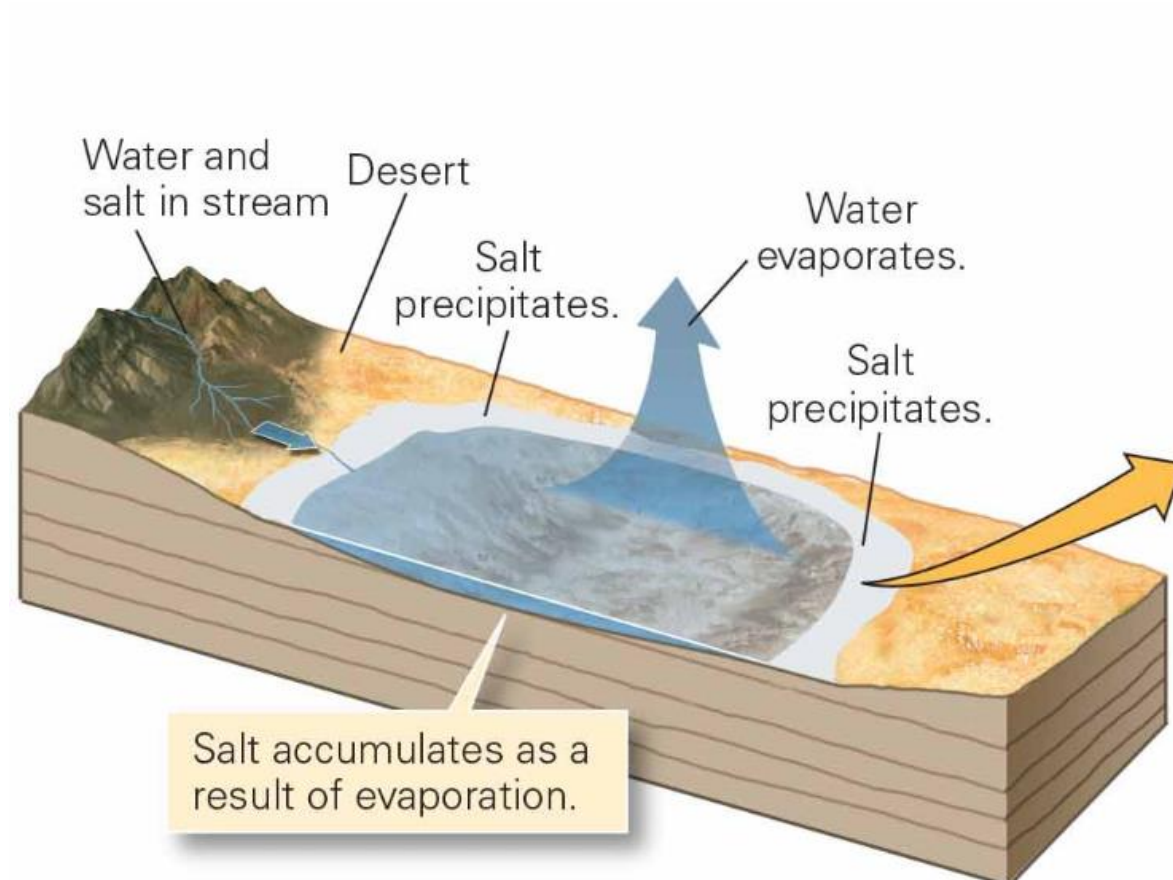
SEDIMENTAIRE GESTEENTEN

Chemische sedimentaire gesteenten

Niet opgebouwd uit klasten → precipitatie uit water: evaporieten, travertijnen, dolomieten

Evaporieten: zoutmineralen door uitdamping

- Mengsel van verschillende mineralen ~ samenstelling water en graad verdamping
- Variabele hoeveelheden van gips, haliet en andere zouten & carbonaten



Marshak (2022)

SEDIMENTAIRE GESTEENTEN

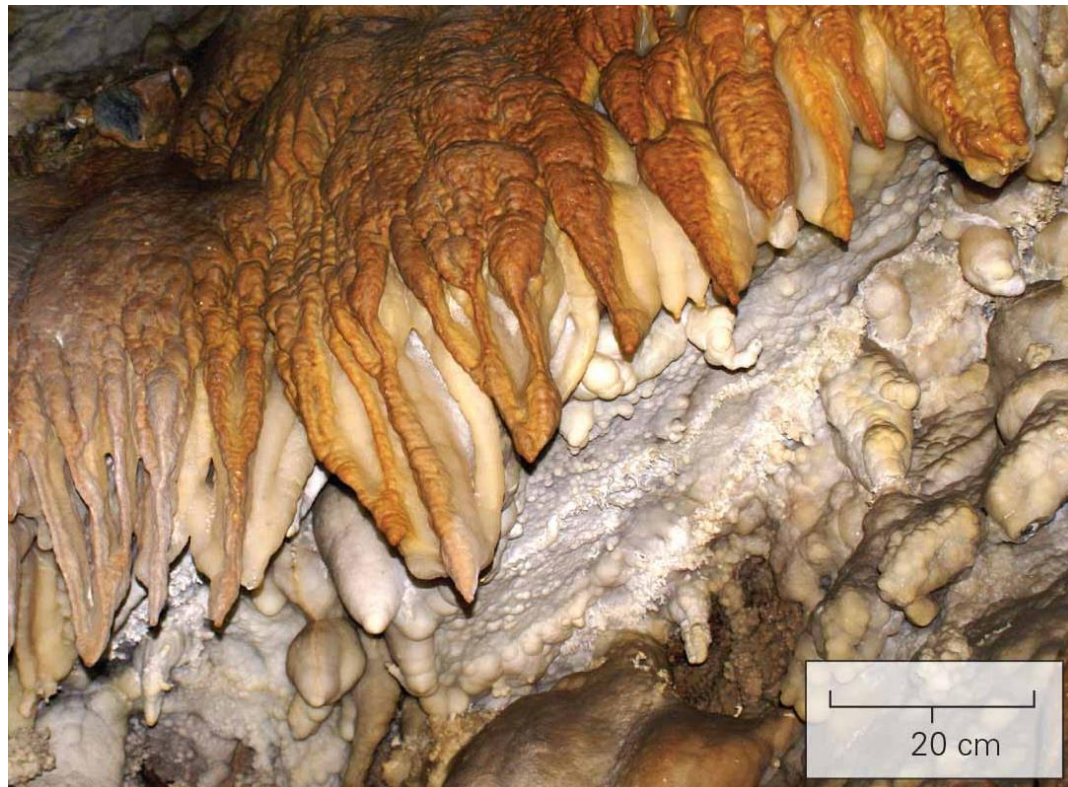
Chemische sedimentaire gesteenten

Travertijn: geprecipiteerde carbonaten zonder invloed van enig organisme

- Warmwaterbronnen, stromend water (stalagmieten – stalactieten)
- Ontsnapping opgelost CO_2 tijdens uitsijpelen van grondwater

Dolomiet: enigmatisch ondiep subtropisch gesteente; weinig “hedendaagse analogen”

- Reactie calcië met Mg-rijk grondwater? Microbiële activiteit?



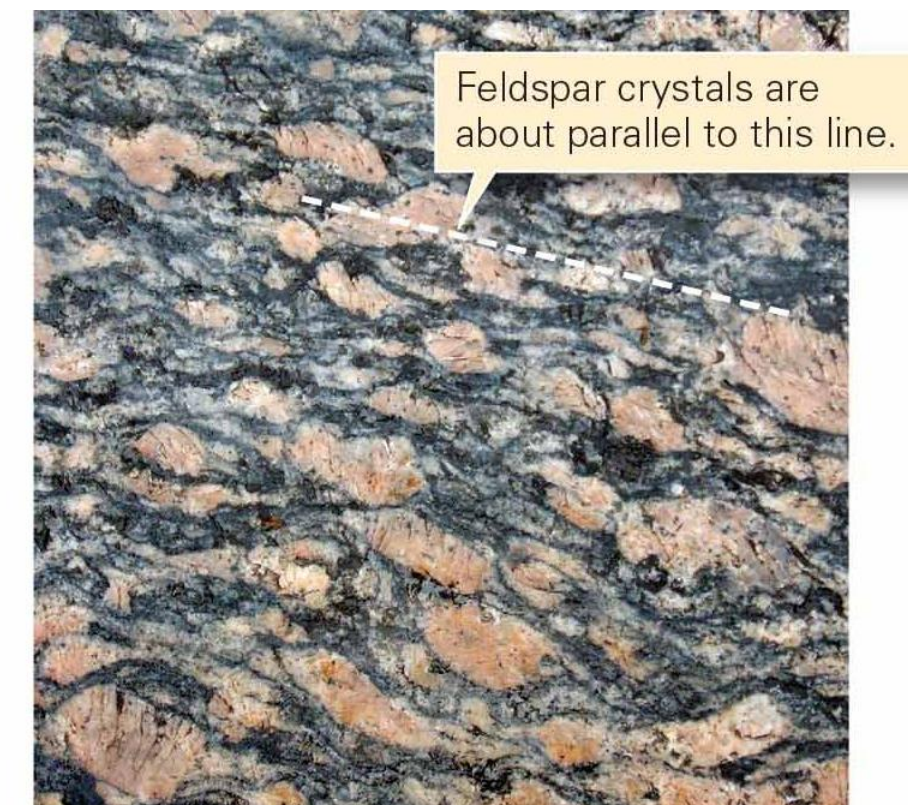
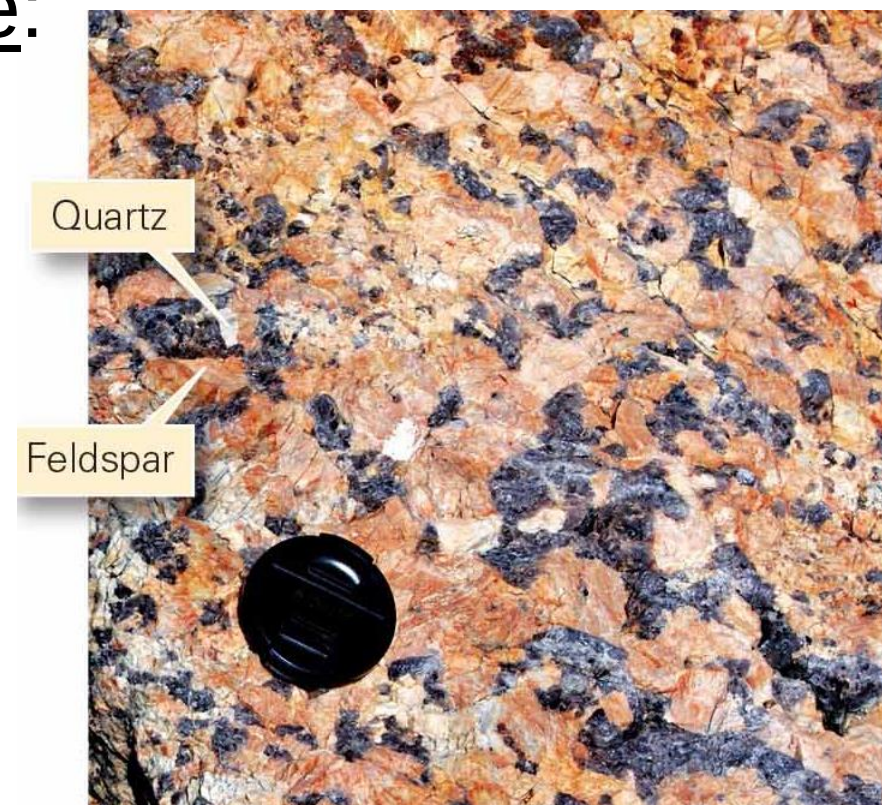
Marshak (2022)

METAMORFE GESTEENTEN

Wat is metamorfisme?

Protoliet (bestaand gesteente) ondergaat verandering (~P, T) in de diepe Aarde

- Vorming van nieuwe mineralen uit mineralen van protoliet
 - ➔ Chemische samenstelling gesteente verandert niet, alleen andere mineralen
- Verandering van textuur, zoals foliatie:
 - ➔ Oplijnen van mineralen
 - ➔ Hoofdzakelijk (fyllo)silicaten
 - ➔ Bandvormige patronen
 - ➔ Langzaam proces (enkele My)



METAMORFE GESTEENTEN

Metamorfe processen

Verschillende metamorfe processen

- Geen chronologie
- Geen volledige reeks



Marshak (2022)



Herkristallisatie: verandering van vorm mineraal door compactie (fysisch, niet chemisch)

Faseverandering: wijziging van de kristalstructuur, chemische samenstelling is dezelfde

- *Metamorfisme van fossielrijke kalksteen naar marmer*

Metamorfe reactie: *neokristallisatie* – vorming nieuwe metamorfe mineralen

- *Vorming van granaat bij metamorfisme van schalie naar gneiss*

METAMORFE GESTEENTEN

Metamorfe processen

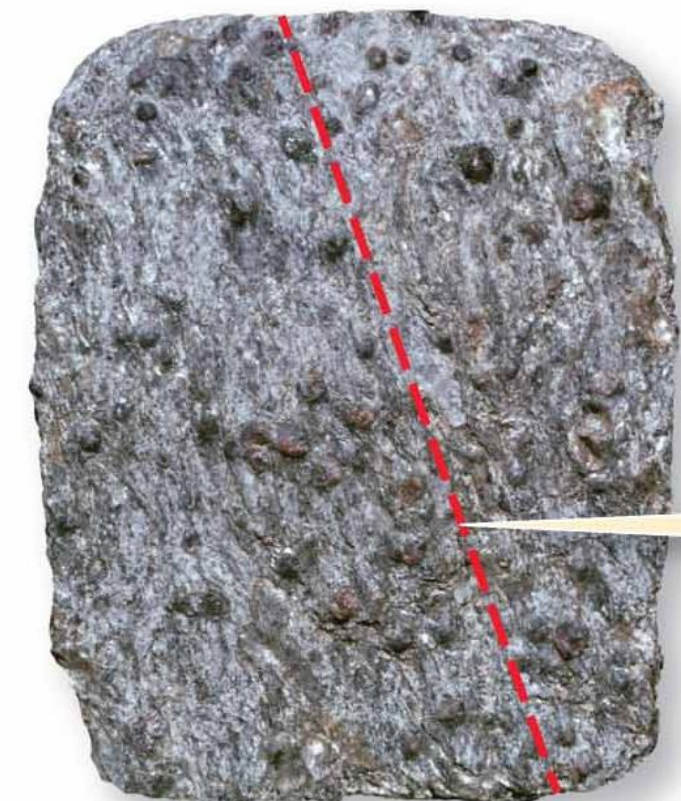
Drukoplossing:

- Aanwezigheid vloeistoffen
- Migratie opgeloste ionen

➔ Hydrothermale vloeistoffen ➔ aders

Plastische vervorming:

- Hogere druk en temperatuur
- Andere vorm zonder breken
 - ➔ Ontstaan *foliatie*
 - ➔ Indicatie oorsprong druk



Foliation plane

Marshak (2022)

METAMORFE GESTEENTEN

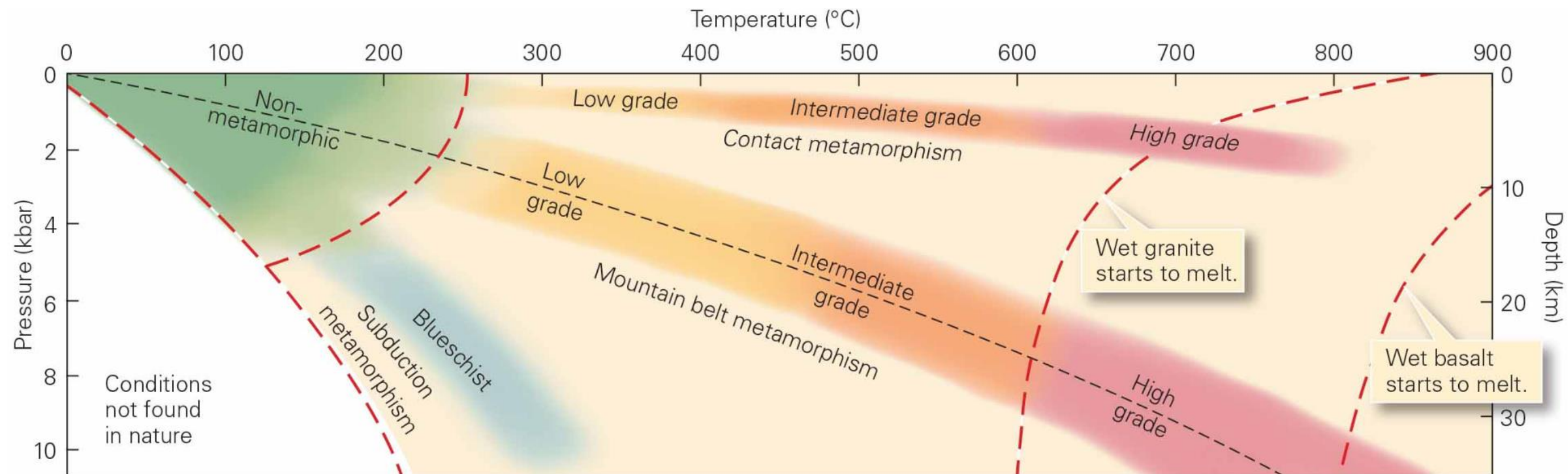
Metamorfe processen

Invloed **temperatuur**: tussen 250-850°C (tot zelfs 1200°C, maar dan zeker smelting)

➔ < 250°C: diagenese – veranderingen zonder metamorfe mineralen en structuren

Invloed lithostatische **druk**: tussen 3-12 kbar (respectievelijk 10-40 km begravingdiepte)

➔ gemiddeld 300 bar/km – op diepte heeft druk invloed op temperatuur



Marshak (2022)

METAMORFE GESTEENTEN

Metamorfe processen

Thermisch metamorfisme (contact): gekoppeld aan lokaal gebeuren (intrusie)

→ Hoe dichterbij de intrusie, hoe intenser het metamorfisme

Begravingsmetamorfisme: 8 à 15 km diepte, afhankelijk van geothermische gradiënt

Dynamisch metamorfisme: door wrijving tussen gesteentemassa's op diepte (breuken)

Regionaal metamorfisme: op schaal van gebergtevorming (compressief regime)

- Opwarming protolith door wrijving, compressie en magmatische activiteit
- Toename druk door gewicht gebergteketen
- Speciaal metamorfisme bij subductie: extreem hoge druk, relatief lage temperatuur

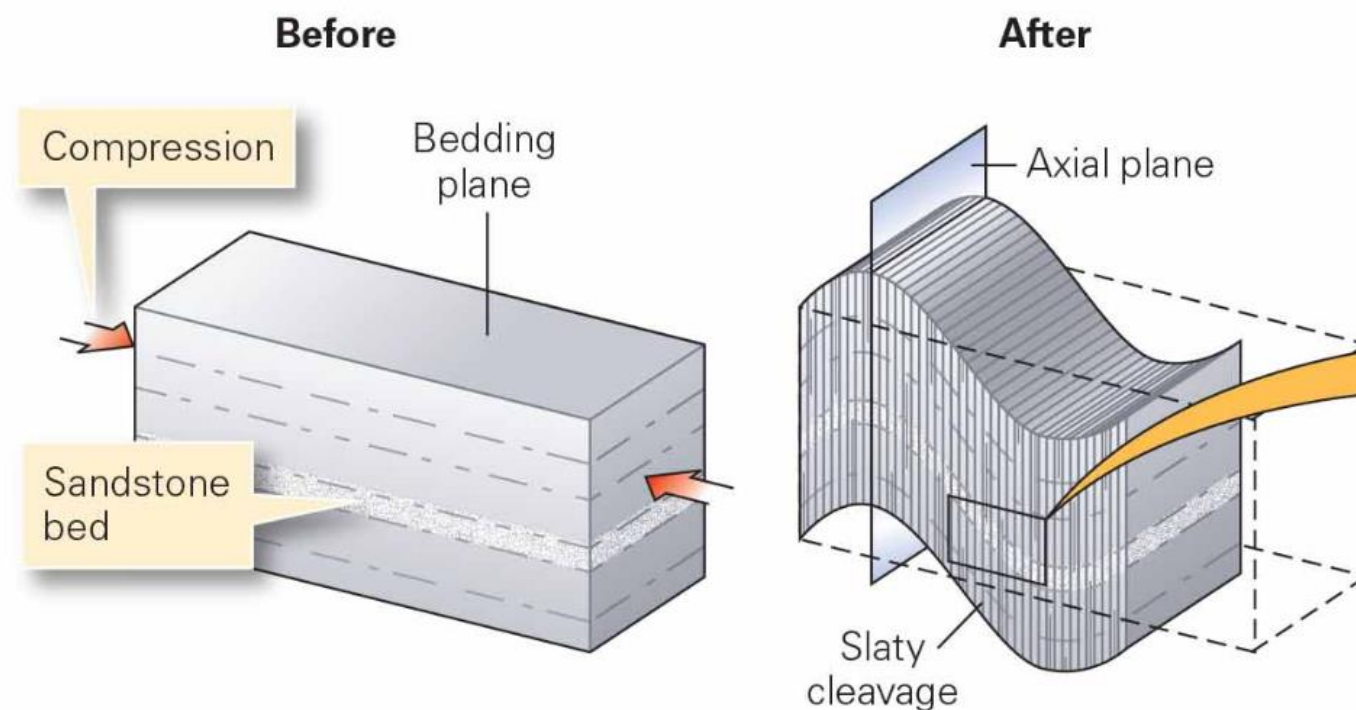
METAMORFE GESTEENTEN

Classificatie van metamorfe gesteenten

Geen formele classificatie: metamorfisme kan alle soorten gesteenten beïnvloeden

- Op basis van type gesteente & voorkomen van foliatie
- Foliatie: voorkomen van parallelle vlakken, met splijting en mineralen (door druk)

Foliatie ≠ leisplijting → heroriëntering kleiplaatjes als gevolg van druk bij enkel leisteen



METAMORFE GESTEENTEN

Classificatie van metamorfe fijnkorrelige gesteenten

Leisteen: compressie van schalie, vormt impermeabele vlakken (dakbedekking)

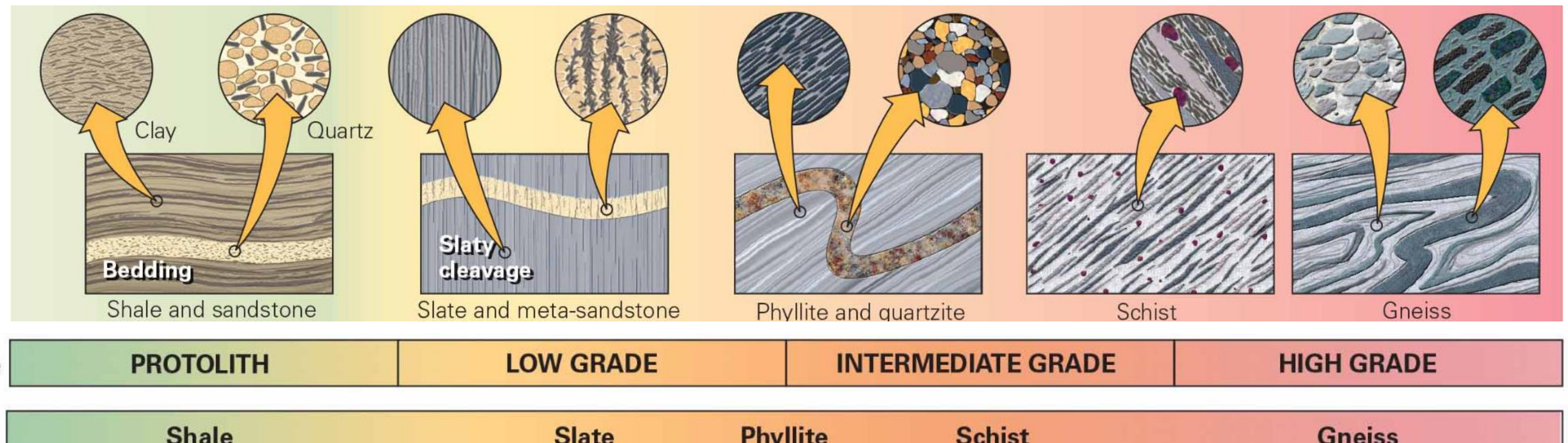
Fylliet: metamorfe reactie van kleimineralen → foliatie door mica's ("zijdeglans")

→ Foliatie zorgt voor golvende spleijvlakken

Schist: zichtbare mica's (schistositeit), kwarts, veldspaat & granaat → geen splijting meer

Gneiss: typisch bandenpatroon (*felsische* vs. *mafische* mineralen)

Marshak (2022)



METAMORFE GESTEENTEN

Classificatie van metamorfe zandstenen

Niet gefolieerd: meestal herkristallisatie of vorming nieuwe mineralen

Kwartsiet: metamorfe zandsteen → gevorderde herkristallisatie

→ Korrels worden groter, poriën worden kleiner → gevorderde cementatie

→ Sterkte van stollingsgesteente, met splijting doorheen de zandkorrels

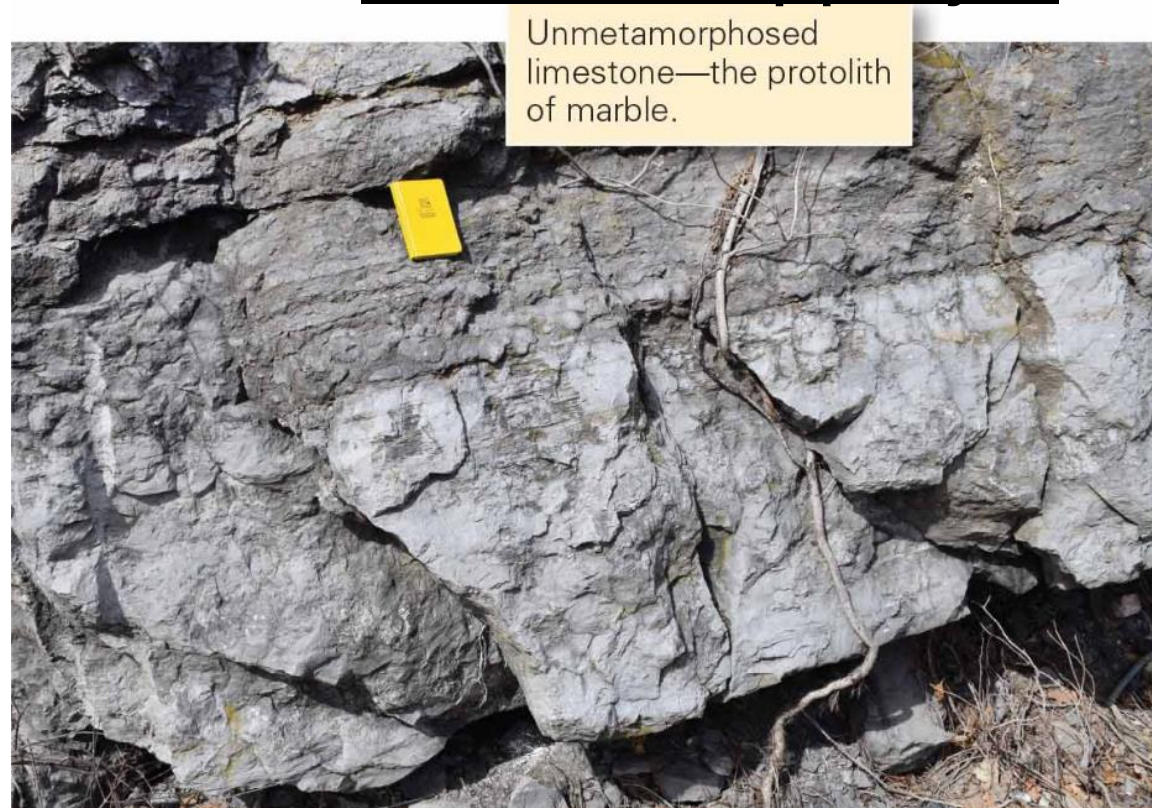


METAMORFE GESTEENTEN

Classificatie van metamorfe kalkstenen

Totale herkristallisatie van alle kalkrijke componenten tot uniform gesteente: **marmer**

- Zeer dichte aansluiting van alle calciëet kristallen
- Andere mineralen zorgen voor onzuiverheden
- Gevoelig aan druk: snelle plastische vervorming
- Verschil tussen wetenschappelijke marmer en technische marmer



Marshak (2022)

INTERACTIES MET BIOSFEER, HYDROSFEER EN ATMOSFEER

Verwering - algemeen

Gesteenten blootgesteld aan het oppervlak → “dagzomen” of “ontsluiten”

- Interactie atmosfeer, hydrosfeer, biosfeer,... → verwering tot **regoliet**
- Oorsprong klastische sedimentaire gesteenten

Kan aanleiding geven tot vorming van **bodem**

- Belang van organisch materiaal
- Belang voor ecosystemen, land & bosbeheer
- Vitale schakel in de **koolstofcyclus**



INTERACTIES MET BIOSFEER, HYDROSFEER EN ATMOSFEER

Verwering - fysische

Openbreken van gesteente tot klasten

→ Invloed van water & temperatuur

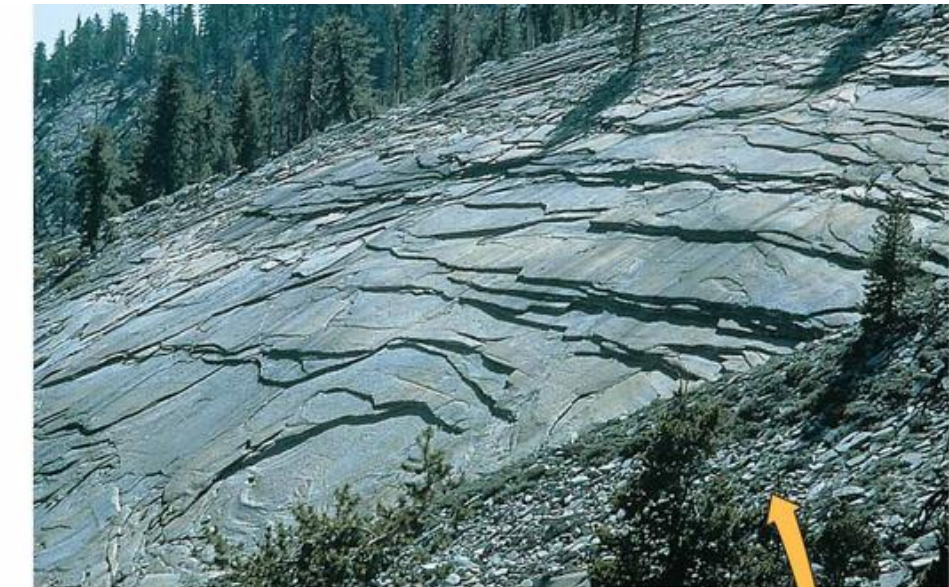
- Diaklazen: barsten & spleten (afkoeling)
- Vorstwiggen: invloed van ijs
- Kristallisatie zouten: droog klimaat
- Plantengroei: invloed wortels

→ bioturbatie in het algemeen

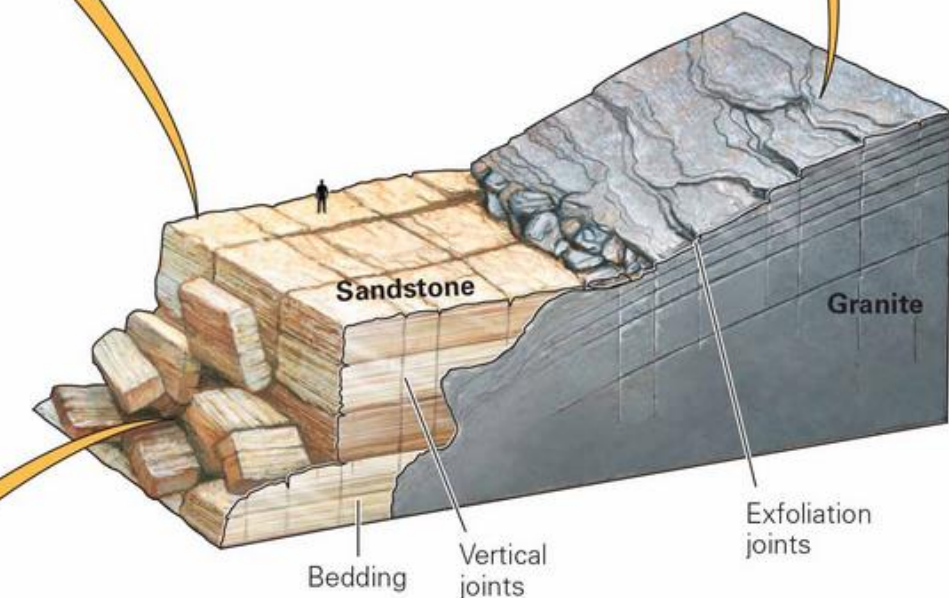
→ invloed op chemische verwering

... èn omgekeerd!

(a) Vertical joints break beds of sedimentary rock into blocks that fall to the base of this 100-m-high sandstone cliff in Ireland.



(b) Exfoliation joints on this granite mountain slope in the Sierra Nevada break the rock into onion-like sheets.



(c) Different rock types display different types of joints.

INTERACTIES MET BIOSFEER, HYDROSFEER EN ATMOSFEER

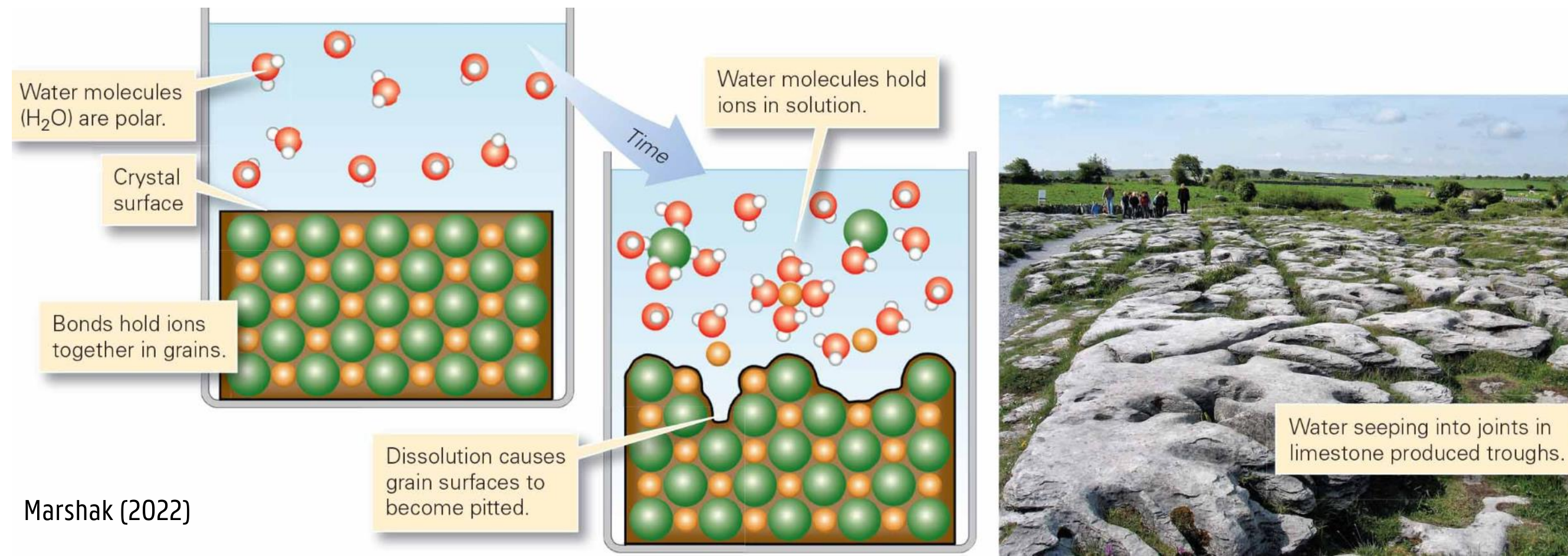
Verwering - chemische

Wijzigen tot oplossen van minerale componenten van gesteenten → transport ionen

→ Afhankelijk van oplosingsgevoeligheid: *zouten & carbonaten* vs. *silicaten*

Hoofdzakelijk kalkstenen zijn gevoelig aan chemische verwering

→ Zuur bodem of grondwater: $CaCO_3 + 2H^+ \rightarrow Ca^{2+} + H_2O + CO_2$



INTERACTIES MET BIOSFEER, HYDROSFEER EN ATMOSFEER

Verwerking - chemische

Andere vormen van chemische verwerking

Hydrolyse: chemische reactie water met mineralen

→ Verwerking van silicaten naar kleimineralen

Hydratatie: opname water door mineralen

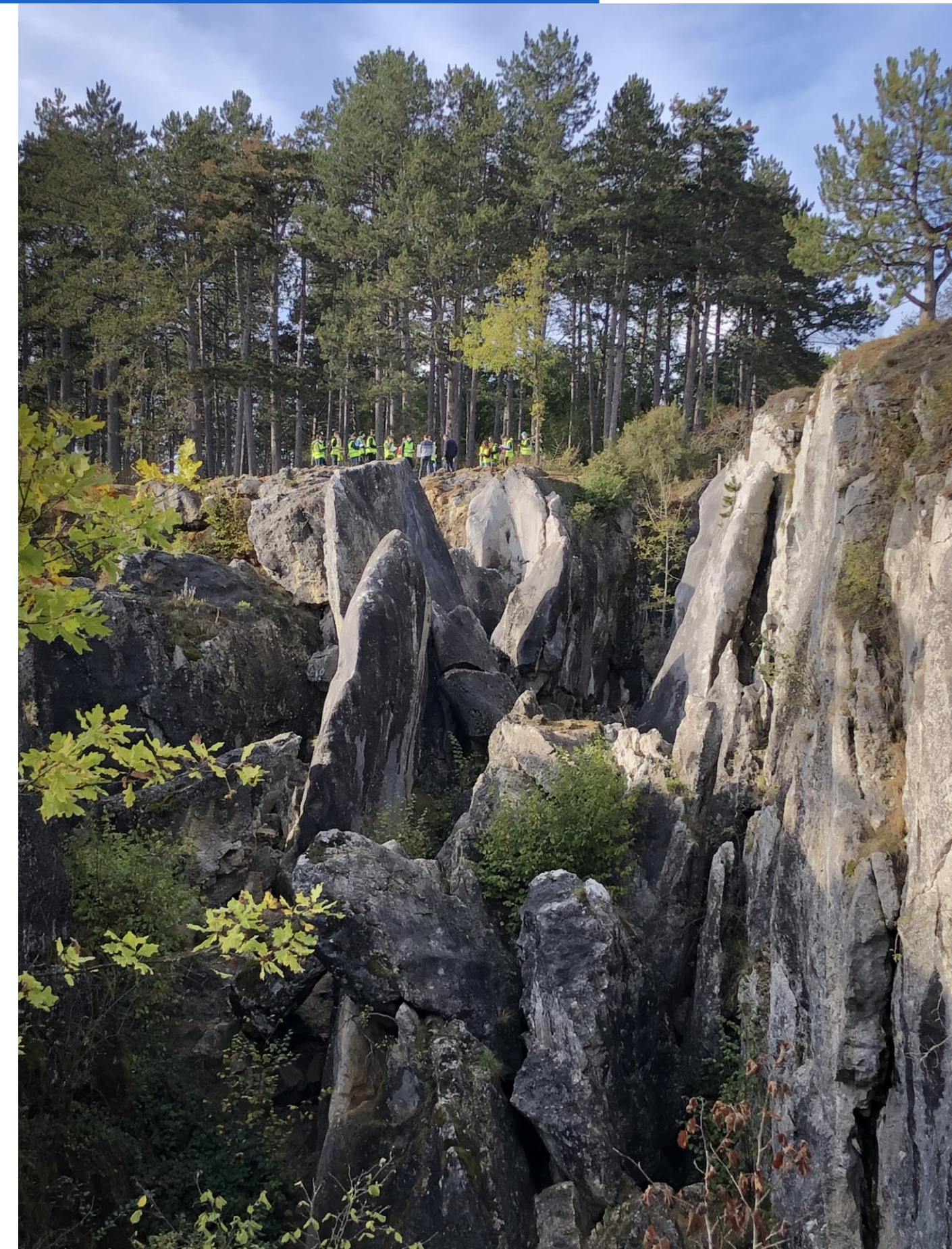
→ Zwellen smectieten → fysische verwerking

Oxidatie: ijzerhoudende gesteenten

→ Fe oxiden & hydroxiden (limoniet)

Levende organismen: organische zuren

- Planten, zwammen, mossen
- Microbiële activiteit



INTERACTIES MET BIOSFEER, HYDROSFEER EN ATMOSFEER

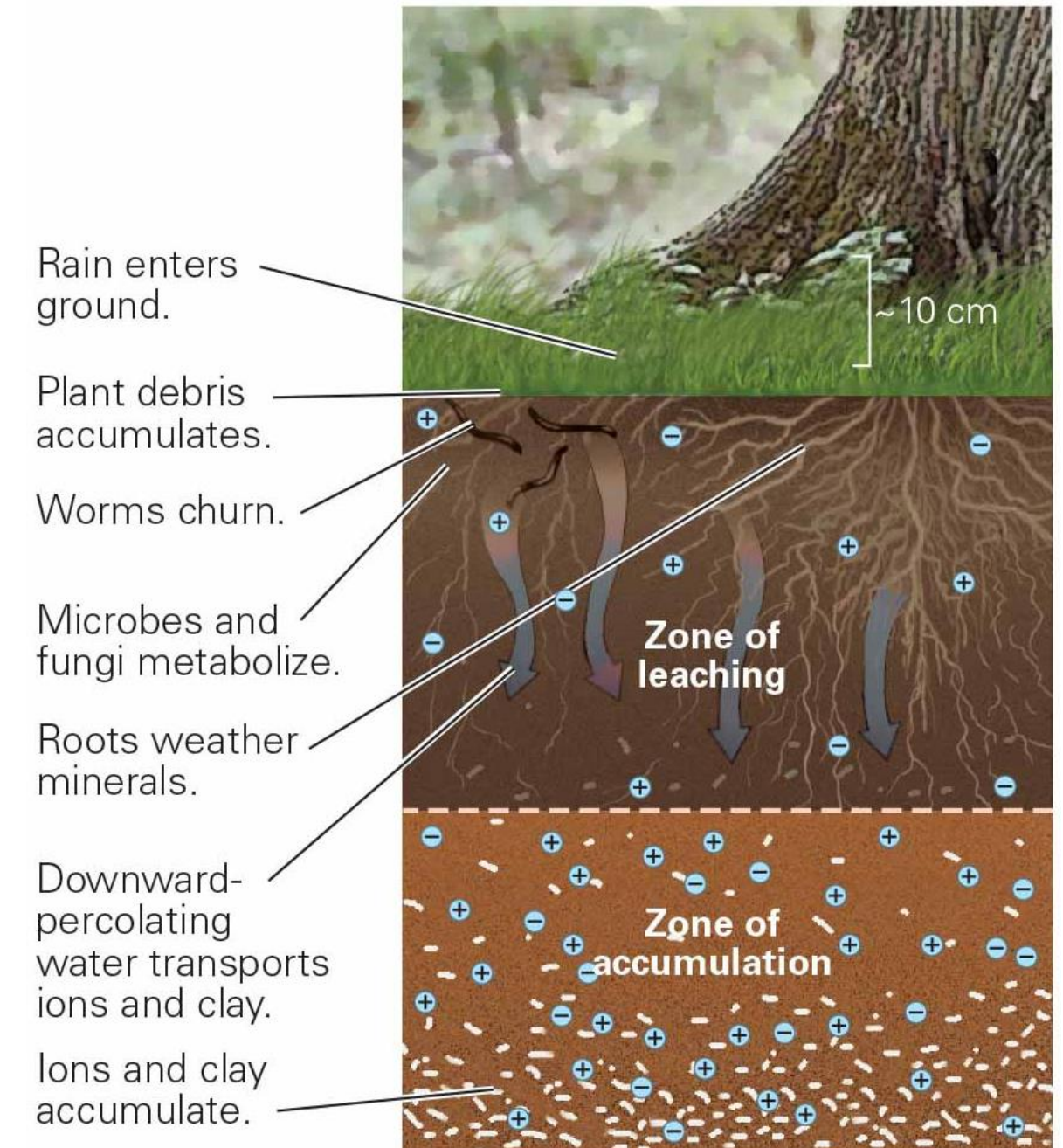
Bodemvorming

Vorming en dikte bodem lokaal zeer variabel → bepalend voor bodemgebruik

→ Aard substraat, klimaat, vegetatie & tijd

Bodemvorming houdt 3 belangrijke processen in:

- 1. Verwerking:** aanvoer afbraakproducten
- 2. Uitloging & accumulatie:** transport door water
 - Uitloging: onttrekking ionen & deeltjes
 - Accumulatie: precipitatie nieuwe mineralen
- 3. Activiteit organismen:** chemische afbraak
 - Productie organisch afval & “mixing”
 - Humus: verrijking door rottend C_{org}



INTERACTIES MET BIOSFEER, HYDROSFEER EN ATMOSFEER

Bodemvorming

Bodemprofiel vertoont 5 herkenbare horizonten

O – geen gesteenten/mineralen

A – humus: donker door C_{org}

→ Uitlogingshorizon

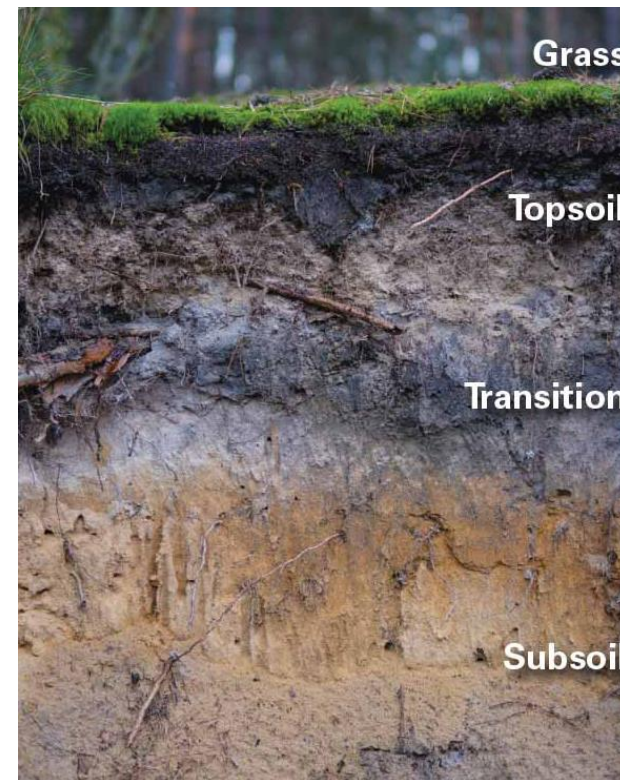
→ Productieve gedeelte

B – accumulatiezone, geen C_{org}

C – regoliet, (nog) geen uitgeloogd materiaal

→ Aangetast door fys. & chem. verwerking

→ Geen C_{org} en geen nieuwe mineralen



Soil horizons

O (organic): Decomposed materials, intense biological activity

A (topsoil): Leached minerals, high organic content

B (subsoil): Minerals precipitates and fine materials

C (substratum): Partially weathered bedrock

R (bedrock): Unaltered rock

Nichols (2023)

KOOLSTOFCYCLUS

De rol van koolstof

Bewegingen en transfers van C tussen “reservoirs” ~ watercyclus ~ gesteentecyclus

→ Onderscheid tussen de natuurlijke en de anthropogene koolstofcyclus

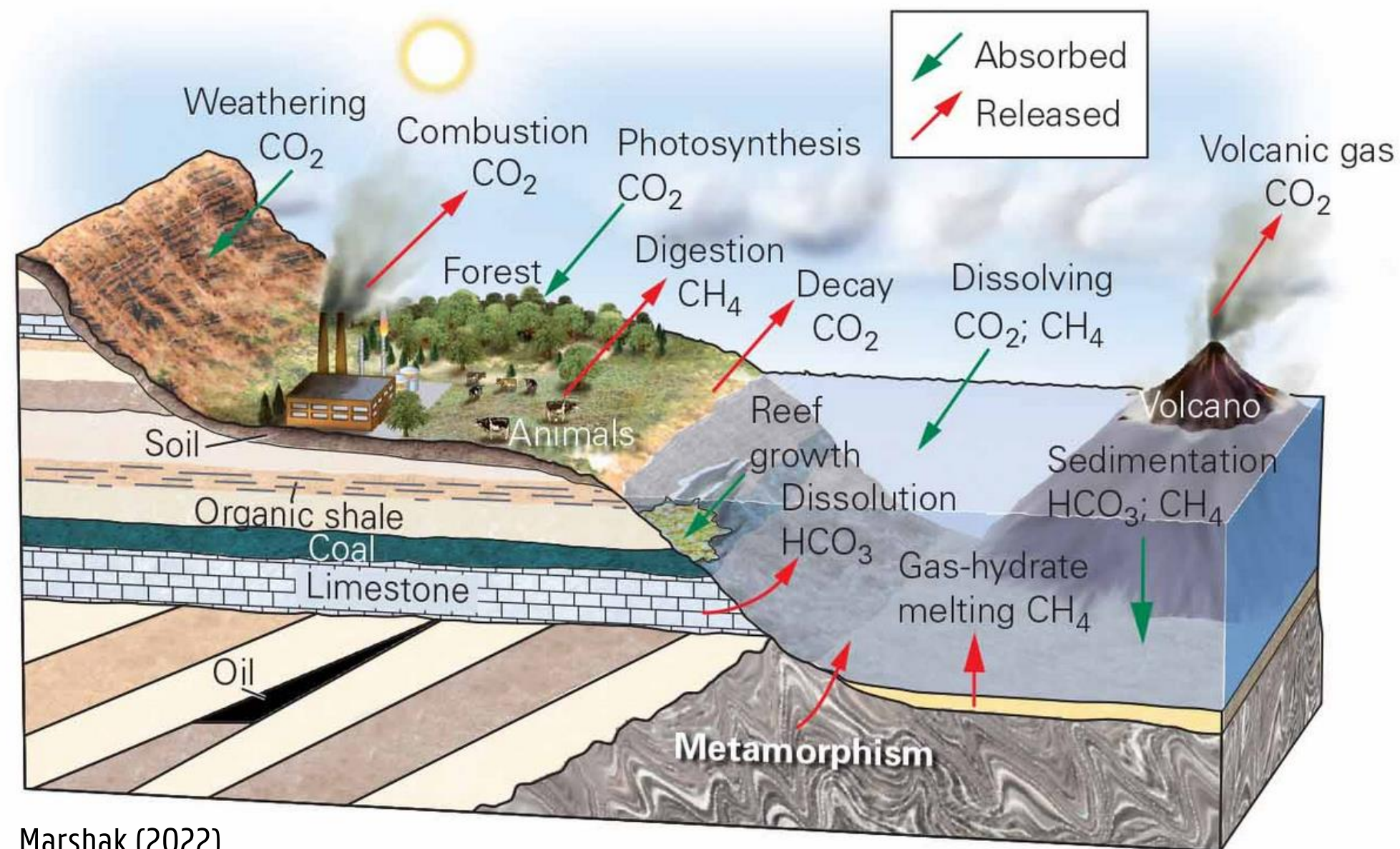
→ Natuurlijke balans $C_{\text{atm}} \rightarrow \text{CO}_2$

CO₂ opname

- Oceanen, kalkstenen
- Fotosynthese, bodems
- Chemische verwerking silicaten

CO₂ afgifte

- Ademhaling, verbranding
- Verrotting, vulkanisme, oplossing



Marshak (2022)

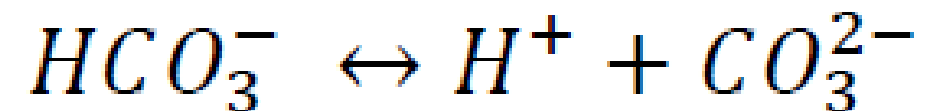
KOOLSTOF CYCLUS

De rol van koolstof

Oceanen: oplossing van CO_2 in water → buffering atmosferische CO_2



Opgeloste CO_2 kan worden opgenomen in kalkskelet mariene organismen



→ Atmosferische CO_2 wordt opgenomen in de lithosfeer (echter ook *afgifte!*)

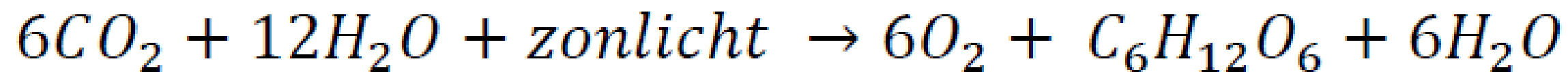
→ Belang van koraalriffen in de koolstofcyclus

→ *Verzuring van de oceanen bedreigt dit belangrijke reservoir!*

KOOLSTOF CYCLUS

De rol van koolstof

Fotosynthese: opname van CO_2 voor productie zuurstof en suikers → metabolisme



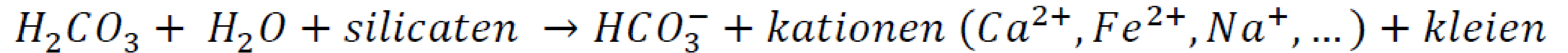
Onrechtstreeks zal dit leiden tot opname CO_2 in de lithosfeer

- Niet door fossilisatie: C_{org} zal worden afgebroken → enkel skelet of afdruk
- Bodems: tijdelijke opslag C_{org} → zal uiteindelijk ook verrotten en opgaan in Aarde
- Snelle begraving in zuurstofarm milieu (moerassen, lagunes, meren)
 - Geen verrotting (oxidatie)
 - Omzetting naar steenkool, olie en/of gas door diagenese (ifv P & T)

KOOLSTOF CYCLUS

De rol van koolstof

Chemische verwerking silicaten: opname van atmosferische CO_2



- ➔ Vrijmaken bicarbonaat ➔ verdere verzuring en/of vrijmaken carbonaat ion
- ➔ Vrijgave kationen, zoals Ca^{2+}

Belangrijk voor het ontstaan van kalkstenen

- ➔ Enkel dank zij vrijmaken van Ca^{2+} door verwerking silicaten (olivijn)
- ➔ Enkel mogelijk na ontstaan atmosfeer en chemische verwerking...

KOOLSTOFCYCLUS

De rol van koolstof

Terugkeer van CO₂ naar de atmosfeer

- Dierlijke flatulentie, plantaardige en dierlijke respiratie
- Ontbinding & natuurlijke oxidatie organische moleculen



- Chemische verwerking van kalkstenen door grondwater en rivieren
- Vorming van carbonaten
- Vulkanisme (cfr. vroege atmosfeer)

WAT HEEFT U ONTHOUDEN VANDAAG?

3 multiple choice vragen...

Voorbeeld examenvragen, er is maar 1 goed antwoord

Wooclap: “live polling” set-up

WIFI Connectie via Eduroam (<http://helpdesk.ugent.be/eduroam/>) of 4G

... de vragen en antwoorden worden niet getoond op de pdf slides

TAKE-HOME MESSAGES

- Belang van het kristalrooster en chemische samenstelling voor latere verwerking
- Silicaten: belangrijkste mineralen, opgebouwd door netwerk SiO_4^{4-} tetraëders
- Classificatie gesteenten: belang van textuur en korrelgrootte
- Onderlinge samenhang gesteenten door gesteentecyclus
- Grote invloed van atmosfeer, hydrosfeer en biosfeer in gesteentecyclus
- Stollingsgesteenten: evolutie van (ultra)mafische naar felsische smelt
- Sedimentaire gesteenten: lithificatie en compactie (lage T, lage P)
- Metamorfe gesteenten: “*gedaansverandering*” onder invloed van hoge T en P
- Significante bijdrage van gesteenten in natuurlijke koolstofcyclus